

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METROLOGIA
CIENTÍFICA E INDUSTRIAL**

**PLANEJAMENTO DA INSPEÇÃO NA
PRODUÇÃO EM LOTES – UMA APLICAÇÃO EM
EMBALAGENS PLÁSTICAS**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina
para obtenção do grau de Mestre em Metrologia

Thiago Mantovani

Florianópolis, outubro de 2008

PLANEJAMENTO DA INSPEÇÃO NA PRODUÇÃO EM LOTES – UMA APLICAÇÃO EM EMBALAGENS PLÁSTICAS

Thiago Mantovani

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de

MESTRE EM ENGENHARIA

ESPECIALIDADE METROLOGIA CIENTÍFICA E INDUSTRIAL

e aprovada na sua forma final.

Prof. Gustavo Daniel Donatelli, Dr. Eng.

ORIENTADOR

Prof. Armando Albertazzi Gonçalves Jr, Dr. Eng.

COORDENADOR DO CURSO

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Abelardo Alves de Queiroz, Ph.D.

Prof. Carlos Alberto Schneider, Dr. Ing.

Prof. João Carlos Espíndola Ferreira, Ph.D.

À minha mãe Senira, melhor pessoa do mundo.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	5
LISTA DE TABELAS	7
LISTA DE ABREVIATURAS.....	8
RESUMO.....	9
ABSTRACT.....	10
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 BREVE HISTÓRICO DOS CONCEITOS DE PRODUÇÃO.....	11
1.2 CARACTERIZAÇÃO E PARTICULARIDADES DA PRODUÇÃO EM PEQUENOS LOTES	13
1.3 CARACTERÍSTICAS DA QUALIDADE EM PMES QUE PRODUZEM EM DE PEQUENOS LOTES	15
1.4 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO.....	17
1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	19
2 A QUALIDADE NA PRODUÇÃO EM PEQUENOS LOTES	21
2.1 ASPECTOS DA PRODUÇÃO ENXUTA, FUNDAMENTAIS PARA PMES QUE PRODUZEM EM PEQUENOS LOTES	24
2.2 O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS	27
2.3 PLANEJAMENTO DA INSPEÇÃO DA QUALIDADE	29
2.4 CONTROLE DA QUALIDADE DA INSPEÇÃO NO PROCESSO PRODUTIVO	32
3 SISTEMA INTEGRADO PARA GARANTIA DA QUALIDADE NA PRODUÇÃO EM PEQUENOS LOTES.....	35
3.1 VISÃO GERAL DO SISTEMA PARA GERENCIAMENTO DA INSPEÇÃO NA PRODUÇÃO EM PEQUENOS LOTES	35
3.2 PAPÉIS E RESPONSABILIDADES NECESSÁRIAS PARA OPERAÇÃO DO SISTEMA.....	39
3.3 BREVE VISÃO SOBRE A ESTRUTURA DO SI2PL	40
3.4 VISÃO GERAL DOS APLICATIVOS DESENVOLVIDOS A PARTIR DO SI2PL	41
3.5 RESULTADOS DA APLICAÇÃO NO SETOR EE	45
3.6 SISTEMÁTICA PROPOSTA PARA APLICAÇÃO DO SI2PL EM UMA EMPRESA DO SETOR DE TP.....	47
4 ESTUDO DE CASO: EMPRESA C-PACK CREATIVE PACKAGING	49
4.1 MAPEAMENTO DO PROCESSO DE INSPEÇÃO.....	51
4.2 CONCEPÇÃO DA SOLUÇÃO TEÓRICA.....	60
4.3 VALIDAÇÃO DA PROPOSTA DE APLICAÇÃO.....	63

4.4 ADAPTAÇÕES E AJUSTES DO APLICATIVO PARA IMPLANTAÇÃO DO SI2PL NA C-PACK.....	63
4.5 AVALIAÇÃO DAS INSPEÇÕES DIMENSIONAIS.....	69
4.6 PREPARAÇÃO DA APLICAÇÃO PILOTO.....	83
4.7 APLICAÇÃO PILOTO.....	84
4.8 ANÁLISE DOS RESULTADOS E PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS.....	87
5 CONCLUSÕES.....	89
5.1 TRABALHOS FUTUROS.....	91
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Trilogia de Juran ^[5]	16
Figura 2 – Ciclo de vida de um produto, enfatizando as ações de Garantia da Qualidade (Adaptado de ^[8])	22
Figura 3 - Custos de geração e correção dos desvios da qualidade em um produto (Adaptado de ^[7])	23
Figura 4 – Etapas do desenvolvimento de produtos, segundo o modelo APQP ...	28
Figura 5 – Níveis organizacionais de atuação do SI2PL (Adaptado de ^[6])	36
Figura 6 – Foco de atuação do SI2PL.....	37
Figura 7 – Responsáveis pela operação do Sistema. Adaptado de ^[6]	39
Figura 8 – Módulos do SI2PL (Adaptado de ^[6])	41
Figura 9 – Geração de aplicativos específicos a partir do modelo teórico do SI2PL	42
Figura 10 – Esboço da tela principal do Sistema e seus principais componentes	43
Figura 11 – Interação do <i>PCBA SmartQuality</i> na detecção e solução de um problema da qualidade durante produção ^[6]	46
Figura 12 – Exemplo de produto fabricado pela C-Pack	49
Figura 13 – Fluxograma de inspeções realizadas pela empresa	52
Figura 14 – Etapas de extrusão e heading.....	53
Figura 15 – Desenho de produto da c-pack	54
Figura 16 – Concepção do método de coleta de dados para desenvolvimento do aplicativo	61
Figura 17 – Procedimento para coleta de dados na linha de produção	62
Figura 18 – Exemplo das tabelas da Base de Dados do Software.....	63
Figura 19 – Cadastro dos produtos no SI2PL	64
Figura 20 – Cadastro dos tipos de defeitos.....	65
Figura 21 – Cadastro dos processos e atribuição dos defeitos.....	66

Figura 22 – Exemplo de Plano de Controle.....	67
Figura 23 – Tela de registro dos dados de inspeção.....	68
Figura 24 - Exemplo de gráfico de defeitos.....	69
Figura 25 – Parâmetros dimensionais definidos.....	70
Figura 26 – Máquina utilizada para realização das medições-padrão.....	71
Figura 27 – Medições realizadas para definir os valores de referência.....	72
Figura 28 – Resultados das medições para a cota T	74
Figura 29 – Resultados das medições para a cota I	75
Figura 30 – Medições realizadas com o paquímetro para a cota T.....	78
Figura 31 – Medições realizadas com o paquímetro para a cota I.....	78
Figura 32 – Resultado do estudo de R&R feito com o paquímetro, para a cota T	82
Figura 33 – Resultado do estudo de R&R feito com o paquímetro, para a cota I..	82
Figura 34 – Quantidades inspecionadas entre 05/08/2008 e 27/08/2008	84
Figura 35 – Gráfico de Pareto dos principais defeitos encontrados	86
Figura 36 – Quantidades de produtos segregados	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Diferenças principais entre os setores EE e TP	18
Tabela 2 – Desdobramento dos Princípios Básicos do Modelo Toyota (Adaptado de ^[9]).....	25
Tabela 3 – Sistemática proposta para desenvolvimento do estudo de caso	48
Tabela 4 – Funções e responsabilidades no planejamento e realização das inspeções	55
Tabela 5 – Principais resultados do mapeamento realizado	56
Tabela 6 – Plano de ação desenvolvido em conjunto com a empresa.....	57
Tabela 7 – Inspeções realizadas na etapa de transformação	58
Tabela 8 – Critérios de aprovação utilizados pela C-Pack	59
Tabela 9 – Valores de amostragem para cada tipo de inspeção.....	60
Tabela 10 – Valores brutos da medição da cota diâmetro externo “T”	73
Tabela 11 – Valores brutos da medição da cota diâmetro externo “I”	74
Tabela 12 – Síntese das medições realizadas com a máquina Scienscope	75
Tabela 13 – Resultados para a cota T, para as peças medidas na scienscope	76
Tabela 14 – Resultados para a cota I, para as peças medidas na scienscope	77
Tabela 15 – Síntese das medições realizadas com o paquímetro	79
Tabela 16 – Resultados para a cota T, para as peças medidas no paquímetro....	79
Tabela 17 – Resultados para a cota I, para as peças medidas no paquímetro.....	80

LISTA DE ABREVIATURAS

APQP	Advanced Planejamento Quality Product
CEP	Controle Estatístico de Processo
CERTI	Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras
DFMEA	Análise de Modo e Efeitos de Falha de Projeto
DPU	Defeitos por unidade
EE	Eleto-eletrônico
EP	Embalagens Plásticas
GQ	Garantia da Qualidade
MSA	Measurement System Analysis
PFMEA	Análise de Modo e Efeitos de Falha de Processo
PMES	Pequenas e Médias Empresas
R&R	Repetitividade e Reprodutibilidade
SDS	Sistema de Desenvolvimento de Soluções
SI2PL	Sistema Integrado para Inspeção em Pequenos Lotes
PCBA <i>SmartQuality</i>	Aplicativo específico, derivado do SI2PL, para aplicação em empresa do setor EE
Pack <i>SmartQuality</i>	Aplicativo específico, derivado do SI2PL, para aplicação em empresa do setor de EP
SMCI	Sistema de Manufatura com Células Interligadas
LABelectron	Laboratório de Desenvolvimento e Testes de Processos e Produtos Eletrônicos

RESUMO

O controle da qualidade de um produto através da inspeção, seja ela de produto ou processo, é fundamental para a sobrevivência de toda e qualquer empresa, principalmente as que produzem em lotes, sendo esta atividade de fundamental importância quando o tamanho dos lotes é pequeno. Empresas que produzem em pequenos lotes são, na grande maioria, pequenas e médias, e lidam em sua rotina com condições dinâmicas e de pouca previsibilidade, que dificultam o processo de melhoria contínua.

Para estas empresas, fatores como a grande variabilidade de produtos, o tamanho dos lotes produzidos, a sazonalidade de clientes, a variabilidade das ordens de produção e o quadro de pessoal reduzido, dificultam a prática da engenharia da qualidade e do planejamento da inspeção, ação fundamental para a avaliação do status da qualidade de um produto e seu processo.

Neste trabalho foi realizada uma análise crítica do processo de planejamento e execução da inspeção em uma empresa do setor de embalagens plásticas que produz em lotes (que podem tanto ser grandes como pequenos lotes), visando a implantação de um sistema integrado para garantia da qualidade na produção, capaz de prover agilidade ao planejamento da inspeção, armazenar informações sobre a qualidade dos produtos e fornecer aos diferentes níveis organizacionais, em tempo real, informações relacionadas ao desempenho dos processos da empresa.

A partir da análise realizada e aplicação do sistema na linha de produção, foi possível propor e implementar melhorias no gerenciamento da inspeção da qualidade da empresa, viabilizando agilidade ao monitoramento dos dados de inspeção e à tomada de ação para correção dos desvios nos processos, enfatizando a necessidade de suporte às pequenas e médias empresas para executar o planejamento da inspeção em seus produtos e a respectiva análise de dados da qualidade para a prática da melhoria contínua.

ABSTRACT

Product quality control through inspection, applied to a product or a process, is fundamental for the survival of all kinds of companies, especially the job shop-type ones. Job shop-type companies are, mostly, small and medium sized, and handle on its daily routine, with dynamic and uncertain conditions, that turns the continuous improvement into a very difficult process.

For those kind of companies, issues such as the big variety of products, the size of the produced batches, that in some cases can be of one product only, the client's seasonality, the variability in the production orders and the reduced human resources available, makes it very difficult to practice the quality engineering and inspection planning, activities of great importance for a product or process quality status evaluation.

On this study was performed, in a plastic manufacturer sector job shop-type company, a critical analysis in the process of planning and executing inspections, aiming the introduction of a integrated system for production quality assurance, capable to provide agility in the inspection planning, store product quality information and also provide online, to the different organizational levels, information regarded to the company processes performance.

Based on the analysis performed and on the system's application in the companies' production line, it was able to propose and implement improvements on the quality inspection management, providing real agility for inspection data monitoring and action taking for correction of processes deviations, stressing the small and medium sized companies needs for executing product inspection planning and quality data analysis and make the continuous improvement process possible.

1 INTRODUÇÃO

No contexto industrial brasileiro, os conceitos de garantia da qualidade e planejamento do processo produtivo são fortemente baseados na produção em grandes escalas. Este tipo de produção tem como principal característica a repetição contínua. A pouca variabilidade proporciona a obtenção de informações sobre os desvios do processo. Estas informações, quando analisadas, geram dados importantes para a melhoria e aprimoramento da produção.

Em virtude das tendências mundiais de produção customizada, e pela necessidade crescente de inovação nos produtos oferecidos ao mercado em função dos novos modelos econômicos, é fundamental, para sua sobrevivência, que as empresas ofereçam produtos diferenciados, produzidos a custos mínimos e com elevados índices de qualidade. A diversidade diminui consideravelmente o ciclo de vida de um produto, gerando a necessidade de produção em pequenas escalas (ou pequenos lotes). O planejamento do controle da inspeção para este tipo de produção é um tema novo, e de grande valor para o desenvolvimento tecnológico das indústrias brasileiras.

Na produção em pequenos lotes, não existe um histórico das características do processo produtivo a ser utilizado e, além disso, existe a necessidade inerente de uma produção com “defeito zero”. Devido a este e outros fatores, o sistema de Garantia da Qualidade, em especial o gerenciamento da inspeção, neste tipo de produção, requer ações distintas das já desenvolvidas para as produções em escalas.

1.1 BREVE HISTÓRICO DOS CONCEITOS DE PRODUÇÃO

Analisando o histórico evolutivo da produção, podemos dizer que o Mestre artesão, até o século XVII, era o responsável por projetar e construir diversos

tipos de obras. Nestes primórdios da produção cada projeto era desenvolvido de acordo com a demanda do cliente. Projetos eram personalizados, podendo atender a diversas solicitações específicas, uma vez que o volume de produção era baixo, e dependia da capacidade e habilidade do artesão em gerar um produto de boa qualidade ^[1].

A evolução natural da tecnologia gerou a mecanização do trabalho, a partir de invenções como o tear hidráulico e, principalmente, a máquina a vapor, inventada em 1776, por James Watt. Com a máquina a vapor, viu-se a possibilidade de substituir o esforço humano ou animal por um novo tipo de energia. Com isso nasceram as primeiras fábricas, focadas na produção de têxteis ^[1].

Os fortes avanços nas máquinas a vapor originaram a Revolução Industrial, transformando toda a sociedade e dando início à chamada produção em massa, teorizada e aplicada a partir de 1910 por Henry Ford e Frederick Taylor, caracterizada principalmente pela padronização do processo produtivo, ou seja, pequena variabilidade de produtos e produção em lotes grandes ou muito grandes ^[2].

A produção em massa introduziu os conceitos de linha de montagem e postos de trabalho ^[2], estoques de produtos, etc. Já na década de 1950, vários estudiosos do assunto, incluindo Joseph M. Juran e Winston Edwards Deming desenvolveram os principais conceitos da chamada gestão da qualidade total.

Vimos então a globalização acentuar a concorrência entre empresas, tornando-as mundiais, e mudando o critério de competição, que até então era focado em preço, para um novo cenário: a sobrevivência não depende somente da capacidade da empresa em vender a preços competitivos, é necessário, e cada vez mais fundamental, que se ofereça ao mercado produtos com qualidade.

Hoje, o cenário industrial é fortemente baseado no consumidor. Para atender as demandas dos consumidores, que a cada dia se tornam mais exigentes em termos de baixos custos e elevados índices de qualidade, empresas buscam atualização constante de suas técnicas de produção, que a cada dia devem ser mais eficazes e atender a uma demanda crescente de produtividade e flexibilidade.

Pode-se dizer que caminhamos para uma produção customizada, que lembra a produção artesanal, na qual a tecnologia substitui o trabalho que, no início da história da produção, era realizado pelo Mestre artesão.

1.2 CARACTERIZAÇÃO E PARTICULARIDADES DA PRODUÇÃO EM PEQUENOS LOTES

Uma empresa que produz em pequenos lotes possui uma grande variedade de produtos, atendendo tanto a demandas de clientes quanto a demandas internas (*produção de produtos próprios*). O volume de produção pode ser aleatório, assim como o intervalo de repetição entre os lotes e a complexidade dos produtos.

Dentre os tipos de sistemas de manufatura que produzem em pequenos lotes, pode-se citar o layout funcional (*job shop*) e a fábrica com células interligadas.

Fábricas com layout funcional caracterizam-se por grandes variedades de peças e uso de máquinas universais, agrupadas por função. Esta disposição permite a produção de uma grande variedade de produtos, porém dificulta a obtenção dos índices de qualidade necessários.

O Sistema de Manufatura com Células Interligadas (SMCI) é um sistema celular, mais evoluído. Segundo Black ^[3], estes sistemas são compostos de células de produção e montagem interligadas por um sistema de controle de material. Nas células, operações e processos são agrupados de acordo com a seqüência de produção necessária para fazer um grupo de produtos. Sistemas SMCI têm como principal característica a flexibilidade (apesar de serem ainda menos flexíveis que o sistema com layout funcional), podendo reagir rapidamente a mudança de demandas, mudanças no projeto do produto ou ainda na variedade de produtos.

Independente do tipo de fábrica e do tipo de sistema de manufatura empregado, as características intrínsecas da produção em pequenos lotes geram uma série de dificuldades específicas, tais como:

- **Produtos com curto ciclo de vida:** Em virtude da intensificação da concorrência e das novas tecnologias, o ciclo de vida dos produtos diminui, o que gera dificuldades para produção;
- **Variedade dos processos de produção:** os processos necessários para produção dos distintos produtos podem possuir grande variedade em relação a complexidade dos produtos.
- **Dificuldade em planejar e programar a produção:** A necessidade de cumprimento dos prazos estipulados, o dinamismo das ordens de produção, os prazos de entrega e as margens de lucro reduzidas tornam a programação da produção uma tarefa bastante árdua para as empresas que produzem em pequenos lotes;
- **Longos tempos de atravessamento:** a necessidade constante de setups, compra e recebimento de tipos distintos de materiais, as mudanças nas especificações do produto, e outras características da produção, dificultam o cumprimento dos prazos junto ao cliente;
- **Altos níveis de estoque intermediário:** Em função da variedade dos produtos e da diversidade dos volumes produzidos, muitas vezes faz-se necessária a produção de diversos produtos simultaneamente, o que gera um elevado nível de estoque intermediário, ou seja, peças semi-acabadas;
- **Dificuldades em planejar e executar o controle da qualidade:** definir a quantidade ideal de controle e inspeção é uma atividade que se torna complexa, em virtude das características da produção em pequenos lotes, como a alta variabilidade e tempos de setup reduzidos.

Em sua maioria, empresas que trabalham em pequenos lotes são pequenas e médias, que fornecem a grandes corporações, as quais estão fazendo contratos curtos e exigindo cada vez mais fornecimento “just-in-time” com “Qualidade assegurada”. A descrição do trabalho de Lena Rantakyro ^[4] sintetiza o problema do planejamento para o controle da qualidade na produção em pequenos lotes:

“A produção é muito dificultosa para ser planejada porque existem muitos clientes e uma grande quantidade de diferentes produtos a serem

manufaturados. As empresas concorrem em todos os produtos e eles são produzidos em lotes muito pequenos, às vezes o tamanho do lote é unitário.

Geralmente fabricam produtos ou componentes para empresas de manufatura maiores ou prestam serviços para grandes companhias de setores como mineração, aço, papel e madeira. Têm havido mudanças na relação com as grandes corporações durante a última década. Os contratos já não são em longo prazo, e estão requerendo partes entregues “just-in-time”, em pequenos lotes, com prazos de poucas semanas e até dias.” [4]

Produzir em pequenos lotes é um grande desafio, principalmente no equacionamento entre qualidade, controle e manufatura.

A qualidade precisa ser garantida, porém em virtude da pequena quantidade de dados coletados durante o processo produtivo, muitas vezes não é possível aplicar os métodos convencionais da engenharia da qualidade, sendo necessária a aplicação de soluções inovadoras para controlar o processo produtivo, a partir da combinação de métodos preventivos, treinamento dos operadores e controle *on-line*.

1.3 CARACTERÍSTICAS DA QUALIDADE EM PMES QUE PRODUZEM EM DE PEQUENOS LOTES

De acordo com Juran [5], para se produzir com qualidade é necessário sistematizar todo o processo de desenvolvimento (ciclo da qualidade) em três etapas mínimas, que definem a “*Trilogia de Juran*”:

- 1) **Planejar a qualidade:** Faz-se necessário, antes de tudo, estabelecer metas para a qualidade, identificar, mapear e definir as necessidades do cliente, para a partir daí projetar o produto e desenvolver os processos necessários para produzir este produto sem defeitos, a partir do planejamento dos controles a serem empregados durante a produção

- 2) **Controle da Qualidade**, consiste em controlar as operações produtivas durante a produção, comparar o desempenho real com os objetivos e corrigir os defeitos a partir dos controles empregados
- 3) **Melhoria da Qualidade**, é o processo de quebra de barreiras, através da obtenção de níveis de desempenho significativamente melhores, como evidenciado na Figura 1.

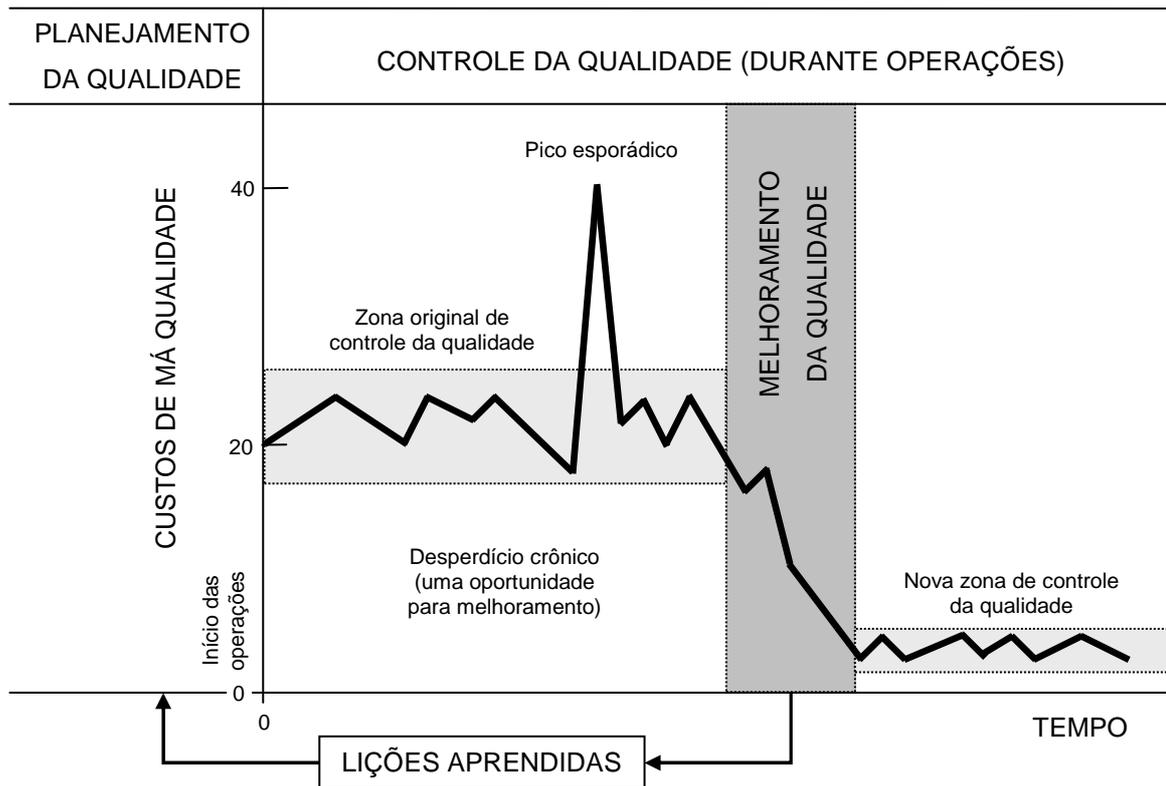


Figura 1 – Trilogia de Juran ^[5]

Analisando a trilogia Juran no cenário de produção em pequenos lotes, principalmente no que se refere à realidade das PMEs, pode-se fazer algumas considerações ^[6]:

- Uma grande parte das PMEs que produzem em pequenos lotes não são diretamente responsáveis pelo projeto do produto. São contratadas por uma empresa de grande porte, e precisam entregar os produtos em prazos apertados, não podendo assim dispor o tempo necessário para executar o Planejamento da Qualidade;
- Pequenas e Médias Empresas, em geral, possuem um quadro de pessoal reduzido, focado na produção, ou seja, a preocupação maior

destas empresas é produzir e entregar no prazo. Em geral, a cultura da qualidade é limitada;

- Os conhecimentos metrológicos, em geral, são limitados. Controles são executados, porém ações de análise de dados e engenharia metrológica são em sua maioria inexistentes;
- A garantia da qualidade estatística, a partir da aplicação de CEP, por exemplo, é pouco praticada;
- As quantidades produzidas não geram dados suficientes para implementar as ações de controle e melhoria.

1.4 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

Partindo-se do questionamento acerca das dificuldades reais de uma empresa em praticar os conceitos de planejamento da qualidade com ênfase na inspeção e na análise de dados estatísticos da qualidade, foram definidos os objetivos deste trabalho.

Assim sendo, neste trabalho objetiva-se analisar em detalhes a estrutura de planejamento e execução da inspeção da qualidade, bem como as ações de melhoria contínua, em uma empresa com as características típicas de empresas que produzem em pequenos lotes.

É importante salientar que o desenvolvimento desta dissertação está associado ao desenvolvimento da tese de doutorado de Marcos Marinovic Doro, intitulada *“Solução integrada para a inspeção da qualidade na produção em pequenos lotes”*. O objetivo da tese é *“Desenvolver uma solução integrada para assistir o gerenciamento da inspeção num ambiente de produção em pequenos lotes, com o intuito de conseguir produzir com a qualidade desejada desde a primeira vez”*.

Para validar os conceitos desenvolvidos na tese, foi proposta a realização de dois estudos de caso. O primeiro está sendo executado em uma indústria do setor eletro-eletrônico (EE), através da aplicação de conceitos exclusivos para empresas que produzem em pequenas séries neste setor. Esta dissertação foca na aplicação destes conceitos e métodos de gerenciamento da inspeção em uma

indústria de Embalagens Plásticas (EP), ou seja, os resultados do trabalho de dissertação serão também utilizados para validação dos conceitos da tese.

Existem diversas características relacionadas ao processo de fabricação, planejamento da inspeção e controle da qualidade, que são distintas entre os setores EE e EP. Algumas são evidentes, como mostrado na Tabela 1:

	Eleto Eletrônicos	Embalagens Plásticas
Produto	O produto final é a junção de uma série de componentes definidos pelo projeto. Não existe transformação de matéria durante o processo	O produto final é obtido através de transformação de matéria
Processo	Uso de máquinas flexíveis (são utilizados os mesmos recursos de fabricação para a maioria dos produtos, mudando-se apenas alguns parâmetros)	Uso de máquinas semi-flexíveis (utilizam-se os mesmos recursos de fabricação para vários produtos, porém para cada novo produto é necessário o desenvolvimento de moldes e ferramentas específicas)
Planejamento da inspeção do processo	A “cultura metrológica” é fraca. Podem não ser utilizados instrumentos de medição para a decisão de aprovação ou rejeição.	A “cultura metrológica” é mediana. Em alguns casos, são usados instrumentos de medição para a decisão de aprovação ou rejeição.
Execução da inspeção da qualidade na produção	A inspeção pode ser visual ou automática, sendo basicamente por atributos. Inspeções por variáveis requerem infraestrutura específica, de alto custo.	As inspeções são executadas, em sua maioria, visualmente, sendo basicamente por atributos e, em alguns casos, por variáveis. Inspeções por variáveis podem ser realizadas com equipamentos simples, de baixo custo.

Tabela 1 – Diferenças principais entre os setores EE e TP

As diferenças entre os setores afetam o desempenho dos conceitos e métodos de planejamento da inspeção, sendo necessária uma análise detalhada das características do setor de Embalagens Plásticas, para validar os conceitos do método em proposição.

Partindo deste questionamento, o objetivo principal deste trabalho é analisar criticamente, propor e implementar melhorias no gerenciamento da inspeção da qualidade de uma empresa que possua as características de

produção em pequenos lotes, através da aplicação de um sistema integrado de suporte à inspeção.

Além do objetivo principal, os objetivos específicos da dissertação são:

- Realizar um mapeamento das características de planejamento da qualidade e planejamento da inspeção em uma empresa do Setor de Embalagens Plásticas;
- Adaptar e aplicar o sistema integrado de suporte à inspeção em um ambiente fabril do Setor de Embalagens Plásticas;
- Realizar um estudo detalhado do processo de inspeção em uma empresa do Setor de Embalagens Plásticas;
- Gerar informações, a partir da aplicação, para melhoria do sistema de inspeção e do sistema da qualidade da empresa;
- Validar os conceitos teóricos da tese neste segmento industrial.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está assim estruturada:

Capítulo 2 - A qualidade na produção em pequenos lotes: Serão abordadas, através de pesquisa bibliográfica, algumas metodologias de planejamento da qualidade aplicáveis na produção em pequenos lotes, enfatizando as principais características do Modelo Toyota de Produção e a relação destas com as necessidades de PMEs que produzem em pequenos lotes. Serão também abordados os principais conceitos para a prática do planejamento da inspeção e da engenharia metrológica no chão de fábrica, conforme conceitos propostos no manual do MSA¹.

Capítulo 3 – Aplicação de um Sistema Integrado para Garantia da qualidade na produção em pequenos lotes: Neste capítulo será descrita a sistemática para aplicação do estudo de caso proposto. Serão também descritas

¹ A sigla MSA é originária do inglês, e significa Measurement System Analysis

as principais características da solução a ser aplicada, sua visão geral, requisitos e módulos.

Capítulo 4 – Estudo de caso: Empresa C-Pack: Aqui será detalhado o estudo de caso realizado junto a empresa C-Pack. Serão descritas as características gerais da empresa estudada, o mapeamento de como é feito o planejamento da inspeção, a preparação e características do aplicativo (software) para implantação do Sistema Integrado, o descritivo da aplicação do software no chão de fábrica e as proposições para melhoria e continuidade.

Capítulo 5 – Conclusões: Conclusões finais sobre a dissertação e a relevância dos resultados obtidos.

2 A QUALIDADE NA PRODUÇÃO EM PEQUENOS LOTES

Existem diversas definições para a palavra qualidade. Segundo Pfeiffer ^[7], qualidade é *“o conjunto das propriedades de um produto, processo ou serviço capazes de satisfazer as necessidades declaradas ou implícitas do cliente.”*

O atendimento das demandas do cliente, sob a ótica do processo produtivo, é decorrente do atendimento das demandas dos clientes internos, ou seja, uma empresa que produz com qualidade é uma empresa capaz de entregar aos clientes, produtos manufaturados dentro dos prazos (menores tempos de resposta), com o menor custo possível (menores perdas) e com elevada qualidade.

A qualidade começa na especificação do produto. Estas especificações se transformam em requisitos de projeto. Uma vez definido o projeto, desenvolve-se o processo produtivo necessário para manufaturar o produto. Uma vez produzido, deve-se acompanhar o desempenho do produto no mercado. Estas etapas caracterizam o ciclo de vida do produto, mostrado na Figura 2. A garantia da qualidade atua prioritariamente entre as etapas de desenvolvimento do produto e produção. Os métodos e ferramentas usadas para atingir o patamar de qualidade desejada pelo mercado formam a chamada “engenharia da qualidade”.



Figura 2 – Ciclo de vida de um produto, enfatizando as ações de Garantia da Qualidade (Adaptado de ^[8])

Os novos conceitos de aplicação dos métodos de engenharia da qualidade, desenvolvidos pelas empresas Japonesas, podem ser divididos em duas principais vertentes: (1) métodos preventivos de engenharia da qualidade e (2) métodos da engenharia da qualidade na linha de produção.

Segundo Pfeiffer ^[7], no desenvolvimento de um produto, 75% dos custos devidos a desvios da qualidade são gerados nas etapas de planejamento, antes de começar a fabricação do produto, ao mesmo tempo em que cerca de 80% dos custos associados à correção dos desvios da qualidade se produzem durante a inspeção e utilização do produto, como evidenciado na Figura 3. Além disso, o custo de correção de uma falha cresce com um fator de 10 vezes a medida que as etapas de criação de um produto são cumpridas, ou seja, o custo de correção de uma possível falha no produto, feita na etapa de definição, será mínimo quando comparado ao custo de correção da falha deste produto quando em uso pelo cliente.

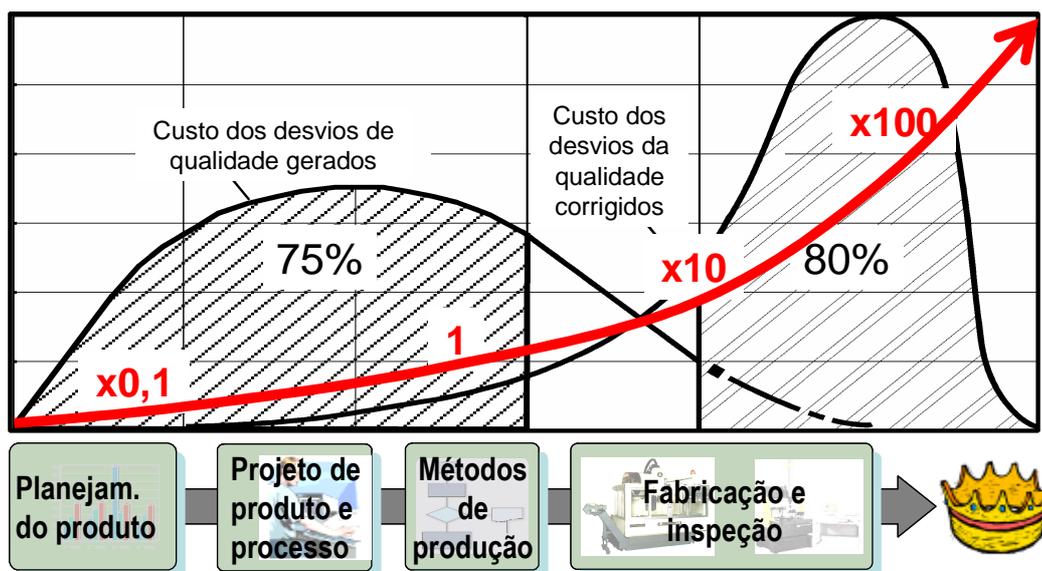


Figura 3 - Custos de geração e correção dos desvios da qualidade em um produto
(Adaptado de ^[7])

A aplicação destes métodos e técnicas, focados em uma preocupação maior na execução de processos de engenharia antes da produção e lançamento do produto, descobrindo e corrigindo antecipadamente eventuais falhas, é hoje ponto fundamental para a sobrevivência de toda e qualquer empresa, principalmente as PMEs que produzem em pequenos lotes.

As concepções e fundamentos teóricos explicam e muitas vezes detalham todas as ações necessárias para planejar e produzir com qualidade. Por outro lado, a realidade das PMEs que produzem em pequenos lotes, muitas vezes, torna a aplicação destes métodos teóricos bastante difícil, devido a uma série de fatores, como a baixa padronização (e conseqüentemente a alta variabilidade) dos processos fabris, a condição dinâmica da rotina de produção, e também a falta de pessoal qualificado para planejar e conduzir este processo.

Sob esta ótica, neste capítulo pretende-se relatar alguns aspectos da produção enxuta considerados relevantes para PMEs que produzem em pequenos lotes, apresentar um descritivo do processo básico de um modelo de desenvolvimento de produtos, e ainda discutir alguns conceitos relacionados ao planejamento e execução da inspeção, uma vez que este será o enfoque deste trabalho.

No decorrer deste capítulo serão abordados/citadas diferentes técnicas, métodos e ferramentas da Garantia da Qualidade. No entanto, estas não serão discutidas em maiores detalhes, uma vez que podem ser encontradas na literatura diversas referências sobre estes assuntos.

2.1 ASPECTOS DA PRODUÇÃO ENXUTA, FUNDAMENTAIS PARA PMES QUE PRODUZEM EM PEQUENOS LOTES

A cultura da produção enxuta, desenvolvida pelos japoneses, fundamentada na aprendizagem contínua e na busca de resultados com o mínimo de perdas ^[9], mostra-se perfeitamente aplicável e necessária em empresas que produzem em pequenos lotes.

A produção enxuta consiste na combinação de práticas de produção contidas em diversas filosofias (TQM², JIT³), ferramentas (QFD⁴, DFM, Método de Taguchi, FMEA), e técnicas (SMED⁵, Práticas básicas de trabalho, orientação de arranjo físico por fluxo, tecnologia de grupo, *Poka-yoke*), que, quando agrupadas e desenvolvidas de acordo com a definição de valor de um produto e da cadeia de valor do fluxo dos recursos produtivos, seguindo conceitos específicos como os de produção puxada e melhoria contínua, geram resultados de alto impacto para a empresa.

O *Modelo Toyota de Produção* ^[9], conceituado e bastante difundido entre os modelos de manufatura enxuta, tem como ponto de partida os “4 Ps”⁶:

- I. **Filosofia:** a visão que os líderes devem ter da empresa é a de que ela deva agregar valor aos clientes, à sociedade, à comunidade e aos seus funcionários;
- II. **Processo:** seguir o processo correto leva a obtenção de resultados corretos.

² Do inglês, a sigla TQM significa “Total Quality Management”

³ Do inglês, a sigla JIT significa “Just In Time”

⁴ Do inglês, a sigla QFD significa “Quality Function Deployment”

⁵ Do inglês, a sigla SMED significa “Single Minute Exchange of Die”

⁶ A expressão 4 Ps vêm do Inglês: Philosophy, Process, People/Partners e Problem Solving

- III. **Pessoas e parceiros:** desafiar continuamente pessoas, parceiros e fornecedores a pensar, aprender e crescer, tornando-os melhores e mais confiantes;
- IV. **Solução de problemas:** resolver a raiz dos problemas sempre, para que se realize a aprendizagem organizacional de maneira contínua.

A Tabela 2 mostra o desdobramento dos 4Ps que definem os princípios do Modelo Toyota.

Princípios Básicos do Modelo Toyota	Desdobramento dos princípios
I. Filosofia como base	<ul style="list-style-type: none"> ✚ Decisões administrativas devem ser baseadas em uma filosofia de longo prazo, mesmo que em detrimento de metas de curto prazo;
II. O processo certo produzirá os resultados certos	<ul style="list-style-type: none"> ✚ Criar um fluxo de processo contínuo, capaz de trazer problemas à tona; ✚ Usar sistemas “puxados”; ✚ Nivelar a carga de trabalho; ✚ Parar e resolver problemas para obter a qualidade desejada na primeira tentativa ✚ Tarefas padronizadas são a base da melhoria contínua e da capacitação dos funcionários; ✚ Usar controle visual para que nenhum problema fique oculto
III. Valorização da organização através do desenvolvimento de seus funcionários e parceiros	<ul style="list-style-type: none"> ✚ Desenvolver líderes que compreendam completamente o trabalho, vivam a filosofia e a ensinem aos outros; ✚ Desenvolver pessoas e equipes excepcionais que sigam a filosofia da empresa ✚ Respeitar sua rede de parceiros e de fornecedores, desafiando-os a ajudando-os a melhorar
IV. A solução contínua da raiz dos problemas conduz à aprendizagem organizacional	<ul style="list-style-type: none"> ✚ Ver por si mesmo para compreender completamente a situação ✚ Tomar decisões lentamente por consenso, considerando todas as opções, implementando-as com rapidez ✚ Tornar-se uma organização de aprendizagem pela reflexão incansável e pela melhoria contínua

Tabela 2 – Desdobramento dos Princípios Básicos do Modelo Toyota (Adaptado de ^[9])

A aplicação prática dos princípios acima descritos não é uma tarefa fácil. É necessário que provenha da alta administração da empresa e seja desdobrado para todos os setores.

Toda empresa, principalmente as PMEs, tem como fator mais importante para a sua sobrevivência a gestão e organização de seus recursos humanos, materiais e capital. Deve existir constantemente coordenação, responsabilidade e controle, através de uma abordagem holística⁷ às pessoas^[3], caracterizada por:

- ✚ Tomadas de decisão baseadas no consenso por equipes administrativas;
- ✚ Confiança, integridade e lealdade mútua entre trabalhadores e administradores;
- ✚ Trabalho em grupo;
- ✚ Pagamento de incentivos a partir do desempenho da empresa;
- ✚ Estabilidade empregatícia.

A partir destes conceitos, fica evidente que a questão fundamental para a sobrevivência de uma empresa não está somente no uso das técnicas avançadas de engenharia da qualidade, mas também na estratégia de formação das pessoas e na comunicação entre os diferentes setores. Todos devem ter claro como a empresa funciona e como é controlada. Produtos de baixo custo e qualidade superior, produzidos e entregues dentro dos prazos são resultado de trabalho em equipe^[3].

Implementar na prática os conceitos de produção enxuta é um trabalho árduo e lento. A produção enxuta trata-se, na verdade, de uma combinação de práticas de produção contidas em diversas filosofias, ferramentas e técnicas, que quando orientadas segundo os fundamentos da definição de valor de um produto e da determinação da cadeia de valor do fluxo dos recursos produtivos e da melhoria contínua, dentre outros aspectos, produzem resultados majorados, devido à sinergia obtida através da interação destes fatores. O sistema de produção enxuto encontra-se atualmente em processo de ampla difusão nos mais

⁷ A abordagem holística, segundo o dicionário Aurélio, está relacionada com o holismo, teoria segundo a qual o homem é um todo indivisível, e que não pode ser explicado pelos seus distintos componentes (físico, psicológico ou psíquico), considerados separadamente.

diversos segmentos industriais, não se restringindo ao setor automotivo ou às grandes empresas. Contudo, não existe uma metodologia que seja a melhor ou a mais recomendável para sua implementação ^[6].

Teoricamente, as empresas que dominarem a produção enxuta estarão preparadas para a produção em pequenos lotes. No entanto, o número de grandes empresas é bem menor comparado ao número de pequenas e médias. Existe uma vasta bibliografia a respeito do sistema de produção enxuta, mas somente uma pequena parte está voltada para a realidade das pequenas e médias empresas, que operam em condições dinâmicas e incertas, enfrentando desafios totalmente opostos aos do sistema de produção enxuta, tais como previsões de demanda incertas ou inexistentes, fornecedores pouco qualificados, equipamentos que não estão em perfeito funcionamento, funcionários com qualificação insuficiente, insuficiência de informações em desenhos e planos de inspeções, falta de padrões, ferramentas, instruções de trabalho, etc. Dessa forma, é necessário vencer anteriormente uma série de grandes desafios estratégicos e operacionais para possibilitar a mudança de cultura nas PMEs.

Conseqüentemente, estes diversos fatores fazem com que as atividades de produção em pequenos lotes, na grande maioria das empresas, principalmente nas PMEs, sejam executadas mais com base em intuição, bom senso ou coragem do que através de programações, planos e controles corretos, o que torna a produção em pequenos lotes cheia de riscos e incertezas ^[6].

2.2 O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

O processo de desenvolvimento de produtos foi modelado por diversos autores, por exemplo, *Ulrich* ^[10]. Dentre estes modelos, apresentar-se-á nesta dissertação o denominado Planejamento Avançado da Qualidade do Produto ^[11], proposto originalmente no contexto do sistema da qualidade para a indústria automotiva QS9000 ^[12] e aplicado atualmente nas empresas certificadas na ISO/TS 16949 ^[13]. A Figura 4 mostra uma visão geral deste modelo, que a partir da década de 1990 vem sendo aplicado por empresas de diferentes setores.

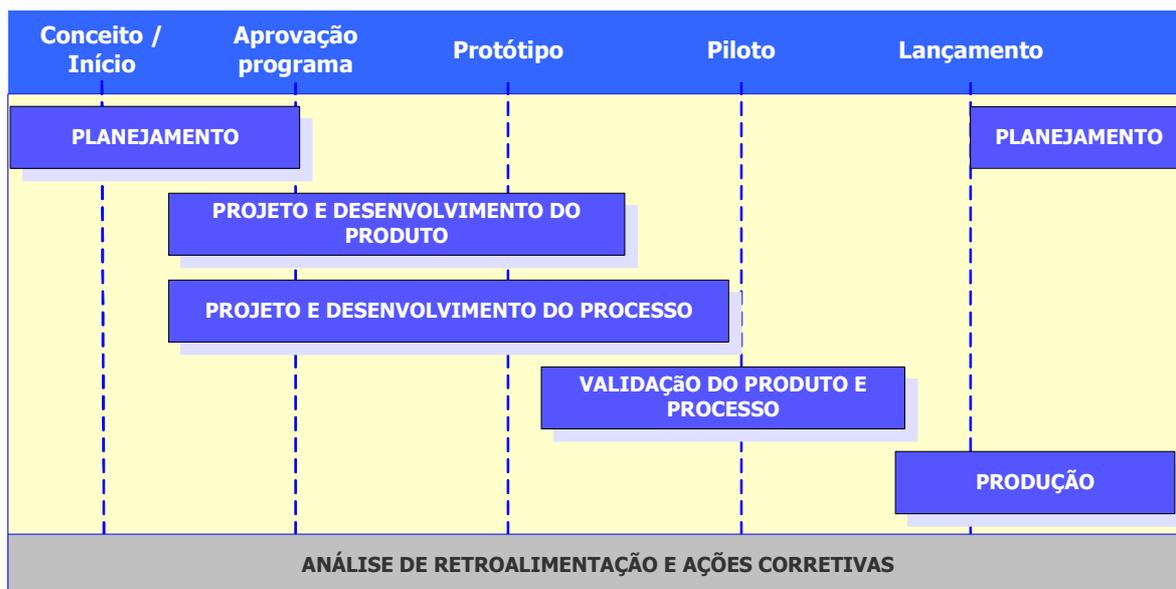


Figura 4 – Etapas do desenvolvimento de produtos, segundo o modelo APQP

De acordo com o modelo proposto, o planejamento da qualidade do produto compreende cinco grandes etapas, que estruturam e definem os passos necessários para assegurar que um produto satisfaça as necessidades do cliente.

O ciclo começa com a definição de um programa da qualidade, fortemente ancorado na satisfação do cliente. A partir de informações oriundas de pesquisas de mercado, análises de benchmarking⁸ e informações estratégicas sobre as características requeridas para o produto, define-se então objetivos claros para o projeto do produto e processo, as metas de confiabilidade e de qualidade e planeja-se as funcionalidades do produto.

A etapa seguinte caracteriza-se pelo projeto e desenvolvimento do produto. Nesta etapa, a equipe de projeto deverá fazer uso dos métodos preventivos da engenharia da qualidade, como o DFMEA⁹ e DFM¹⁰. Ainda na etapa de projeto, deverá ser construído um protótipo para verificar se o produto atende as necessidades do cliente, verificado se o projeto atinge os requisitos de engenharia especificados, e os objetivos de qualidade, confiabilidade, custo e prazos. Por último, nas etapas finais da fase de projeto devem ser definidas as características

⁸ *Benchmarking – Pode-se dizer que o processo benchmarking foi inserido no ambiente de negócios pela Xerox, que o definiu como “o processo contínuo para medir os nossos produtos, serviços e práticas com os mais fortes concorrentes ou com as companhias reconhecidas como líderes da indústria”*

⁹ *Do inglês, a sigla DFMEA significa “Design Failure Mode and Effects Analysis”*

¹⁰ *Do inglês, a sigla DFM significa “Design for Manufacturing”*

de processo e requisitos para os meios de medição e equipamentos de teste necessários para manufaturar o produto.

Após congeladas as especificações de projeto, desenvolve-se o sistema de manufatura necessário para garantir a qualidade esperada do produto. Nesta etapa são desenvolvidos os fluxogramas de processo, layout das instalações, as instruções de processo (que contém os requisitos metrológicos que devem ser atendidos), o PFMEA¹¹ e as especificações de embalagem para o produto.

A etapa seguinte compreende a validação do produto e do processo, feita através da corrida piloto de produção. Nesta etapa, todas as definições teóricas geradas nas fases anteriores devem ser verificadas. De modo geral, compreende atividades como a avaliação dos sistemas de medição utilizados, estudos preliminares de capacidade do processo e aprovação da peça de produção e dos planos de controle gerados para produto e processo.

A última etapa do ciclo compreende a produção do produto. Durante a produção, é papel da Engenharia da Qualidade verificar a efetividade de todas as ações de planejamento da qualidade do produto, mantendo o processo estável e sob controle, reduzindo a variabilidade e garantindo a satisfação do cliente.

2.3 PLANEJAMENTO DA INSPEÇÃO DA QUALIDADE

O planejamento da inspeção da qualidade tem por objetivo assegurar que o processo de inspeção esteja sistematizado a ponto de poder prover informações confiáveis referentes ao atendimento dos requisitos da qualidade do produto e/ou do processo ^[5].

O planejamento da inspeção ocupa uma importante posição na interface entre o planejamento do produto, o planejamento do processo de manufatura e a produção. O baixo grau de interação entre estas áreas, que a princípio são os principais provedores de informações para uma adequada definição das características a serem inspecionadas, inibe a interação do planejamento da inspeção com as demais áreas e fases do desenvolvimento do produto. Este planejamento da inspeção segmentado resulta em uma situação

¹¹ Do inglês, a sigla PFMEA significa "Project Failure Mode and Effects Analysis"

predominantemente reativa, uma vez que a maioria das decisões relacionadas ao produto ou ao processo produtivo já foram tomadas. Operando desta maneira, o planejamento da inspeção torna-se bastante restrito, perdendo seu potencial para introduzir melhorias e otimizações tanto no produto quanto no processo. Por esta razão, posicionar o planejamento da inspeção junto às fases de planejamento do produto, integrando-o num contexto de engenharia simultânea, poderá trazer importantes contribuições com foco na prevenção de falhas, na racionalização dos tempos de produção, na minimização de custos e na maximização da conformidade dos produtos ^[14].

O planejamento da inspeção é também um instrumento essencial na comprovação e no rastreamento de informações e de inspeções, bem como fonte de subsídio para ações de planejamento de melhorias em todas as fases do desenvolvimento de um produto e/ou processo. Para tal, o planejamento da inspeção deve considerar a estrutura organizacional da empresa, suas diretrizes e políticas da qualidade, bem como os inerentes aspectos relacionados aos custos da qualidade ^[14].

2.3.1 Gerenciamento da inspeção da qualidade

O gerenciamento da inspeção está inserido nos conceitos aqui apresentados, sendo uma atividade que viabiliza uma análise objetiva para a determinação de ações corretivas e de melhoria que devem ser levadas a termo para garantir níveis aceitáveis de qualidade. Não basta somente planejar a inspeção, é necessário avaliar constantemente se a inspeção está sendo realmente funcional e gerando informações para a melhoria dos processos.

Observa-se na prática que, em função da necessidade de comprovação da conformidade, a inspeção da qualidade do produto ganhou grande espaço nas relações de fornecimento. Em muitos casos as inspeções são realizadas e/ou exigidas por clientes, sem, no entanto, haver uma necessidade concretamente caracterizada. Isto se deve a um deficitário conhecimento da real necessidade ou não necessidade de inspecionar, gerando custos desnecessários e perdas de produtividade. Por outro lado, não raro constata-se também, que empresas deixam de inspecionar características relevantes para a qualidade do produto ou para o controle dos processos, inviabilizando um sistema efetivo de controle e

melhoria da qualidade. Tanto o excesso quanto a falta de inspeção representam perda de qualidade e produtividade, e merecem uma atenção maior por parte das empresas. Um passo importante neste sentido é uma maior dedicação ao planejamento sistemático da avaliação da qualidade e em particular da inspeção [14].

Cada vez mais, o desafio de todo o processo de inspeção é sua integração em um processo contínuo de ações corretivas e preventivas contra defeitos e falhas. Este é o caminho para uma efetiva agregação de valor da metrologia e da inspeção da qualidade no desenvolvimento dos produtos.

2.3.2 O planejamento da qualidade em PMEs que produzem em pequenos lotes

A aplicação de todas as etapas e ferramentas descritas no modelo APQP em uma empresa que produz em pequenos lotes, principalmente em uma pequena ou média empresa, é uma atividade muito difícil de ser executada. A grande diversidade de produtos em seu ambiente de produção traz diversos problemas para o planejamento da qualidade. Para cada produto é preciso descobrir: o que é novo; como isso afeta o controle, a inspeção, os requisitos de qualidade, etc.; e o que necessita ser feito para assegurar que este novo produto esteja corretamente identificado e controlado, ou seja, definir com clareza suas especificações, detalhando o fluxo de produção, pontos de inspeção, métodos de controle, requisitos de qualidade e assim por diante. Desse modo, a produção em pequenos lotes requer uma constante criação e atualização de planos de controle da qualidade [6].

A grande diversidade de produtos cria também um considerável problema de comunicação sobre qual é a ação a ser tomada para cada produto. A quantidade de tal comunicação pode tomar enormes proporções, devido ao efeito multiplicativo do número de produtos, número de processos, número de ferramentas, entre outros, que possa ser afetado. A consequência desse grande volume de comunicação faz com que o problema na qualidade da comunicação seja tão importante como a qualidade no produto e no processo. Assim, para executar o planejamento da qualidade na produção em pequenos lotes é essencial que exista um eficiente gerenciamento das informações de qualidade,

incluindo dados de inspeções, tipos de controle, ferramentas, fluxos de produção, especificações do produto, etc. [6]

Além disso, o planejamento da qualidade enfrenta problemas que são do cotidiano da maioria das empresas, mas que em um ambiente de produção em pequenos lotes, tornam-se ainda mais graves, como por exemplo: o curto espaço de tempo para se realizar o planejamento da qualidade; as constantes mudanças nas especificações do produto; a falta de informações sobre o produto, sobretudo devido à questão da terceirização; a falta de equipes multidisciplinares dentro empresa; o grande número de clientes e fornecedores envolvidos, entre outros [15].

2.4 CONTROLE DA QUALIDADE DA INSPEÇÃO NO PROCESSO PRODUTIVO

Conforme citado no item 2.1 , a questão fundamental para a sobrevivência das PMEs que produzem em pequenos lotes não está fundamentada no uso de técnicas avançadas de engenharia, mas sim no trabalho em equipe, feito a partir de uma estratégia direta de comunicação entre os envolvidos no desenvolvimento dos produtos.

Em geral, o conhecimento teórico e a prática diária da engenharia metrológica, principalmente em PMEs, é escasso, apesar de ser de grande importância para a compreensão e otimização dos seus processos produtivos.

Com base neste cenário, será apresentado neste item alguns aspectos metrológicos simples relacionados ao controle da qualidade da inspeção no processo produtivo, porém de grande importância para análise e conhecimento do processo produtivo, análise de causas raízes e geração de melhorias.

2.4.1 Avaliação de sistemas de medição

O controle de processos de fabricação e a avaliação de conformidade de produto precisam se basear em medições confiáveis [16]. Fortemente influenciada pela imposição da indústria automobilística que, através das normas QS 9000, TS 16949 [13] e publicações como o Manual MSA [17] difundiram a prática da

metrologia em ambientes fabris, empresas de outros setores passaram a adotar práticas similares, com o intuito de melhor compreender as causas das variações de seus processos, reduzirem seus custos da não qualidade e melhorar seus produtos.

Na avaliação de um sistema de medição, três questões fundamentais devem ser consideradas ^[16]:

- ✚ A sensibilidade do sistema de medição deve ser adequada.
- ✚ O sistema de medição deve ser estável.
- ✚ As propriedades estatísticas (erros) devem ser consistentes ao longo do intervalo de medição esperado e adequadas ao propósito de medição (controle do produto e/ou controle do processo).

A sensibilidade do sistema de medição está basicamente relacionada com a resolução do instrumento utilizado para realização das medições. A resolução com que os dados são levantados e processados é de grande importância para se determinar a qualidade da informação coletada. Existem diversas recomendações para selecionar a resolução de um sistema de medição. Segundo Wheeler, a resolução com que são coletados os dados deve ser, no mínimo, igual ao desvio padrão do processo de fabricação ^[18]. O manual de referência MSA recomenda que a resolução seja, como máximo, 10% da tolerância ^[17].

A estabilidade do sistema de medição está relacionada com o controle estatístico do processo de medição. Para estar sob controle estatístico, um sistema de medição deve estar submetido somente à ação de causas comuns, o que os torna previsíveis. A previsibilidade é fundamental, pois o sistema de medição deve operar de uma forma conhecida e consistente no tempo.

A terceira questão refere-se à adequabilidade do processo de medição no contexto da garantia da qualidade de produto e processo, ou seja, os sistemas de medição usados por uma empresa devem ser adequados às características que se deseja controlar. Quando as características ou processos são modificados e aperfeiçoados, o sistema de medição deve obrigatoriamente ser reavaliado quanto ao seu pretendido propósito. É essencial à organização (gerência, planejador da medição, operador de produção e analista da qualidade) compreender o propósito da medição e aplicar a avaliação apropriada ^[19].

O manual de referência MSA ^[17] propõe que as propriedades estatísticas dos sistemas de medição sejam avaliadas em quatro estudos básicos: estabilidade, tendência, linearidade e repetitividade e reprodutibilidade (R&R).

Os estudos de estabilidade, tendência e linearidade objetivam revelar se certos desvios de desempenho específicos são significativos frente à variação natural do sistema de medição. O estudo de R&R avalia a variação do sistema de medição, comparando-a com a variação do processo de fabricação ou a tolerância de produto, sendo esse estudo a base de um critério de capacidade da medição, permitindo avaliar se o sistema de medição é ou não apto para uma determinada aplicação ^[16].

2.4.2 Avaliação da capacidade de processos

Complementar a avaliação dos sistemas de medição, a avaliação da capacidade dos processos fornece subsídios para decidir, com base em fatos e dados, sobre a adequabilidade dos processos fabris.

Mesmo não sendo capaz de melhorar a qualidade intrínseca do produto, a avaliação de capacidade de processos é importante para se conhecer o status do processo produtivo.

A avaliação de capacidade se realiza comparando estimativas da posição (média) e de dispersão (desvio padrão) do processo com as especificações, utilizando para isso diferentes índices de capacidade. Os mais conhecidos são Cp e Cpk. O descritivo das equações e modelos para cálculo destes índices será feito no item 4.5.2.2

No contexto da aplicação realizada no estudo de caso desta dissertação, foram aplicados alguns dos estudos acima mencionados com o objetivo de avaliar a capacidade dos instrumentos metrológicos utilizados pela empresa em realmente controlar o processo produtivo. O detalhamento dos estudos aplicados e os resultados principais serão descritos no capítulo 4 desta dissertação.

3 SISTEMA INTEGRADO PARA GARANTIA DA QUALIDADE NA PRODUÇÃO EM PEQUENOS LOTES

Praticar a Garantia da Qualidade de maneira preventiva é um grande desafio às PMEs. Os distintos conceitos e técnicas para aplicação da garantia da qualidade, hoje re-estruturados pela “produção enxuta”, foram primeiramente definidos com ênfase para aplicação em grandes empresas. Na prática, PMEs possuem uma condição de incerteza e dinamismo que torna a aplicação destes conceitos muitas vezes inviável, sendo necessária a criação de novos métodos, adaptáveis às suas necessidades.

Neste capítulo será descrita em detalhes a sistemática a ser usada no estudo de caso objeto desta dissertação, que visa promover o uso efetivo da engenharia da qualidade em PMEs. Esta sistemática foi desenvolvida no contexto da tese de Doutorado de Marcos Marinovic Doro, conforme já citado, e aplicada previamente em outro estudo de caso, na indústria eletroeletrônica (EE) ^[6].

3.1 VISÃO GERAL DO SISTEMA PARA GERENCIAMENTO DA INSPEÇÃO NA PRODUÇÃO EM PEQUENOS LOTES

O *Sistema Integrado para Inspeção em Pequenos Lotes* – SI2PL, é capaz de armazenar e tornar rapidamente acessíveis, aos diferentes níveis organizacionais da empresa, informações sobre a qualidade do produto e o desempenho dos processos, atuando simultaneamente em nível gerencial, através do fornecimento on-line de indicadores da produção, bem como em nível operacional, onde são registrados os dados de inspeção para avaliação e

atualização dos resultados obtidos. A Figura 5 mostra os níveis de abrangência do SI2PL.

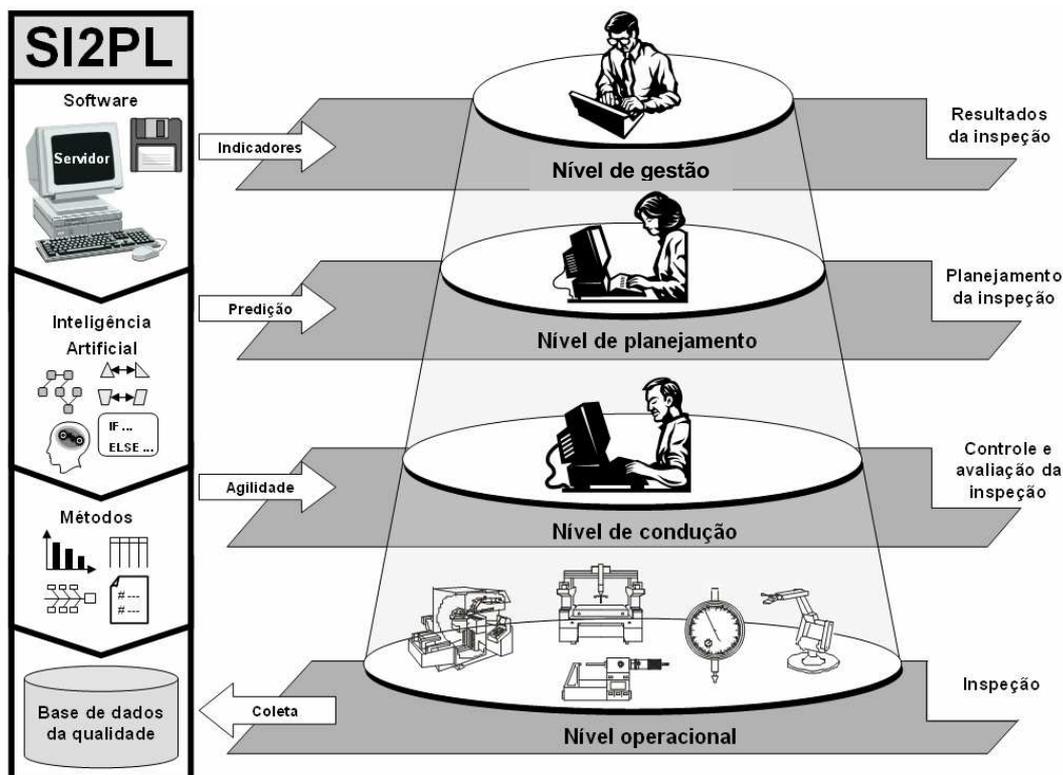


Figura 5 – Níveis organizacionais de atuação do SI2PL (Adaptado de [6])

No nível operacional, o SI2PL permite ao inspetor da qualidade inserir as informações das inspeções realizadas na linha de produção, ou seja, o resultado da inspeção é coletado e cadastrado no sistema, criando a base de dados da qualidade.

No nível de condução (avaliação e controle dos dados de inspeção), a meta é gerar um diagnóstico rápido das causas dos desvios detectados pela inspeção. Para isto, o SI2PL provê de um sistema de diagnóstico capaz de interagir com o usuário para informar quais são as prováveis causas-raízes dos defeitos. Ainda no nível de avaliação dos dados de inspeção, o SI2PL fornece uma série de índices, permitindo uma análise consistente da qualidade realizada durante e após a produção.

No nível de planejamento da inspeção, o SI2PL é capaz de fornecer ao planejador da qualidade, através do uso de técnicas de inteligência artificial¹², e da combinação das possíveis técnicas de inspeção para o produto e processo, a qualidade esperada, informação de grande valia para a produção em pequenos lotes.

Por último, no nível de gestão da qualidade, são fornecidos *on-line* os resultados e indicadores da qualidade atingida para cada produto.

Conforme mostra a Figura 6, o SI2PL tem ênfase nas etapas pós-projeto, ou seja, atua após a etapa de desenvolvimento do produto, tendo seu principal foco no planejamento da qualidade e da produção, e conseqüentemente do produto final.

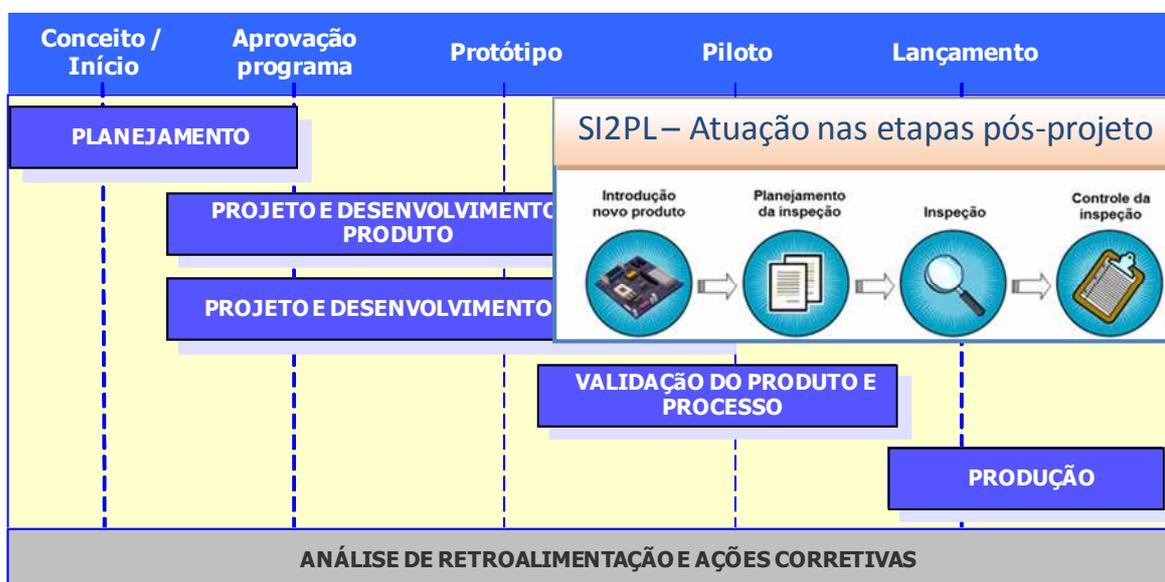


Figura 6 – Foco de atuação do SI2PL

Uma grande dificuldade em planejar a qualidade na produção em pequenos lotes é a necessidade de uma atuação permanente da engenharia da qualidade para definir e implementar, em tempos curtos, um plano de controle eficaz e eficiente, para cada produto a ser produzido.

Em geral, e em muitos casos devido à pouca disponibilidade de tempo e recursos humanos para praticar o planejamento da qualidade, os conceitos de

¹² O descritivo detalhado do modelo, incluindo os módulos que fazem parte uso dos recursos de Inteligência Artificial, está fora do escopo desta dissertação, podendo ser encontrados em sua tese original

inspeção são definidos sem o uso de critérios de engenharia metrológica e de processos e, muitas vezes, não são realizadas análises dos dados coletados para melhoria dos processos, realizando-se inspeção 100% durante o processo e corrigindo os defeitos, quando possível, através de métodos de tentativa e erro. Sabe-se que, na produção em pequenos lotes, muitas vezes é impossível corrigir os defeitos encontrados pois, quando detectados, o lote já foi produzido.

Para resolver este problema o SI2PL, através de sua base de dados e da interação direta com o Planejador da Qualidade da empresa, é capaz de identificar, antes do início da produção, um produto similar ao que será produzido e fornecer agilmente o melhor plano de controle para um novo produto ou novo lote de produção.

Durante a produção, os defeitos no produto ou processo são cadastrados no SI2PL, permitindo ao operador acompanhar em tempo real a qualidade produzida e, caso os níveis de defeito estejam acima do esperado, pode fornecer, com base na interação e no histórico de causas de defeitos, informação sobre a ação a ser tomada para corrigir determinado defeito, podendo assim atuar rapidamente nas causas do problema.

O sistema de indicadores da qualidade desenvolvido é capaz de fornecer uma série de informações extremamente valiosas para a produção em pequenos lotes:

- ✚ Informações para fins **corretivos**, permitindo que o operador identifique os problemas e atue sobre as causas que o geram;
- ✚ Informações para fins **preventivos**, permitindo ao analista da qualidade acompanhar os registros de defeitos por produto e/ou processo, realizar análises de causa e tendência e evitar a ocorrência destas falhas em produtos e processos similares;
- ✚ Informações para fins **gerenciais**, mostrando aos tomadores de decisão da empresa e mesmo aos clientes, a qualidade alcançada na fabricação de cada lote.

3.2 PAPÉIS E RESPONSABILIDADES NECESSÁRIAS PARA OPERAÇÃO DO SISTEMA

Conforme mostra a Figura 7, são necessários quatro atores básicos para planejar e executar as operações de inspeção:

- I. **Operador:** realiza a inspeção e insere os dados coletados no SI2PL;
- II. **Analista:** analisa os dados coletados e propõe ações de melhoria;
- III. **Planejador:** planeja os controles e indicadores da qualidade necessários ao produto e/ou processo;
- IV. **Equipe gerencial:** responsável por analisar os resultados da inspeção e os indicadores da qualidade atingida para cada produto e definir os planos de melhoria.

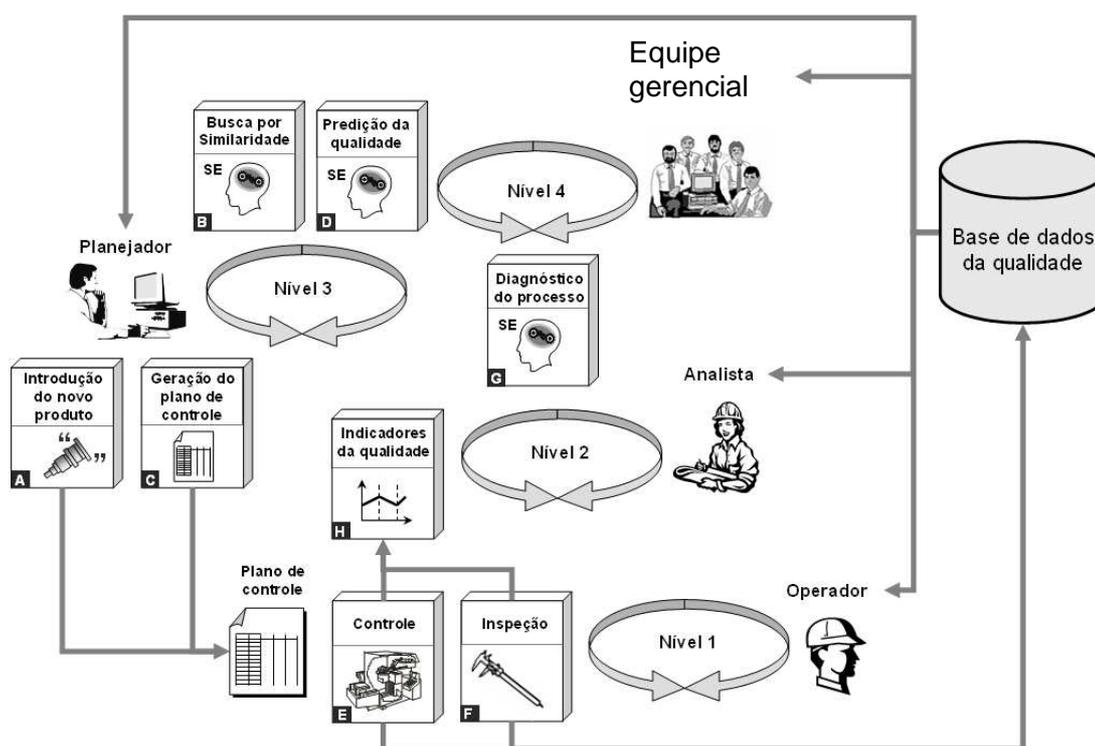


Figura 7 – Responsáveis pela operação do Sistema. Adaptado de ^[6]

Conforme já citado, empresas que produzem em pequenos lotes são freqüentemente Pequenas e Médias, possuindo, portanto, um quadro de pessoal reduzido, no qual uma pessoa é responsável por diversas funções.

Na prática, a condição mínima para operação do SI2PL é possuir duas pessoas, um responsável geral pela Qualidade, que deve conhecer em detalhes a

estrutura da empresa e do SI2PL. Esta pessoa fará simultaneamente os papéis de Analista, Planejador e da Equipe de Desenvolvimento, e será responsável por inserir as informações do produto, características do processo ao qual o produto será submetido, as condições de controle que serão utilizadas, treinar o operador que irá inserir os dados de inspeção no Sistema, e ainda analisar os dados e definir Planos de Ação para implementação de melhorias.

A segunda pessoa é o operador, que irá acompanhar o processo, realizar as inspeções e cadastrar as informações no sistema.

3.3 BREVE VISÃO SOBRE A ESTRUTURA DO SI2PL

Desenvolvido em uma visão modular, o SI2PL é composto de oito módulos, construídos de acordo com o fluxo de desenvolvimento de projeto/produto, ou seja, primeiramente faz-se o cadastro das informações do produto a ser manufaturado, para então realizar-se o planejamento da qualidade para o produto. Durante a produção, coletam-se os dados de falha e, após a comercialização, o SI2PL recebe informações de falhas do produto em campo.

Os módulos que compõem o SI2PL e as respectivas associações de cada um com as distintas etapas de desenvolvimento do produto e processo, bem como as interações entre os módulos para estruturar e gerir as informações da qualidade, são mostrados na Figura 8.

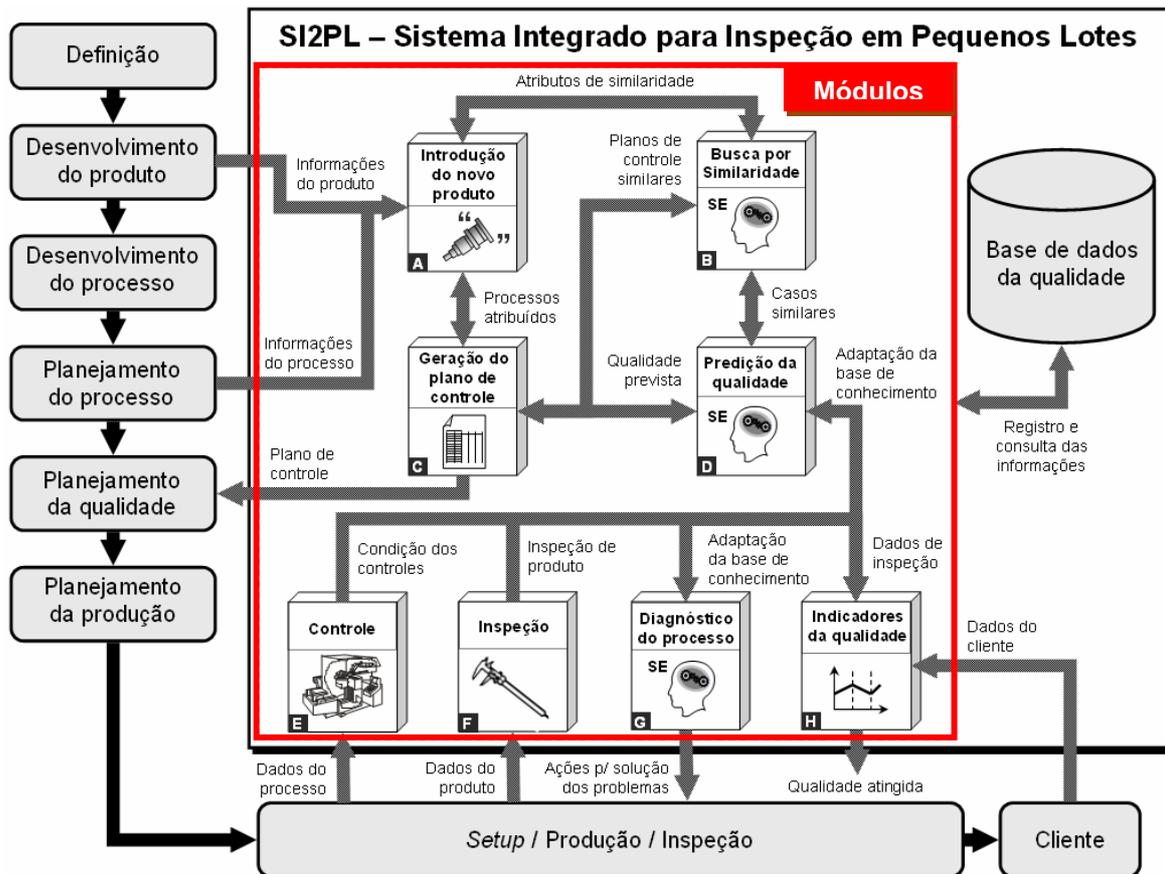


Figura 8 – Módulos do SI2PL (Adaptado de [6])

A partir do modelo conceitual do SI2PL, e conhecendo-se as características dos processos de produção, da qualidade, e dos processos de inspeção da empresa, podem ser gerados aplicativos para atender a demandas específicas de empresas de setores distintos.

3.4 VISÃO GERAL DOS APLICATIVOS DESENVOLVIDOS A PARTIR DO SI2PL

O primeiro aplicativo desenvolvido a partir do modelo teórico do SI2PL foi o *PCBA SmartQuality*, aplicado em uma empresa do setor EE. No contexto desta dissertação, e conforme será detalhado no Capítulo 4, foi desenvolvido um segundo aplicativo, denominado *Pack Smartquality*, e aplicado em uma empresa fabricante de envases (tubos), pertencente ao setor de Embalagens Plásticas (TP).

A Figura 9 mostra o desdobramento do modelo teórico do SI2PL nos aplicativos.

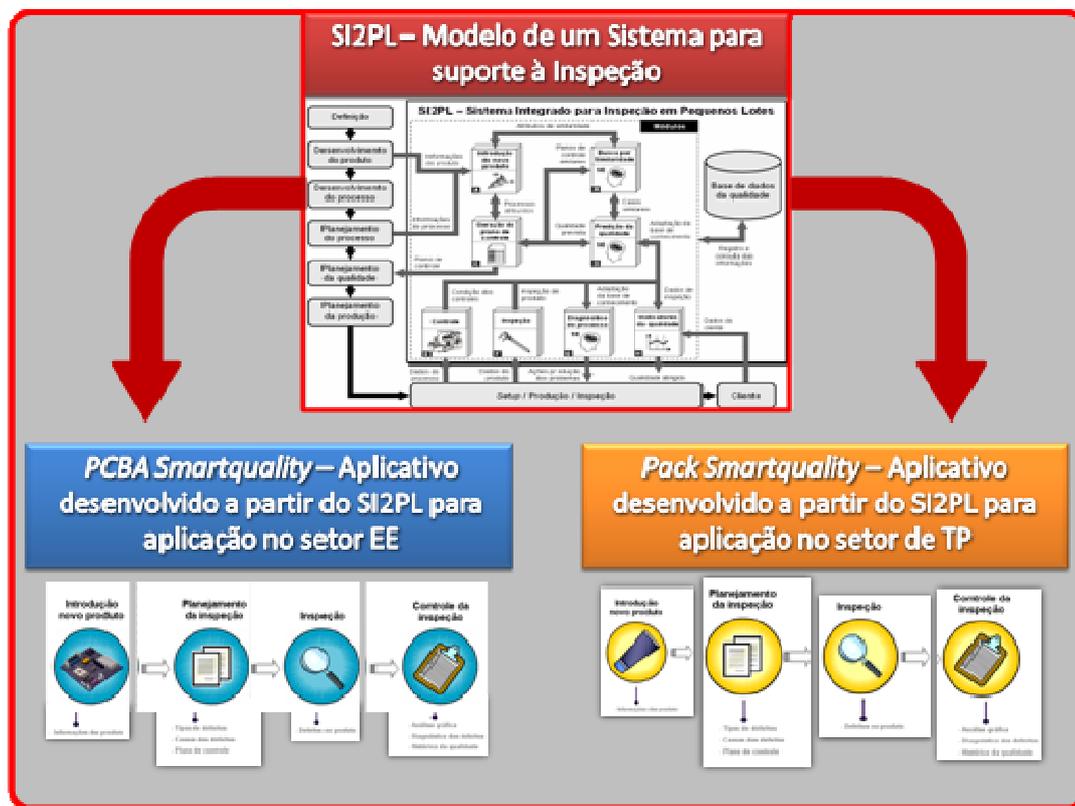


Figura 9 – Geração de aplicativos específicos a partir do modelo teórico do SI2PL

Os aplicativos desenvolvidos contêm quatro componentes principais, nos quais estão inseridos todos os módulos do SI2PL. A Figura 10 mostra os componentes da tela principal do *PCBA Smartquality*, que contém os tópicos de (1) Introdução de um novo produto, (2) Planejamento da inspeção, (3) Inspeção e (4) Controle da Inspeção, descritos nos itens a seguir.

Conforme mostra a Figura 10, a combinação das informações de produto e de processo, inseridas no aplicativo através dos tópicos (1) Planejamento de um novo produto e (2) Planejamento da inspeção, fornece ao Planejador da Qualidade a **Qualidade Esperada** para o produto a ser produzido. O tópico Inspeção fornece a informação da **Qualidade Atingida**, ou seja, os reais índices de qualidade obtidos durante a manufatura do produto. O tópico de Controle da Inspeção, por sua vez, fornece informação para análise numérica e estatística dos desvios do Atingido x Planejado, a partir da análise gráfica, diagnóstico de

defeitos e histórico da qualidade, possibilitando a inserção de correções para novos ou similares produtos.

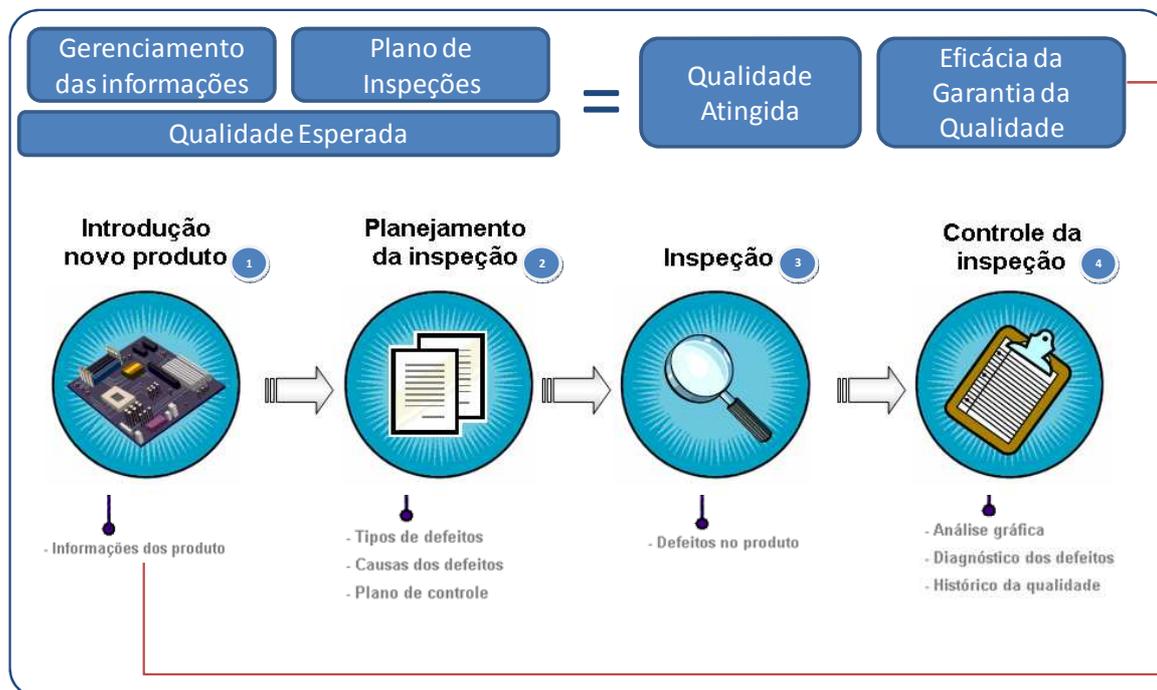


Figura 10 – Esboço da tela principal do Sistema e seus principais componentes

Nas subseções a seguir serão detalhados os quatro tópicos principais contidos nos dois aplicativos já desenvolvidos. No Capítulo 4 será detalhada a aplicação do Pack SmartQuality, aplicativo desenvolvido para o setor de TP.

3.4.1 Tópico 1 – Introdução de Novo Produto

É a etapa inicial do planejamento da qualidade. Consiste no cadastro das informações do produto na base de dados da qualidade. Para que este cadastro seja realizado, é necessário que o responsável, geralmente o planejador da qualidade, possua informações provenientes da engenharia de produto e das características do processo de fabricação.

Uma das grandes vantagens para as empresas ao praticar o uso do SI2PL, principalmente para as PMEs, é a de que todos os cadastros realizados ficam arquivados na Base de Dados, gerando automaticamente uma documentação do produto e do processo usado para a manufatura do mesmo, que pode ser reaproveitada quando da repetição da produção ou no planejamento da qualidade de um produto similar.

3.4.2 Tópico 2 – Planejamento da Inspeção

Compreende o conjunto de atividades complementares de planejamento da qualidade executadas antes de produzir o produto, que tem como objetivo auxiliar na definição da melhor estratégia de inspeção.

No aplicativo, este tópico está estruturado em três telas principais:

- I. *Tipos de defeitos*: cadastro e padronização dos tipos de defeitos, sendo possível associar os defeitos aos processos que os causaram.
- II. *Causas de defeitos*: cadastro das principais causas raízes dos defeitos.
- III. *Plano de Controle*: geração do *Plano de Controle* para cada etapa do processo produtivo. O Plano de Controle compreende todas as Características da Qualidade de produto e/ou processo, e suas respectivas especificações, método de avaliação e plano de reação.

3.4.3 Tópico 3 – Inspeção

Principal componente do aplicativo neste trabalho. Compreende a tela de do operador, através da qual são inseridas as informações que definirão a qualidade realizada do produto.

Assim sendo, durante a produção, o aplicativo fornece informações em tempo real dos tipos de defeitos encontrados, a quantidade de defeitos, e ainda os índices da qualidade atingida, definidos pelo Planejador de acordo com os requisitos necessários ao produto. Além disso, fornece informações sobre a necessidade de parar e corrigir o processo.

3.4.4 Tópico 4 – Controle da Inspeção

Todas as informações registradas durante a Inspeção são arquivadas na Base de Dados da Qualidade. Através do *Controle dos Dados de Inspeção*, planejadores e gerentes têm acesso às informações cadastradas na Base de Dados, podendo observar diretamente o histórico da qualidade da empresa e realizar estudos de comportamento do produto e do processo, através de análise

gráfica e da estratificação conforme interesse, como por exemplo, defeitos por produto, defeitos por período de produção, causas de defeitos, quantidade inspecionada por produto, etc. Esta análise numérica possibilita a orientação aos operadores quanto às ações a serem executadas para corrigir determinado tipo de defeito.

3.5 RESULTADOS DA APLICAÇÃO NO SETOR EE

O *PCBA SmartQuality*, aplicativo desenvolvido a partir do SI2PL, foi aplicado no Laboratório de Desenvolvimento e Testes de Processos e Produtos Eletrônicos, LABelectron.

As atividades de planejamento da qualidade do processo, no LABelectron, até o momento da aplicação, eram realizadas totalmente de forma manual. A criação de documentos da qualidade (fluxograma, planos de controle, FMEA, instruções de trabalho, etc.) para cada tipo produto, não era uma prática comum. As atividades de controle da qualidade, coleta de defeitos e análise da qualidade aconteciam na maioria das vezes um tanto atrasada e desorganizada, de modo que nem sempre um desvio de qualidade pudesse ser corrigido eficientemente, tornando o retrabalho inevitável.

A implantação do *PCBA SmartQuality*, ocorrida durante os meses de outubro de 2007 e abril de 2008, gerou uma considerável melhoria para o sistema de garantia da qualidade do LABelectron, possibilitando a agilidade no monitoramento dos dados de inspeção e na análise e geração de planos para minimização dos desvios nos processos. O uso dos diferentes tipos de gráficos e as análises realizadas através do conjunto de indicadores da qualidade fornecidos pelo *PCBA SmartQuality*, facilitaram a visualização dos problemas da qualidade. Através do uso combinado dos módulos contidos no sistema, foi possível obter um aumento da confiabilidade e da flexibilidade operativa durante o diagnóstico dos defeitos, a redução do tempo de diagnóstico e conseqüentemente a redução de retrabalhos e refugos ^[6].

O *PCBA SmartQuality* também proporcionou ao LABelectron melhorar a eficiência do gerenciamento das informações, através da inclusão, na base de dados da qualidade, de informações como os tipos de controles, indicadores,

especificações dos produtos, dados de inspeções, etc., tornando o planejamento da inspeção mais consistente e sistematizado, viabilizando o reaproveitamento e o acúmulo de informações obtidas das lições aprendidas e experiências de sucesso dos lotes anteriores, a fim de serem aplicadas na produção dos novos produtos [6].

De fato, conforme evidenciado na Figura 11, em virtude da baixa maturidade da cultura da qualidade da empresa, a aplicação inicial e o respectivo uso do sistema se mostrou mais atuante na correção dos problemas do processo produtivo. É importante salientar que esta é a etapa inicial de consolidação de um processo de “massificação da cultura da qualidade”, a partir da capacidade intrínseca do *PCBA SmartQuality* de registrar o conhecimento dos produtos e processos, representá-lo de forma sistematizada, expandi-lo e reaproveitá-lo de forma otimizada. Somente a partir do uso contínuo do aplicativo, o LABelectron passará a um estágio mais avançado da garantia qualidade, na qual será capaz de atuar de forma preventiva e atingir a qualidade desejada desde a primeira vez.

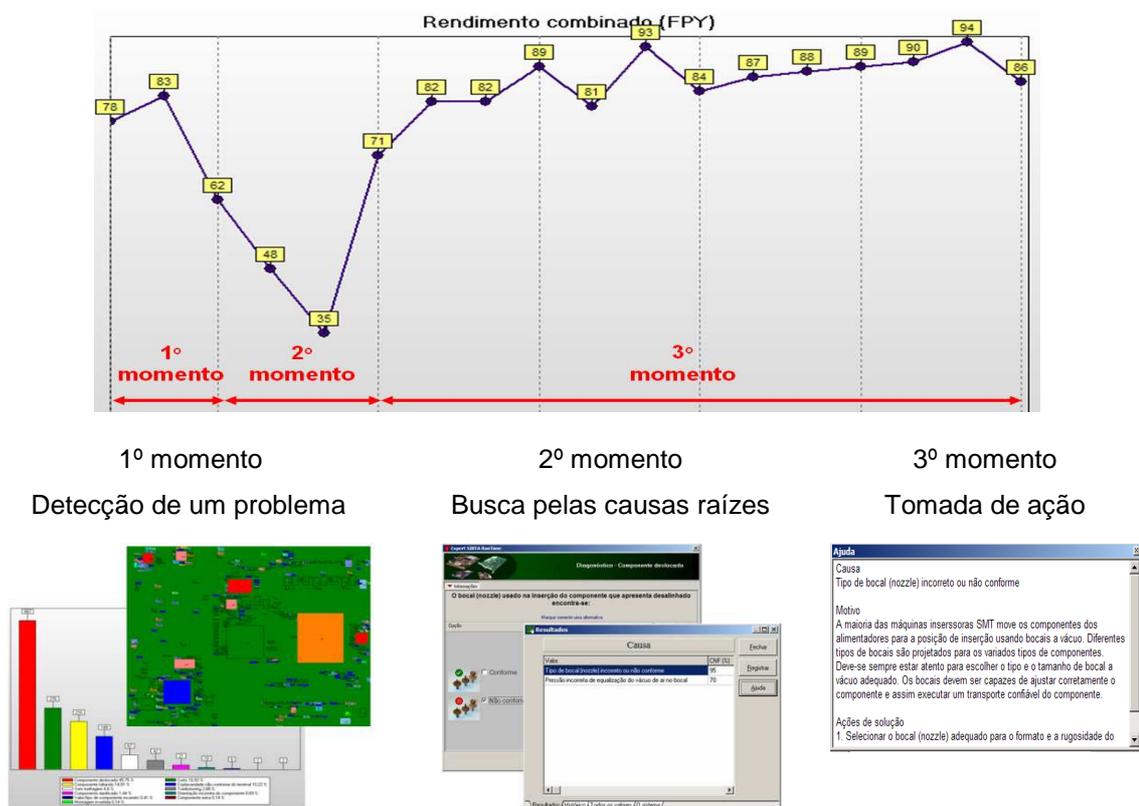


Figura 11 – Interação do *PCBA SmartQuality* na detecção e solução de um problema da qualidade durante produção [6].

3.6 SISTEMÁTICA PROPOSTA PARA APLICAÇÃO DO SI2PL EM UMA EMPRESA DO SETOR DE TP

A partir da aplicação já realizada em uma empresa do Setor EE, evidenciada com os resultados citados no item 3.5 , consolidou-se a importância do SI2PL para suprir carências específicas das PMEs que produzem em pequenos lotes. Apesar da importância, e conforme citado no item 3.2 , o sistema não foi concebido para resolver todos os problemas do processo produtivo de uma empresa. Seu uso/aplicação foca no Planejamento e na Inspeção, para produção em pequenos lotes.

O foco da implementação proposta no estudo de caso desta dissertação está em, a partir dos conceitos e métodos teóricos de inspeção e garantia de qualidade, tendo como base os resultados já gerados para o setor EE, analisar o status atual de uma empresa do setor de TP, para então definir e aplicar uma Sistemática de Inspeção, através do uso do SI2PL, que possa **agregar valor para a empresa**, ou seja, otimizar a inspeção no processo produtivo, possibilitando a análise de defeitos e visando a diminuição dos custos da não qualidade praticados pela empresa.

A sistemática proposta para desenvolvimento do estudo de caso consiste em oito principais etapas, descritas na Tabela 3. O detalhamento das ações realizadas durante a aplicação do estudo de caso será feito no Capítulo 4 .

Etapa		Descrição da etapa
01	Mapeamento do processo de inspeção	Mapeamento detalhado do processo de inspeção aplicado na empresa, através de visitas à planta fabril, análise dos procedimentos internos e entrevistas com pessoal técnico responsável pela qualidade dos produtos (analistas e inspetores da qualidade).
02	Concepção da solução teórica	Com base no mapeamento realizado, na estrutura do SI2PL e no <i>PCBA SmartQuality</i> , conceber uma proposta para otimizar o processo de planejamento e execução das inspeções, através da sistematização da coleta de dados, das operações e características do plano de controle, e dos indicadores e tipos de gráficos para análise de dados.
03	Validação da proposta de aplicação	Validação da proposta teórica desenvolvida, para aplicação específica do aplicativo, junto à alta administração da empresa.
04	Adaptação e ajustes do aplicativo	Desenvolvimento das adaptações, ajustes e customização do aplicativo para aplicação na empresa.
05	Avaliação das inspeções dimensionais	Atividade a ser realizada em paralelo à implantação do aplicativo na linha, fundamental para a efetiva geração de melhorias ao processo de inspeção da empresa. Será realizado um estudo de MSA ^[17] para avaliar a confiabilidade das inspeções dimensionais realizadas pelos inspetores da qualidade durante o controle da qualidade.
06	Preparação da aplicação piloto	Atividade de acompanhamento da instalação do aplicativo na linha de produção, treinamento dos operadores e testes de funcionamento.
07	Aplicação piloto	Aplicação piloto e acompanhamento da coleta de dados e da realização das inspeções durante a produção.
08	Análise dos resultados e proposição de melhorias	Análise dos resultados da aplicação, proposição de melhorias e ações de continuidade.

Tabela 3 – Sistemática proposta para desenvolvimento do estudo de caso

4 ESTUDO DE CASO: EMPRESA C-PACK CREATIVE PACKAGING

A C-Pack, empresa na qual o estudo de caso foi realizado, tem como produto principal tubos plásticos, fabricados pelo processo de extrusão. O produto final atende basicamente ao setor de cosméticos. A Figura 12 mostra um exemplo de um tipo de produto produzido.



Figura 12 – Exemplo de produto fabricado pela C-Pack

Caracteriza-se como uma média empresa do Setor de Embalagens Plásticas, que atende a uma grande diversidade de clientes de todo o Brasil.

Para verificar a viabilidade de aplicação do estudo de caso, fez-se um levantamento das principais características da empresa em relação ao tipo de produção adotado pela empresa, objetivando a caracterização do processo produtivo da C-Pack e a relação destas características com os conceitos de produção necessários à empresas que produzem em pequenos lotes. As principais constatações estão listadas abaixo:

- ✚ **Grande variabilidade e sazonalidade de produtos e clientes:** em função do tipo de produto, constatou-se que a empresa possui uma ampla diversidade de clientes, que fazem pedidos de compra muitas vezes aleatórios ou mesmo sazonais. A não existência de um histórico da qualidade na empresa dificulta consideravelmente o planejamento da qualidade da produção.
- ✚ **Aspectos diretos associados à produção em pequenos lotes:** as quantidades dos lotes são bastante variáveis, e existe uma tendência a atender produções tanto em larga escala quanto em pequenos lotes. Na prática, podem existir lotes de 200.000 unidades ou mais, porém podem também existir lotes de 1.000 ou até menos unidades. Independente do tamanho, a produção dos lotes se dá em espaços de tempo bastante curtos, sendo muitas vezes necessária, em somente um dia de produção, a realização de diversos *setups*, gerando ***elevados níveis de estoque intermediário*** em função da variedade e diversidade dos produtos e volumes produzidos;
- ✚ **Dificuldade em planejar e programar a produção:** em virtude da necessidade de atender a uma grande diversidade de clientes, da grande variabilidade das ordens de produção e dos prazos de entrega apertados, o processo de planejamento e programação da produção se torna complicado.
- ✚ **Dificuldades para correção de problemas:** em virtude da não existência de um processo sistematizado de melhoria, a empresa tem dificuldades em identificar as causas dos problemas e corrigi-las durante a produção dos lotes;
- ✚ **Dificuldades em planejar e executar o controle da qualidade:** o planejamento e controle da qualidade executado pela empresa, em função dos itens já descritos, segue uma metodologia fixa, aplicável para todos os itens produzidos. Não são realizadas análises rotineiras dos dados coletados durante as inspeções. As análises são realizadas somente quando da existência de um problema evidente, ou seja, são realizadas somente ações corretivas.

Desta forma, embora existam lotes fabricados em grandes quantidades de produtos, as constatações evidenciadas caracterizam a C-Pack como uma empresa que possui um “ambiente de produção em pequenos lotes”, definido não somente pelas quantidades produzidas, mas principalmente pelo cenário produtivo, onde a diversidade de clientes é grande, as incertezas em relação a programação de novos produtos são constantes, os níveis de estoque intermediário são elevados, bem como o processo de planejamento e controle da produção é uma tarefa de difícil execução.

A seguir será detalhado o processo de implantação do *Pack SmartQuality* na C-Pack. O descritivo será feito tendo como base a sistemática proposta na Tabela 3.

4.1 MAPEAMENTO DO PROCESSO DE INSPEÇÃO

4.1.1 Fluxograma do processo de fabricação e das inspeções

O fluxo de inspeção adotado pela empresa está descrito na Figura 13¹³. Com exceção dos pontos onde existem inspeções automáticas, as inspeções realizadas são por amostragem, sendo realizadas em seis pontos distintos do processo.

¹³ Na empresa existem três linhas de produção, que possuem características distintas. O fluxo mapeado corresponde a somente uma destas linhas de produção, a linha “nova”, onde o estudo, por orientação da empresa, foi aplicado.

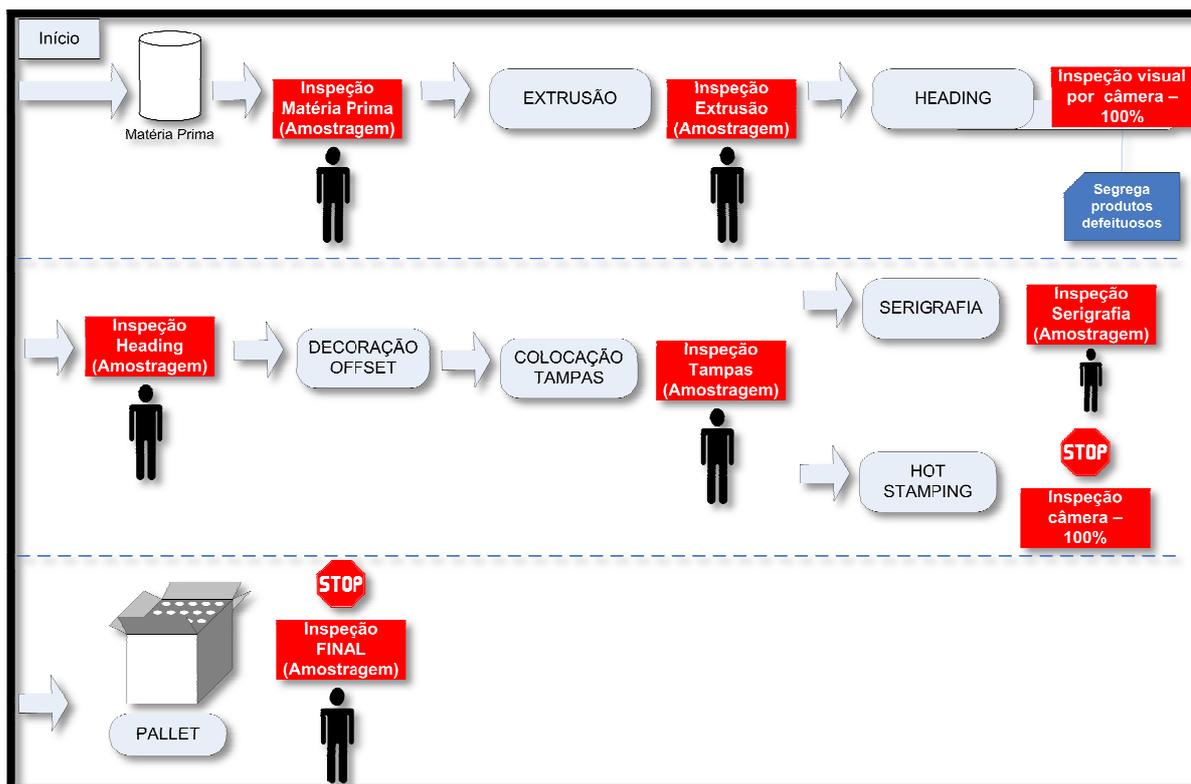


Figura 13 – Fluxograma de inspeções realizadas pela empresa

Antes do início da produção, inspeciona-se a matéria-prima. A matéria-prima é então inserida na extrusora, onde é gerada a “luva”, um cilindro oco. Na “luva” é então realizada a segunda inspeção, com ênfase nos possíveis defeitos originários desta etapa do processo. Convém salientar que o processo de fabricação é contínuo (in-line), ou seja, as inspeções são realizadas retirando-se amostras da linha de produção.

O produto extrudado segue então para a etapa de “heading”, finalizando assim a transformação - caracterizada pela seqüência Extrusão + Heading. Como o próprio nome sugere, nesta etapa do processo é inserida a parte superior do produto, ou seja, a “cabeça” do tubo, fabricada também por extrusão, porém em outra máquina, que possui ferramental específico. A fixação da cabeça no cilindro, formando a base do produto (Figura 14), é feita na própria matriz da cabeça.

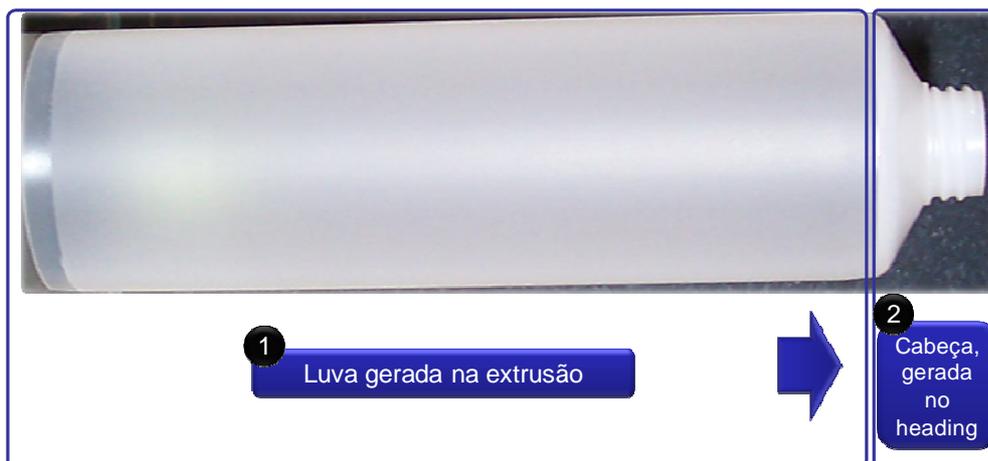


Figura 14 – Etapas de extrusão e heading

Após o processo de heading, é realizada uma nova inspeção, onde são medidas as principais características dimensionais do produto. Além da inspeção feita pelos inspetores, nesta etapa existe uma inspeção 100% por câmera, que segrega produtos com defeito dimensional (diâmetro interno I).

A Figura 15 mostra um desenho de um modelo de produto produzido pela C-Pack, contendo as principais especificações dimensionais.

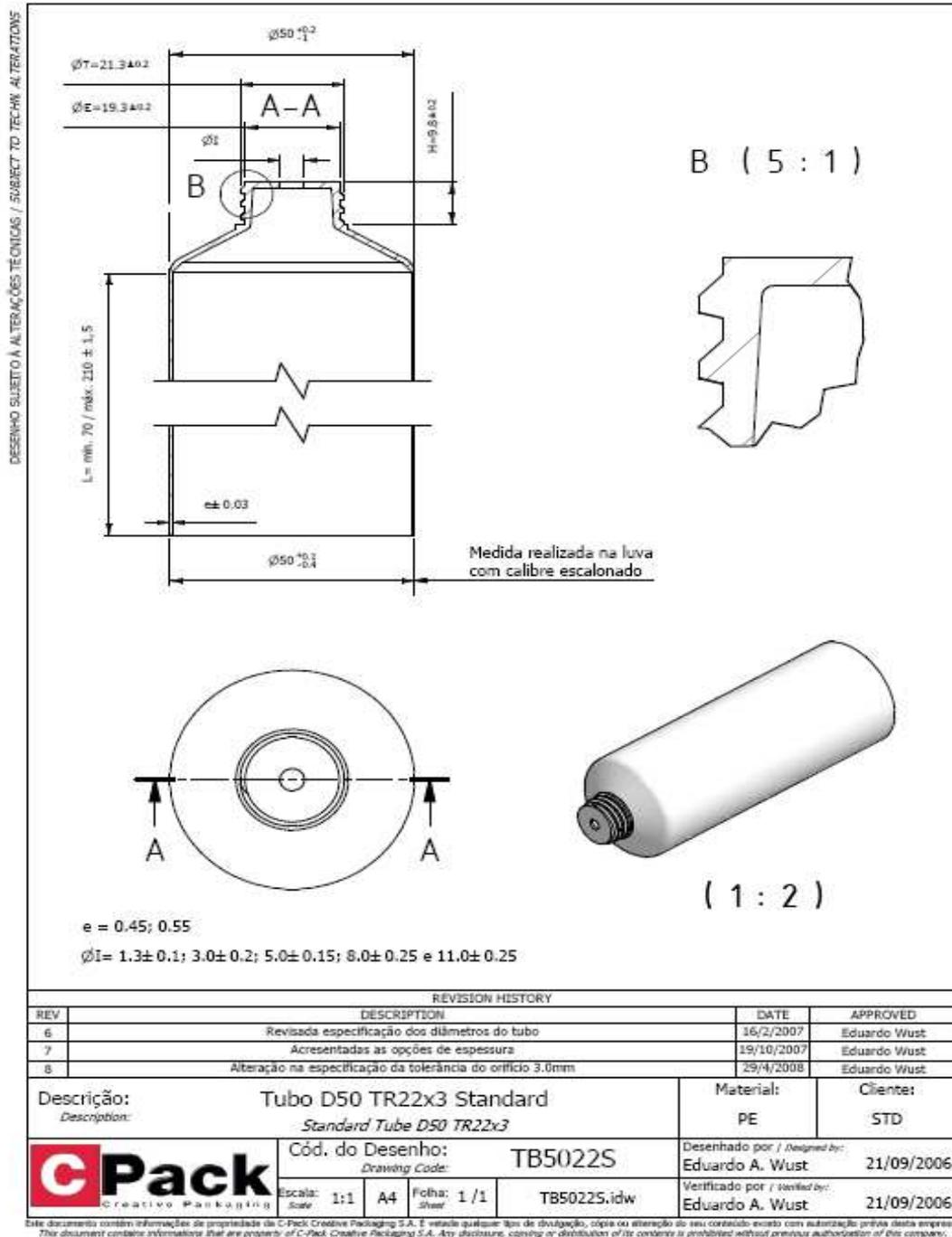


Figura 15 – Desenho de produto da c-pack

As etapas seguintes do processo são: decoração off-set e colocação de tampas, e, por último, serigrafia e/ou hot-stamping, que são necessárias de acordo com a demanda e os requisitos de cada cliente. Após a finalização, o produto é então “palletizado” e, quando finalizado o lote de produção, enviado ao cliente.

4.1.2 Papéis e responsabilidades no planejamento e realização das inspeções

A estrutura de pessoal alocada pela empresa para executar as tarefas de planejamento, controle e realização das inspeções, é composta basicamente por duas funções distintas, mostradas na Tabela 4:

Função	Principais Responsabilidades
(1) Planejador e analista da qualidade	<ul style="list-style-type: none"> ✚ Planejar as inspeções que serão realizadas durante o processo produtivo; ✚ Tomar decisões sobre a aprovação ou segregação de peças produzidas; ✚ Propor melhorias no processo de inspeção e controle; ✚ Realizar as ações corretivas na rotina de trabalho.
(2) Inspetor da qualidade	<ul style="list-style-type: none"> ✚ Executar as inspeções durante o processo produtivo, seguindo os procedimentos específicos; ✚ Segregar produtos defeituosos.

Tabela 4 – Funções e responsabilidades no planejamento e realização das inspeções

4.1.3 Caracterização do processo de inspeção realizado pela empresa

O processo de inspeção realizado pela C-Pack foi caracterizado através de entrevistas com os responsáveis pela qualidade dos produtos, tendo como base visitas na linha de produção e uma série de questionamentos, fundamentados nas três etapas principais do processo de inspeção: (1) Planejamento da inspeção; (2) Execução da Inspeção, e (3) Controle dos dados de inspeção.

A Tabela 5 resume os principais resultados do mapeamento realizado:

Etapas principais do processo de inspeção	Status mapeado na C-Pack em relação a cada etapa (antes da aplicação)
(1) Planejamento da inspeção	<ul style="list-style-type: none"> ✚ Na linha de produção em estudo, em virtude de o processo ser contínuo, foi constatada dificuldade em definir a frequência de coletas de amostras para realizar as inspeções; ✚ O planejamento da inspeção é feito com base no produto. Não são planejadas inspeções com foco no processo; ✚ Constatou-se a possibilidade de implementação de melhorias no plano de controle para produto (o que inspecionar, quando, onde, com o que, plano de reação);
(2) Execução da Inspeção	<ul style="list-style-type: none"> ✚ Constatou-se que as inspeções realizadas são, em sua maioria, dimensionais ou visuais. Em relação às inspeções dimensionais, acredita-se que as mesmas não estão sendo executadas com os sistemas de medição apropriados.
(3) Controle dos dados de inspeção	<ul style="list-style-type: none"> ✚ Os dados de inspeção são analisados somente nos casos em que ocorre reprovação. ✚ Os dados de inspeção não são processados, nem mesmo transformados em melhorias; ✚ O único indicador de qualidade existente é o Índice de Produtos Segregados. Não existem indicadores voltados para o processo.

Tabela 5 – Principais resultados do mapeamento realizado

Este diagnóstico foi apresentado à empresa e, em conjunto, foi definido um plano de ação, que balizou o desenvolvimento conjunto das ações ao longo do estudo de caso. Neste plano, foram definidas as atividades, responsáveis, resultados esperados e os prazos para execução. Um resumo deste plano é apresentado na Tabela 6.

Oportunidade de melhoria identificada	Descrição da ação a ser feita durante a aplicação	Resultados esperados
Método de coleta de amostras / inspeção	Definição em conjunto da frequência de inspeção. Os registros de execução das inspeções deverão ser armazenados na base de dados	<ul style="list-style-type: none"> ✚ Processo de coleta de amostras/dados sistematizado para inspeção dos produtos; ✚ Interface para coleta de dados desenvolvida no aplicativo; ✚ RH treinado; ✚ Implementação piloto na linha; ✚ Processo apto ao registro on-line, através do aplicativo.
Melhorias do Plano de Controle para o produto	Geração de plano de controle automatizado, através do aplicativo, para cada produto a ser produzido	<ul style="list-style-type: none"> ✚ Aplicação piloto no processo; ✚ Características mapeadas; ✚ Planos de controle cadastrados no aplicativo.
Falta de confiabilidade no processo de medição dimensional	Realizar um estudo aprofundado das características do processo de medição dimensional utilizado pela empresa	<ul style="list-style-type: none"> ✚ Caracterização detalhada do problema; ✚ Aplicação de estudos de MSA em processos críticos; ✚ Proposição de melhorias ao processo de inspeção.
Análise e processamento dos dados de inspeção / garantia da qualidade	Aplicação do aplicativo na linha de produção.	<ul style="list-style-type: none"> ✚ Gráficos gerados a partir dos dados de inspeção ✚ Indicador calculado a partir dos dados de inspeção ✚ Sistema compartilhado de visualização das informações ✚ Base de dados da qualidade piloto implantada

Tabela 6 – Plano de ação desenvolvido em conjunto com a empresa

4.1.4 Detalhamento do processo de inspeção realizado pela empresa

A seguir será descrito o processo de inspeção realizado pelo inspetor da qualidade, na linha de produção, na etapa de transformação (extrusão + heading).

Para realização das inspeções, é seguido um documento do sistema da qualidade, que orienta o inspetor em relação aos itens a serem inspecionados, caracteriza as classes de defeito existentes e define o grau de criticidade para cada item. Através deste mesmo documento são feitos, manualmente, os registros de operação da inspeção (identificação do inspetor, número da

operação, horário de realização da inspeção, tamanho do lote e quantidade amostrada, etc.) e os registros dos resultados das inspeções realizadas para cada amostra coletada. Para as medições dimensionais, são registrados os valores de máximo e mínimo medidos para cada parâmetro, e para as inspeções visuais, é registrado somente a aprovação ou reprovação.

A partir da aprovação do setup, uma vez a cada hora de produção, o inspetor retira uma quantidade fixa de produtos da linha e realiza a inspeção. Os parâmetros inspecionados, as classes de defeitos e os respectivos graus de criticidade são mostrados na Tabela 7:

Parâmetro	Classe de defeito ¹⁴	Grau de criticidade	
Espessura (mm)	Dimensional	Grave	
Diâmetro - medida (mm)		Grave	
Diâmetro - deformação		Tolerável	
I - medida (mm)		Crítico	
I - deformação		Crítico	
H - medida (mm)		Grave	
T - medida (mm)		Grave	
T - deformação		Grave	
Peso		Tolerável	
Comprimento menor		Grave	
Comprimento maior		Tolerável	
Aparência luva/ombro ^A		Visual	-
Funcional ^B		Texto	-
Contaminação removível ^C	Funcional	-	
Graxa	Contaminação não removível	Crítico	
Pontos Queimados		Grave	
Pigmento		Grave	
Material ^D	Material	-	
EVOH medida		Grave	
Mistura de material ^E	Mistura	Crítico	
Acondicionamento ^F	Acondicionamento	-	
^A Aparência compreende: Marcas, ondulação, anéis, opacidade, riscos, rugosidade, cor, centralização, fio de luz, solda, topo			
^B Funcional compreende: ombro torto, corte, vazamento, falha de preenchimento, rebarba, integridade rosca, resistência solda, tubo amassado			
^C Contaminação removível compreende: papelão, fiapos luva, objeto estranho, poeira			
^D Material compreende: EVOH ausência, adesivo, blenda			
^E Mistura de material compreende: identificação incorreta, ausência de identificação, mistura entre itens diferentes, mistura do mesmo item em diferentes processos, mistura de itens liberados e segregados			
^F Acondicionamento compreende: integridade da embalagem, ausência de embalagem, embalagem diferente do especificado, forma de acondicionamento, quantidade incorreta			

Tabela 7 – Inspeções realizadas na etapa de transformação

As definições dos níveis de criticidade são as seguintes:

¹⁴ As classes de defeito são definição internas da C-Pack

Nível de Qualidade Aceitável – NQA: Estabelece a classificação de defeitos e seus respectivos níveis de qualidade aceitáveis (NQAs) para inspeção e controle de qualidade.

A amostragem selecionada para inspeção é determinada segundo a norma NBR 5426/1985, plano de amostragem simples, nível geral de inspeção II, como pode ser visto na Tabela 8.

A aprovação ocorre segundo o critério:

Defeito	NQA
Crítico	0,065
Grave	1,0
Tolerável	2,5

Tabela 8 – Critérios de aprovação utilizados pela C-Pack

Defeito: defeito é todo o desvio encontrado em relação à característica especificada. Engloba qualquer não-conformidade aos requisitos especificados. Um defeito também pode ser definido como erro, imprecisão, deficiência, deformidade ou anomalia.

Defeito Crítico: qualquer defeito que impeça o uso ou resulte em condições de risco para o indivíduo em contato com o produto ou componente, ou que venha a violar qualquer regulamentação governamental da embalagem ou normas de segurança.

Defeito Grave: defeito que afeta a aparência do produto, podendo ser notado pelo usuário final, mas não impede o uso.

Defeito Tolerável: aquele que afeta somente a aparência estética do produto acabado, não sendo perceptível pelo usuário final, não há danos técnicos que possam comprometer a funcionalidade do produto, mas deve ser corrigido para que os desvios sejam eliminados e esteja de acordo com os padrões estabelecidos.

Os defeitos, conforme mostrado na Tabela 7, são classificados segundo a sua intensidade, grandeza, localização, evidência, potencial ou grau de importância, de acordo com o seu comprometimento e integridade do produto/embalagem e nível de gravidade de sua consequência.

O somatório dos defeitos de cada categoria é considerado tolerável até o limite prescrito para o respectivo NQA.

A amostragem é realizada de acordo com o tamanho do lote e o tipo de inspeção, conforme mostra a Tabela 9¹⁵.

Lote	Primeira Inspeção				Inspeção durante o processo			
	Amostragem	Crítico	Grave	Tolerável	Amostragem	Crítico	Grave	Tolerável
Até 1000	80	1	4	8	40	1	2	4
1001 a 3000	125	1	4	8	63	1	2	4
3001 a 10000	200	1	6	11	100	1	3	5

Tabela 9 – Valores de amostragem para cada tipo de inspeção

Por exemplo, durante a primeira inspeção, para um lote de até 1000 unidades, devem ser amostrados 80 produtos e, caso seja verificado 1 defeito crítico, ou 4 defeitos graves, ou 8 defeitos toleráveis, este lote deve ser segregado.

4.2 CONCEPÇÃO DA SOLUÇÃO TEÓRICA

A etapa de concepção da solução teórica consistiu na definição do modelo de funcionamento do aplicativo específico para a C-Pack, desenvolvido a partir dos conceitos teóricos do SI2PL, utilizando modelos pré-definidos e já utilizados no *PCBA SmartQuality*. O trabalho inicial realizado, para garantir a operação eficaz do aplicativo, foi a sistematização teórica do método para implementação na linha de produção, descrito na subseção a seguir.

¹⁵ A amostragem definida na Tabela 9 não se aplica diretamente à produção na linha “nova”. Conforme descrito na Tabela 5, foi constatada a necessidade de re-definição da amostragem em função do novo processo, que passa a ser contínuo na linha “nova”.

4.2.1 Proposta de sistematização da coleta de dados na linha de produção

As seguintes considerações foram validadas antes de se realizar as modificações no SI2PL e gerar o aplicativo específico para a C-Pack, denominado *Pack SmartQuality*:

- ✚ O processo sistematizado de coleta de dados e registro no aplicativo será aplicado de maneira piloto, na etapa de transformação de produto (extrusão + heading), na linha “nova” – produção em linha. Caso necessário, será expandido para a etapa de decoração off-set.
- ✚ Para aplicação do método, deverá ser alocado, inicialmente, um inspetor, que trabalhe no turno matutino (das 8h as 12h, no mínimo);
- ✚ Este inspetor será responsável por retirar amostras do processo, realizar as medições, registrar os defeitos no software, analisar o resultado das medições, e tomar uma ação conforme resultado.

O indicador definido como chave para avaliar o processo produtivo foi o número de **Defeitos por Unidade**, que relaciona a quantidade de defeitos encontrados com a quantidade de unidades inspecionadas. A Figura 16 exemplifica o processo de aplicação aprovado.

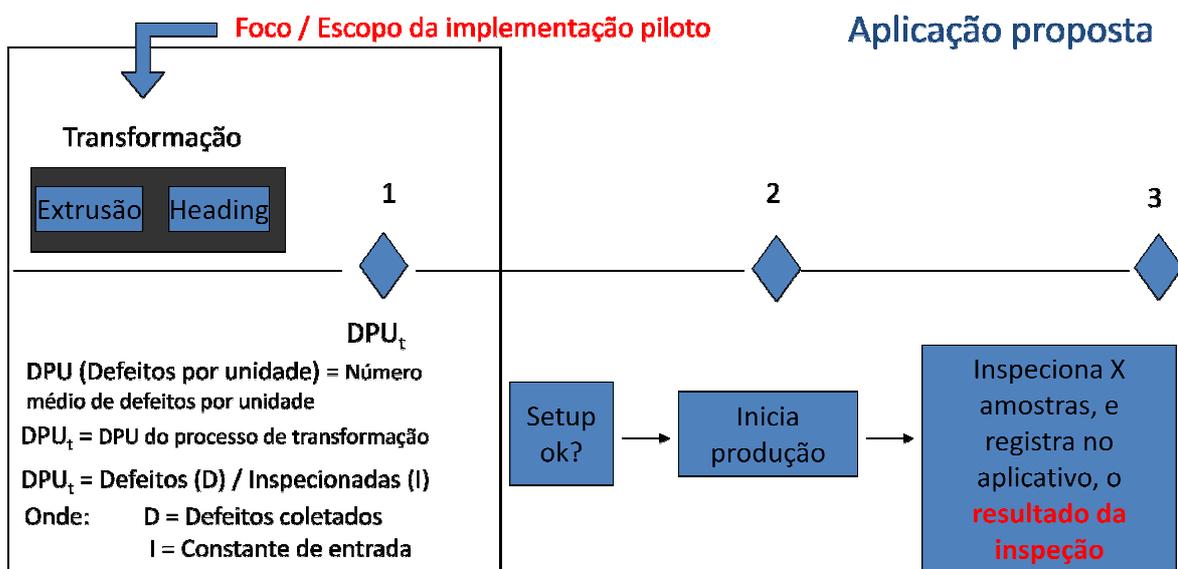


Figura 16 – Concepção do método de coleta de dados para desenvolvimento do aplicativo

Foi definido também o procedimento para coleta de dados, exemplificado na Figura 17.

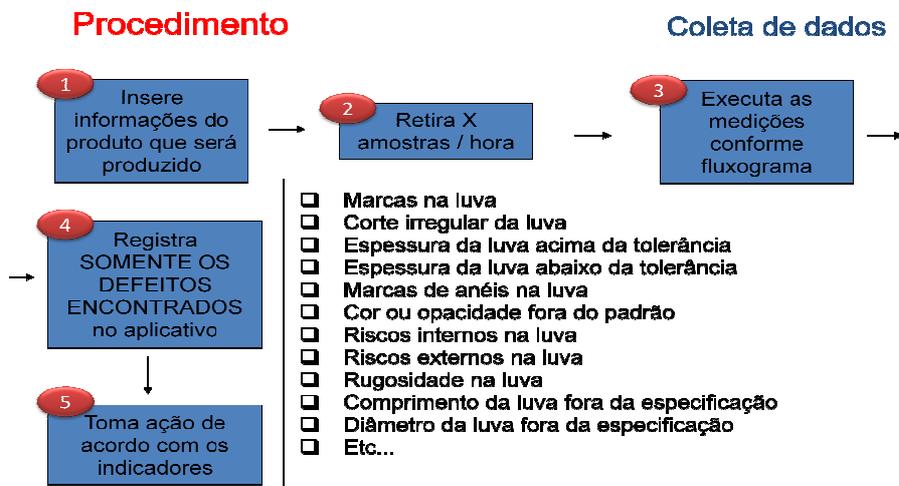


Figura 17 – Procedimento para coleta de dados na linha de produção

Por último, foram discutidas e validadas as informações necessárias à Base de Dados da Qualidade da C-Pack. Foi inicialmente definida a necessidade de se cadastrar duas tabelas de dados (uma tabela para registro dos dados de defeitos e outra para registro dos defeitos por unidade), a partir das quais as informações de planejamento e análise das inspeções poderão ser executadas. A Figura 18 exemplifica o modelo aprovado para a Base de Dados.

Dados de defeitos									
DATA	HORA	LOTE	PRODUTO	DEFEITO	CATEGORIA DO DEFEITO	CRITICIDADE DO DEFEITO	LOCAL DA INSPEÇÃO	PROCESSO CAUSADOR DO DEFEITO	OPERADOR
12/6/2008	09:00	856	AV123	Marcas na luva	Visual	Média	Termo formagem	Extrusão	Paulo
12/6/2008	09:12	856	AV123	Riscos internos na luva	Visual	Alta	Termo formagem	Extrusão	Paulo
12/6/2008	15:00	1007	SP001	Espessura da luva acima da tolerância	Dimensional	Alta	Termo formagem	Extrusão	Paulo
12/6/2008	15:02	1007	SP001	Espessura da luva acima da tolerância	Dimensional	Alta	Termo formagem	Extrusão	Paulo
12/6/2008	17:07	1007	SP001	Rebarba	Visual	Baixa	Termo formagem	Termo formagem	Paulo
13/6/2008	10:03	988	RT900	Comprimento do furo acima da tolerância	Dimensional	Crítico	Termo formagem	Termo formagem	Paulo
14/6/2008	11:45	455	FG78	Cor ou opacidade fora do padrão	Visual	Média	Termo formagem	Extrusão	Paulo
14/6/2008	12:00	455	FG78	Cor ou opacidade fora do padrão	Visual	Média	Termo formagem	Extrusão	Paulo
14/6/2008	12:02	455	FG78	Cor ou opacidade fora do padrão	Visual	Média	Termo formagem	Extrusão	Maria
14/6/2008	13:07	455	FG78	Cor ou opacidade fora do padrão	Visual	Média	Termo formagem	Extrusão	Maria
14/6/2008	13:08	455	FG78	Cor ou opacidade fora do padrão	Visual	Média	Termo formagem	Extrusão	Maria
14/6/2008	18:07	455	FG78	Cor ou opacidade fora do padrão	Visual	Média	Termo formagem	Extrusão	Maria
14/6/2008	19:34	455	FG78	Cor ou opacidade fora do padrão	Visual	Média	Termo formagem	Extrusão	Maria
14/6/2008	18:00	123	VB78	Diâmetro da luva fora da especificação	Dimensional	Crítico	Termo formagem	Extrusão	Maria
...
...

DPU (Defeitos por Unidade)						
DATA	HORA	LOTE	PRODUTO	PRODUTOS INSPECIONADOS	OCORRÊNCIA DE DEFEITOS	DPU
12/6/2008	09:00	856	AV123	10	2	0,2
12/6/2008	10:00	856	AV123	10	0	0
12/6/2008	11:00	856	AV123	10	0	0
12/6/2008	12:00	856	AV123	10	0	0
12/6/2008	13:00	856	AV123	10	1	0,1
12/6/2008	15:00	1007	SP001	20	2	0,1
12/6/2008	16:00	1007	SP001	20	1	0,05
12/6/2008	17:00	1007	SP001	20	0	0
13/6/2008	10:00	988	RT900	50	3	0,06
14/6/2008	11:00	988	RT901	50	0	0
14/6/2008	12:00	988	RT902	50	0	0
14/6/2008	13:00	988	RT903	50	0	0
14/6/2008	14:00	988	RT904	50	0	0
14/6/2008	15:00	988	RT905	50	1	0,02
...
...

Figura 18 – Exemplo das tabelas da Base de Dados do Software

4.3 VALIDAÇÃO DA PROPOSTA DE APLICAÇÃO

As sugestões teóricas foram apresentadas ao pessoal da empresa. A partir da aprovação por parte da alta administração, as adaptações foram geradas. O descritivo detalhado das adaptações é feito na subseção a seguir.

4.4 ADAPTAÇÕES E AJUSTES DO APLICATIVO PARA IMPLANTAÇÃO DO SI2PL NA C-PACK

Neste item serão apresentadas as principais características do aplicativo específico desenvolvido para possibilitar a aplicação do SI2PL na C-Pack, denominado *Pack SmartQuality*.

É importante salientar que o *Pack SmartQuality* foi desenvolvido usando a mesma estrutura e código do *PCBA SmartQuality* (desenvolvido em linguagem Delphi, usando base de dados Firebird 2.0), sendo que algumas adaptações foram geradas em um espaço de tempo consideravelmente curto (cerca de 30

dias), o que enfatiza o potencial de adaptação do SI2PL às diferentes necessidades das PMEs para as quais ele possa vir a ser aplicado.

Outra questão importante é que, para o desenvolvimento, foi mantida a mesma estrutura da base de dados, ou seja, focada no processamento de dados fundamentalmente atributivos. No caso de necessidade de processamento de informações por variáveis, acredita-se que o esforço e o tempo para se gerar as modificações seja maior.

4.4.1 Tópico 1 – Introdução de Novo Produto

Conforme exemplificado na Figura 19, foi gerado um formulário para cadastro dos produtos e suas principais características.

Informações gerais dos produtos

Voltar Arquivo Configurações Exibir

Produtos cadastrados **Informações de cada produto**

Voltar Clientes

Produtos

Linha: 8/76

150000694
150000699
150000701
150010214
150100307
150110145
MÁQUINA PARADA
▶ TB4000002A
TB4000004A
TB4000006A
TB4000007A
TB4000012A

Informações

Item: TB4000002A
Cliente: Reckitt Benckiser

Produto: Veet Creme Depilatório Peles Secas 75ml

Descrição:

Ajustar imagem

Características de cada produto

Características | Processo

Altura = 100.0mm
Blenda = 80% PEBD + 20% PEAD
Cor da Luva = Branco Perolado
Decoração = Off-Set
Desenho Técnico Tubo = TB4000S
Diâmetro = 40mm
Espessura = 0.45mm
Estrutura = Coex com EVDH
Furo = 9.9mm

Veet Rasera

NOVO

Loção Depilatória Peles Secas

Manteiga de Karité e Pétalas de Lírio

75 ml

Perfume Pétalas de Lírio

Figura 19 – Cadastro dos produtos no SI2PL

Ainda, através do mesmo formulário, foi gerada a possibilidade de cadastro de todos os tipos de características dos produtos produzidos pela empresa. Este cadastro possibilita a rápida inserção no *Pack SmartQuality* de novos produtos.

4.4.2 Tópico 2 – Planejamento da Inspeção

Neste tópico, foram gerados os formulários para cadastro dos tipos de defeitos. Neste formulário, o planejador da qualidade irá inserir os tipos, classes e severidades de todos os defeitos que possam ser encontrados durante o processo produtivo. Além disso, são também inseridas as informações sobre os processos produtivos da empresa, e ainda o cadastro da relação dos defeitos e o processo causador, informação de grande importância para a produção em pequenos lotes, pois a partir das análises de causas, pode-se agir preventivamente e corrigir os defeitos no processo, evitando falhas no produto. As Figura 20 e Figura 21 exemplificam os cadastros realizados no formulário de tipo de defeitos.

Classe	Defeito
0 - Dimensional	Espessura
0 - Dimensional	Diâmetro - medida
0 - Dimensional	Diâmetro - deformação
0 - Dimensional	I - medida
0 - Dimensional	I - ausência
0 - Dimensional	I - deformação
0 - Dimensional	H - medida
0 - Dimensional	T - medida
0 - Dimensional	T - deformação
0 - Dimensional	Peso
0 - Dimensional	Comprimento menor
0 - Dimensional	Comprimento maior
1 - Visual	Marcas
1 - Visual	Ondulação
1 - Visual	Anéis
1 - Visual	Opacidade
1 - Visual	Riscos
1 - Visual	Rugosidade
1 - Visual	Cor
1 - Visual	Centralização

Informações do defeito

Defeito: Cor

Exemplo: 

Código: 108

Classe: 1 - Visual

Severidade: Grave

Descrição: Cor em discordância com o Padrão

Figura 20 – Cadastro dos tipos de defeitos

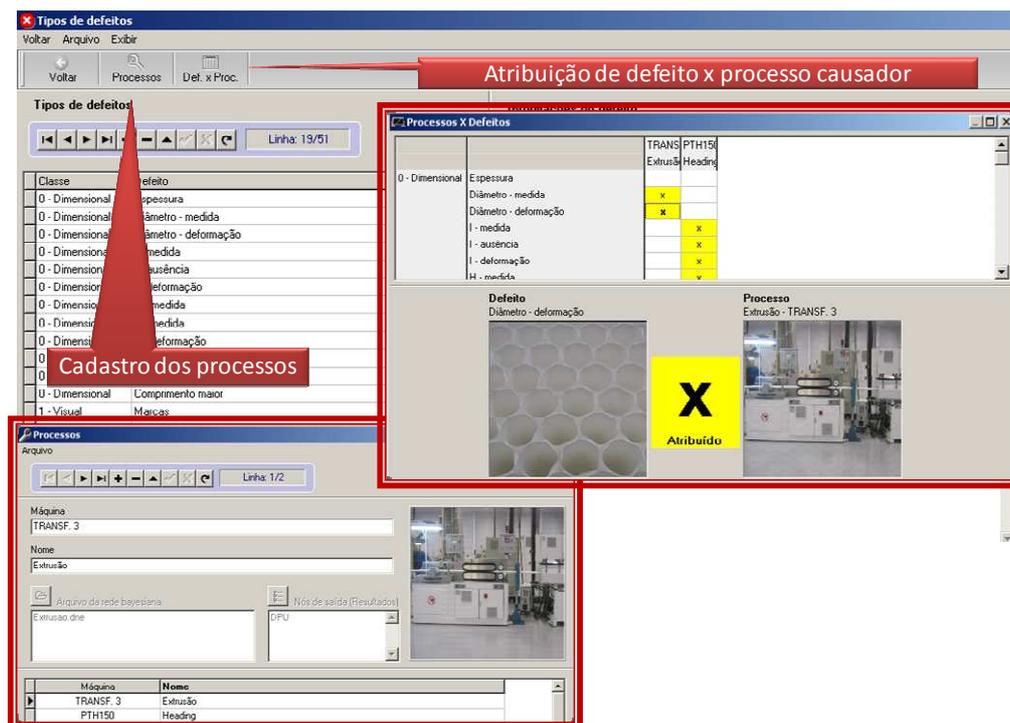


Figura 21 – Cadastro dos processos e atribuição dos defeitos

Ainda no tópico de Planejamento Inspeção, é gerado, a partir das informações de produto e processo já cadastradas, o plano de controle que será utilizado pelo inspetor na linha de produção, conforme mostrado na Figura 22.

Plano de controle

Voltar Ferramentas Exibir

Voltar Editar Copiar Controles padrões Excel

Cadastro de controles padrão

Produto

Item: TB400002A Cliente: Reckitt Benckiser

Produto: Veet Creme Depilatório Peles Secas 75ml

Características

Altura = 100.0mm
 Blenda = 80% PEBD + 20% PEAD
 Cor da Luva = Branco Perolado
 Decoração = Dif-Set
 Desenho Técnico Tubo = TB4000S
 Diâmetro = 40mm
 Espessura = 0.25mm

Processos

Extrusão - TRANSF. 3
 Heading - PTH150

Plano de controle (Heading - PTH150)

Instância: Produção Data da elaboração: 8/8/2008 Elaborado por: Marina Alarcon Guedes Data da revisão: 8/8/2008 Rev.: 1 Revisado por: Marina Alarcon Guedes

Processo	No.	Característica	Caract. especial	Especificação	Técnica de avaliação	Tamanho da amostra	Frequência da amostra	Relatório de controle	Plano de reação/ observações
	1	Aparência		Aparência do ombro de	Visual		1 hora		
	2	Comprimento (com ombro)		$X \pm 0,1$	Régua Gradua		1 hora		
	3	Medida I		$9,9 + 0,1$ ou $-0,2$	Paquímetro		1 hora		
	4	Marcas / Contaminação		Não possuir marcas que c	Visual		1 hora		
	5	Medida H		$9,2 \pm 0,2$	Paquímetro		1 hora		
	6	Medida T		$20,6 \pm 0,2$	Paquímetro		1 hora		
	7	Ombro Torto		Não possuir ombro torto	Visual		1 hora		
	8	Rebarba		Não haver rebarba	Visual		1 hora		
	9	Riscos		Não possuir riscos extern	Visual		1 hora		
	10	Rosca		Não haver irregularidades	Visual		1 hora		
	11	Solda		Não desprender a luva de	Teste		1 hora		
	12	Topo		Topo reto sem marcas de	Visual		1 hora		

Heading - PTH150

Figura 22 – Exemplo de Plano de Controle

O Plano de Controle pode ser facilmente adaptado/gerado para cada produto e/ou processo, a partir da lista de controles padrões, bastando ao planejador da qualidade selecionar os itens que serão controlados para cada produto e os definir para o Plano de Controle específico.

4.4.3 Tópico 3 – Inspeção

O formulário de registro dos defeitos foi desenvolvido para atender às necessidades da empresa. Foram inseridas importantes informações para o registro dos defeitos, para o acompanhamento do processo de inspeção e para a análise em tempo real da qualidade realizada.

Conforme exemplificado na Figura 23, durante a inspeção, o Inspetor da Qualidade tem acesso on-line às seguintes informações:

- Gráfico do Índice de Defeitos (DPU) encontrado para cada lote do produto inspecionado;

- ✚ Gráfico de Pareto dos defeitos encontrados para o produto;
- ✚ Status gráfico do indicador DPU para cada amostra inspecionada, informando, por meio de cores, se os índices encontrados estão em conformidade ou acima dos níveis definidos pelo planejador da qualidade;
- ✚ Informação da taxa de defeitos para cada amostra inspecionada, definida pelo planejador da qualidade a partir da quantidade de ocorrências de defeitos, orientando o inspetor a parar e corrigir o processo

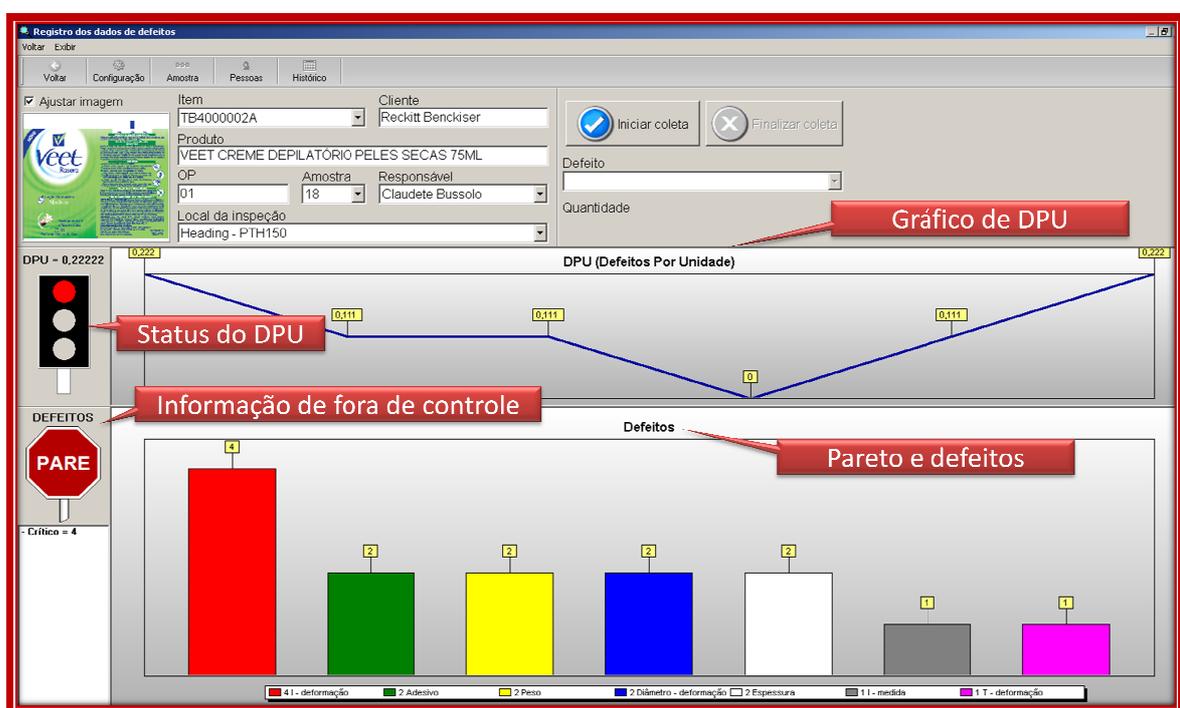


Figura 23 – Tela de registro dos dados de inspeção

4.4.4 Tópico 4 – Controle da Inspeção

O tópico de Controle da Inspeção foi desenvolvido para permitir ao planejador da qualidade analisar o histórico da qualidade realizada para os produtos produzidos, possibilitando assim a geração de propostas de melhoria para o sistema produtivo, a partir de dados concretos do histórico da qualidade da empresa.

Para a realização das análises, faz-se a seleção do parâmetro que se deseja visualizar, e o software gera então o histórico da qualidade para este parâmetro. Dentre as diferentes possibilidades de visualização, pode-se citar:

- ✚ Análise gráfica de defeitos, causas, DPU ou quantidade inspecionada;
- ✚ Filtragem de quaisquer indicadores de interesse por data, produto, cliente, ordem de produção, defeitos, local de inspeção, etc.;

A Figura 24 mostra um exemplo do gráfico de defeitos coletados.

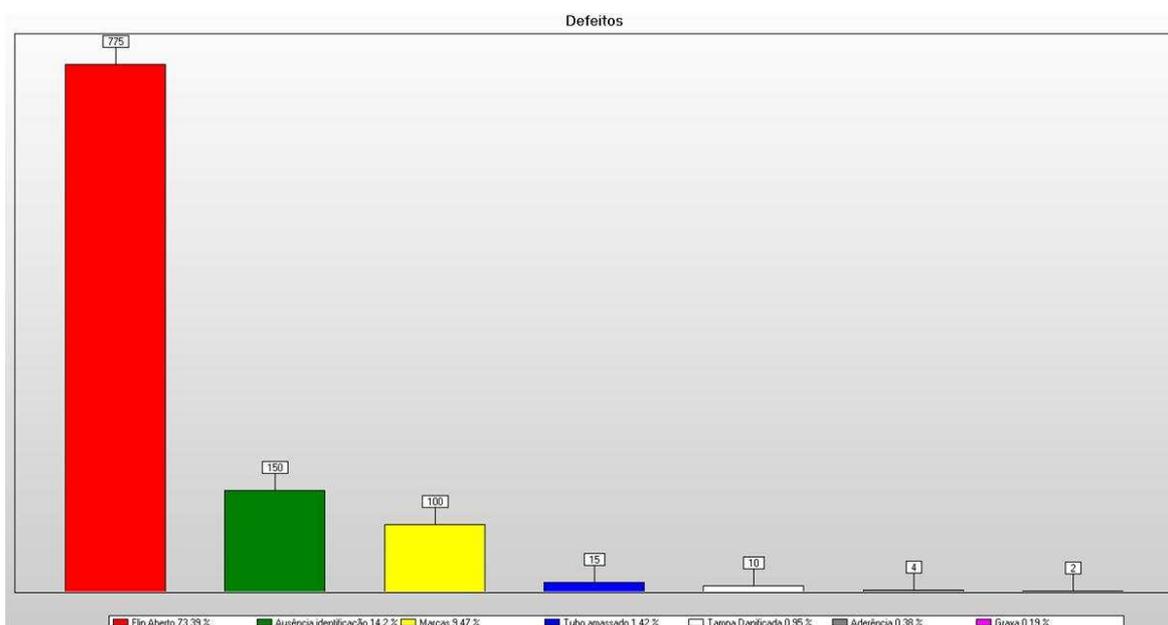


Figura 24 - Exemplo de gráfico de defeitos

4.5 AVALIAÇÃO DAS INSPEÇÕES DIMENSIONAIS

A partir do mapeamento feito na empresa, definiu-se a necessidade de realização de um estudo de MSA, para avaliar em maiores detalhes as características do processo de controle realizado em características críticas dos produtos da empresa.

Deste modo, o estudo objetiva avaliar, a partir de uma análise metrológica e aplicação de estudos de Tendência e R&R¹⁶, a confiabilidade destas medições

¹⁶ A sigla R&R refere-se ao estudo de Repetitividade e Reprodutibilidade

4.5.1 Planejamento e definição do estudo

Para realização do estudo, foram definidos dois parâmetros dimensionais de dois modelos de produto, conforme mostra a Figura 25:

- ✚ Cota Diâmetro Externo “T”, do produto “Tubo D50 Snap On Standard”, com valor nominal de 20,6 mm, e tolerância de $\pm 0,2$ mm. Esta cota é considerada como crítica, pois é a cota de encaixe da tampa do produto. Caso esteja fora dos limites de tolerância, a tampa pode não encaixar ou mesmo cair durante o uso;
- ✚ Cota Diâmetro Interno “I”, do produto “Tubo D50 TR 22x3 Standard”, com valor nominal de 3,0 mm e tolerância de $\pm 0,2$ mm. É definida como cota crítica, pois determina a saída do líquido ou creme.

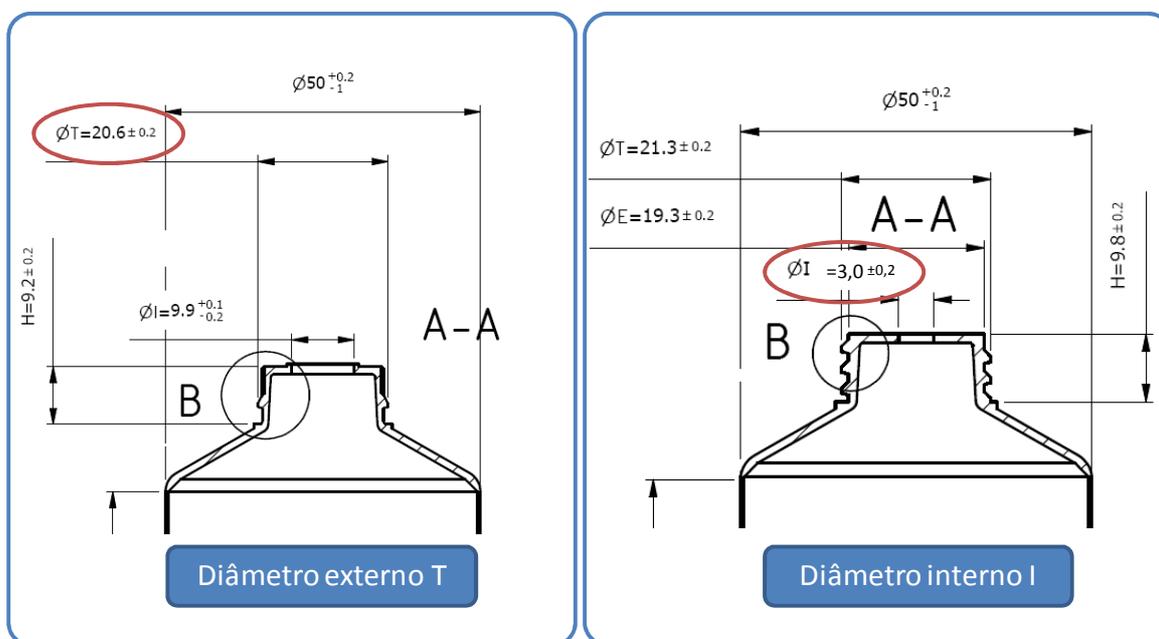


Figura 25 – Parâmetros dimensionais definidos

Para a avaliação da medição dos dois parâmetros, foi definida a realização das seguintes atividades:

- I. Separação de 20 unidades de cada tipo de produto, retirados de pontos distintos da linha de produção;
- II. Medição das cotas críticas em um instrumento metrológico com resolução e incerteza melhores que o paquímetro, para definição de valores de referência (máquina ScienScope);

- III. Medição das mesmas unidades, realizada pelos inspetores, usando o paquímetro;
- IV. Análise comparativa dos resultados obtidos;
- V. Aplicação de estudos de tendência e R&R em unidades selecionadas;
- VI. Avaliação final e proposição de melhorias para a empresa.

4.5.2 Realização do estudo

4.5.2.1 Medição das unidades em máquina de referência

Para definir os valores de referência das cotas medidas, foi utilizada uma máquina de inspeção ótica, da marca Scienscope (Figura 26), modelo XT-2000, com resolução de 0,001 mm, que utiliza princípio de medição óptica com câmera CCD. A máquina foi disponibilizada para a realização das medições pela Fundação CERTI, onde as medições foram realizadas.



Figura 26 – Máquina utilizada para realização das medições-padrão

Nesta máquina, foram realizadas as medições da cota diâmetro externo “T” (Identificado como A), dos 20 “Tubos D50 Snap On Standard”, e também realizadas as medições da cota diâmetro Interno “I” (Identificado como B), dos 20 “Tubos D50 TR 22x3 Standard” retirados da linha de produção. Para cada tubo foram feitas três medições. A Figura 27 mostra como as medições foram realizadas.

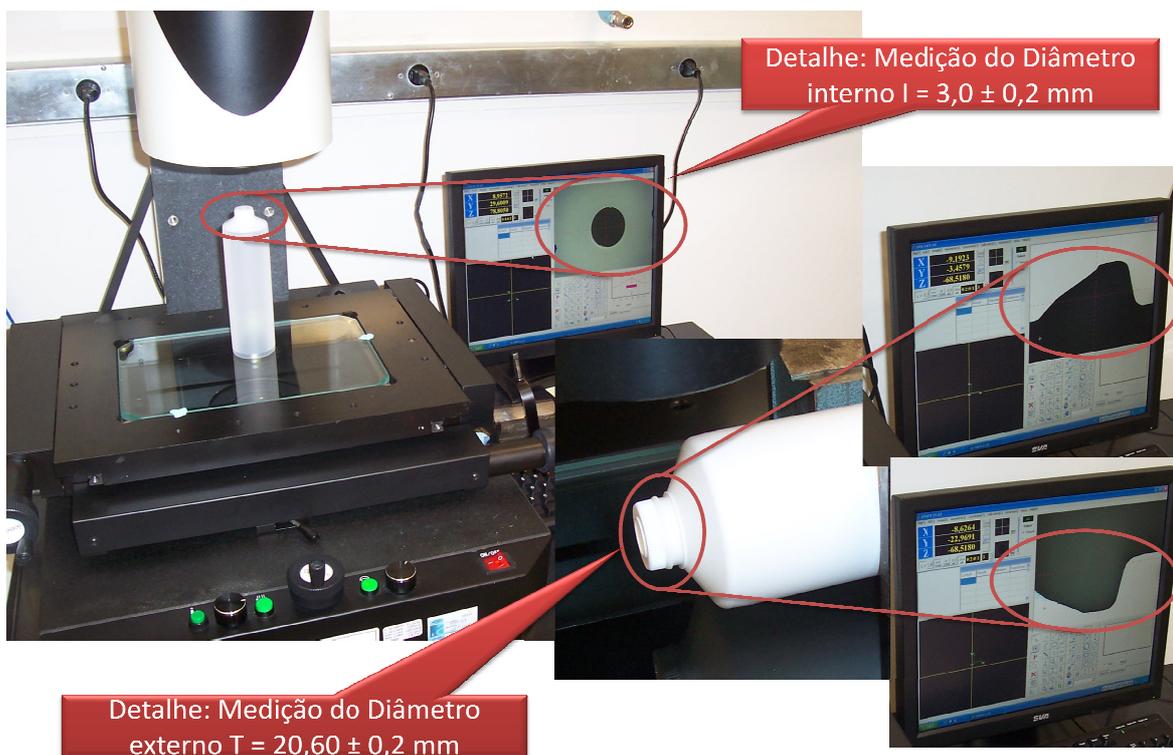


Figura 27 – Medições realizadas para definir os valores de referência

4.5.2.2 Resultados obtidos na medição com a máquina Sciencscope

A partir dos dados obtidos foram realizados cálculos de média e desvio padrão das medições, bem como calculados os valores de capacidade do processo (C_p e C_{pk}).

O índice de potencial (C_p), define o índice de capacidade ou potencial do processo, sem considerar a posição do processo. Seu valor é dado por:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6 \cdot \sigma}, \text{ onde} \quad (01)$$

- LSE = Limite superior de especificação
- LIE = Limite inferior de especificação
- σ = Desvio padrão do processo

O índice Cpk, assim como o Cp, define o índice de capacidade ou potencial do processo, porém considera sua posição. Seu valor é dado por:

$$Cpk = \frac{\text{minimo}(\mu - LIE; LSE - \mu)}{3 \cdot \sigma}, \text{onde} \quad (02)$$

LSE = Limite superior de especificação

LIE = Limite inferior de especificação

σ = Desvio padrão do processo

μ = Média do processo

Para a peça A, foram obtidos os seguintes valores, apresentados na Tabela 10.

Peça	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Média
A-01	20,742	20,732	20,740	20,74
A-02	20,566	20,556	20,573	20,57
A-03	20,670	20,660	20,659	20,66
A-04	20,596	20,600	20,574	20,59
A-05	20,624	20,616	20,603	20,61
A-06	20,565	20,563	20,548	20,56
A-07	20,753	20,745	20,756	20,75
A-08	20,750	20,727	20,693	20,72
A-09	20,638	20,636	20,610	20,63
A-10	20,635	20,668	20,672	20,66
A-11	20,642	20,612	20,595	20,62
A-12	20,589	20,627	20,630	20,62
A-13	20,761	20,741	20,715	20,74
A-14	20,675	20,700	20,714	20,70
A-15	20,740	20,742	20,739	20,74
A-16	20,662	20,700	20,699	20,69
A-17	20,670	20,717	20,724	20,70
A-18	20,640	20,634	20,610	20,63
A-19	20,555	20,560	20,537	20,55
A-20	20,735	20,706	20,736	20,73
Média das médias				20,66
Desvio Padrão das medições				0,065

Tabela 10 – Valores brutos da medição da cota diâmetro externo “T”

A Figura 28 mostra de forma gráfica os resultados obtidos para a cota diâmetro externo T nos 20 tubos:

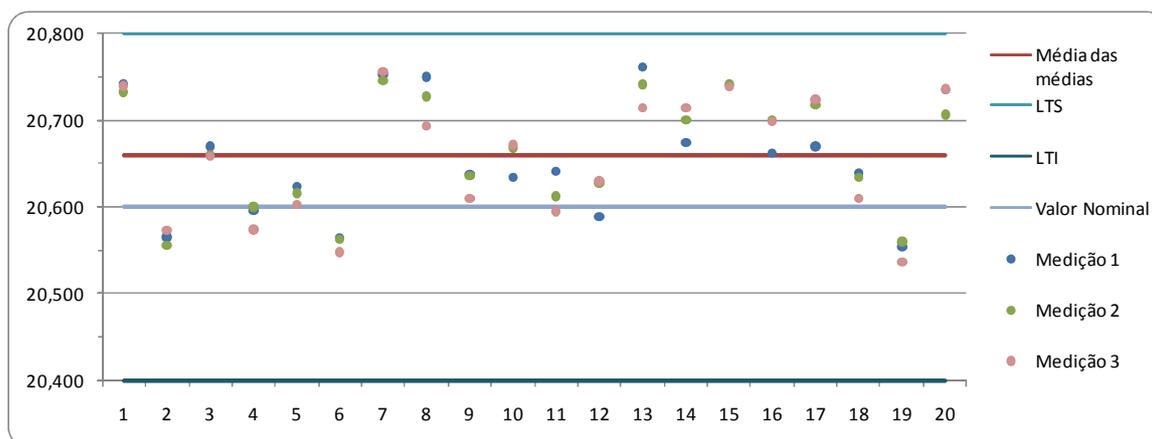


Figura 28 – Resultados das medições para a cota T

Para a peça B, foram obtidos os seguintes valores, apresentados na Tabela 11.

Peça	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Média
B-01	3,009	3,006	3,008	3,01
B-02	2,984	2,983	2,983	2,98
B-03	2,994	2,994	2,993	2,99
B-04	2,91	2,909	2,911	2,91
B-05	2,98	2,978	2,979	2,98
B-06	2,978	2,978	2,978	2,98
B-07	2,991	2,99	2,991	2,99
B-08	2,995	2,995	2,996	3,00
B-09	2,988	2,984	2,988	2,99
B-10	2,993	2,993	2,994	2,99
B-11	3,016	3,015	3,015	3,02
B-12	2,99	2,989	2,989	2,99
B-13	3,063	3,063	3,062	3,06
B-14	2,812	2,811	2,812	2,81
B-15	2,951	2,954	2,956	2,95
B-16	2,999	2,999	2,998	3,00
B-17	3,047	3,047	3,047	3,05
B-18	2,973	2,975	2,975	2,97
B-19	2,971	2,969	2,968	2,97
B-20	2,974	2,977	2,978	2,98
Média das médias				2,98
Desvio Padrão das medições				0,0493

Tabela 11 – Valores brutos da medição da cota diâmetro externo “I”

De modo similar, a Figura 29 mostra os resultados obtidos para a cota de diâmetro interno I nos 20 tubos medidos:

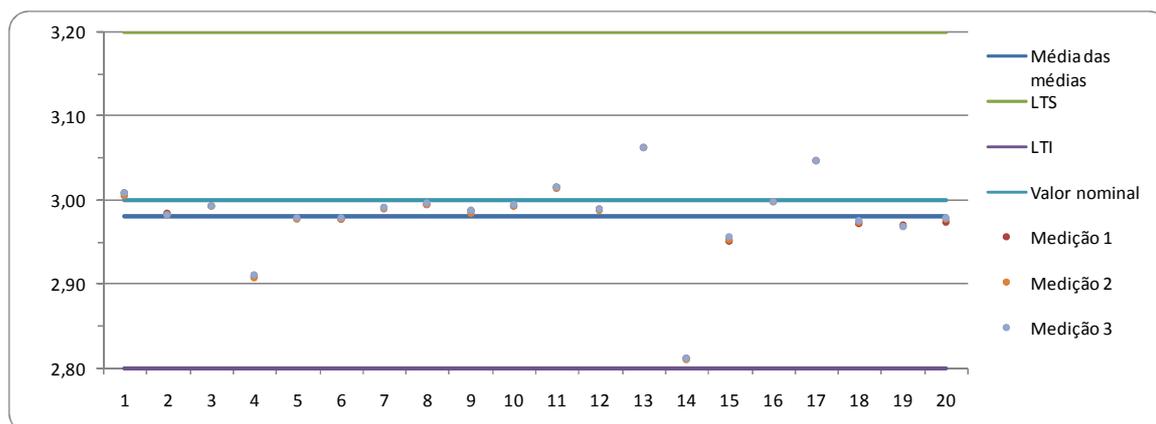


Figura 29 – Resultados das medições para a cota I

É importante salientar que os valores para a peça B-14, cuja média foi de 2,81 mm, são decorrentes de uma real anomalia do produto, e não de algum erro da medição.

Observa-se que, no caso da Figura 28 – cota T, o valor médio do diâmetro medido (média das médias) foi de 20,66 mm, ou 0,06 mm **acima** do valor nominal da cota. Já no caso da cota I, o valor médio medido foi de 2,98 mm, ou 0,02 mm **abaixo** do valor nominal da cota. Esta diferença encontrada em relação ao valor nominal de cada cota, caracteriza um desvio do processo produtivo em relação ao seu alvo, ou seja, o processo não está centrado. Percebe-se ainda que a dispersão dos valores para a cota I foram muito menores que os evidenciados para a cota T, e também que, em nenhum caso, a média individual das medições realizadas foi superior ou inferior aos limites de especificação definidos para o produto. Estas informações são mostradas em termos quantitativos na Tabela 12:

Cotas medidas / Especificação [mm]	Tolerância do Produto		Resultado das medições realizadas		Caracterização do Processo	
	LTS [mm]	LTI [mm]	Média das médias [mm]	Desvio Padrão	C_p	C_{pk}
Cota T / 20,6	20,8	20,4	20,66	0,065	1,03	0,72
Cota I / 3,0	3,2	2,8	2,98	0,049	1,35	1,22

Tabela 12 – Síntese das medições realizadas com a máquina Scienscope

Em virtude das condições de realização do estudo (peças retiradas do processo produtivo e sistema de medição apropriado), a caracterização do processo produtivo, feita através do cálculo dos valores de C_{pk} , mostra um

processo com um razoável índice de capacidade para a cota I ($C_{pk} = 1,22$), evidenciado pela baixa dispersão dos dados medido, porém que necessita de melhorias para a cota T ($C_{pk} = 0,72$).

4.5.2.3 Análise da repetitividade das medições feitas com a Scienscope

A partir dos dados brutos coletados, foi possível realizar uma série de estudos, que possibilitaram um maior conhecimento em relação às características metrológicas do processo de inspeção utilizado pela C-Pack. Para a realização desta análise, foram utilizadas as planilhas de estudo da capacidade do processo de medição, desenvolvidas pela Fundação CERTI. A Tabela 13 mostra o resultado do estudo de repetitividade, aplicado à Cota T, medida na Scienscope:

OBJETO (OBJECT)	SÉRIE 1 (SERIES 1)	SÉRIE 2 (SERIES 2)	MÉDIA (AVERAGE)	AMPLITUDE (RANGE)
1	20,742	20,732	20,7370	0,010
2	20,566	20,556	20,5610	0,010
3	20,670	20,660	20,6650	0,010
4	20,596	20,600	20,5980	0,004
5	20,624	20,616	20,6200	0,008
6	20,565	20,563	20,5640	0,002
7	20,753	20,745	20,7490	0,008
8	20,750	20,727	20,7385	0,023
9	20,638	20,636	20,6370	0,002
10	20,635	20,668	20,6515	0,033
11	20,642	20,612	20,6270	0,030
12	20,589	20,627	20,6080	0,038
13	20,761	20,741	20,7510	0,020
14	20,675	20,700	20,6875	0,025
15	20,740	20,742	20,7410	0,002
16	20,662	20,700	20,6810	0,038
17	20,670	20,717	20,6935	0,047
18	20,640	20,634	20,6370	0,006
19	20,555	20,560	20,5575	0,005
20	20,735	20,706	20,7205	0,029
21				
22				
23				
24				
25				

MODELO DA PEÇA (PART NUMBER)	Tubo Snap On
CARACTERÍSTICA (CHARACTERISTIC)	Diâmetro Externo T
TIPO DE INSTRUMENTO (GAGE TYPE)	Scienscope
CÓDIGO DO INSTRUMENTO (GAGE ID)	SCP

TOLERANCIA DO PRODUTO (PRODUCT TOLERANCE)	0,400	
VARIAÇÃO DO PROCESSO (PROCESS VARIATION)		
MEDIÇÕES (TRIALS)	20	
R _m : AMPLITUDE DAS MÉDIAS (R _m : RANGE OF MEANS)	0,194	
AMPLITUDE MÉDIA (MEAN RANGE)	0,0175	
VE: REPETIVIDADE (EV: REPEATABILITY)	0,01551	
VP: VARIAÇÃO DA PEÇA (PV: PART VARIATION)	0,05031	
VT: VARIAÇÃO TOTAL (TV: TOTAL VARIATION)	0,05265	
	VT (TV)	TOL (TOL)
%VE (%EV)	29,46%	23,3%
%VP (%PV)	95,56%	
ndc (ndc)		5
ndc NÃO É ADEQUADO (ndc IS NOT ADEQUATE)		
SM É CONDICIONALMENTE CAPAZ (MS IS CONDITIONALLY CAPABLE)		

Tabela 13 – Resultados para a cota T, para as peças medidas na scienscope

Os resultados para a cota I são mostrados na Tabela 14.

MODELO DA PEÇA (PART NUMBER)	Tubo Snap_on		
CARACTERÍSTICA (CHARACTERISTIC)	Diâmetro Interno I		
TIPO DE INSTRUMENTO (GAGE TYPE)	Sciencescope		
CÓDIGO DO INSTRUMENTO (GAGE ID)	SCP		

OBJETO (OBJECT)	SÉRIE 1 (SERIES 1)	SÉRIE 2 (SERIES 2)	MÉDIA (AVERAGE)	AMPLITUDE (RANGE)
1	3,009	3,006	3,0075	0,003
2	2,984	2,983	2,9835	0,001
3	2,994	2,994	2,9940	0,000
4	2,910	2,909	2,9095	0,001
5	2,980	2,978	2,9790	0,002
6	2,978	2,978	2,9780	0,000
7	2,991	2,990	2,9905	0,001
8	2,995	2,995	2,9950	0,000
9	2,988	2,984	2,9860	0,004
10	2,993	2,993	2,9930	0,000
11	3,016	3,015	3,0155	0,001
12	2,990	2,989	2,9895	0,001
13	3,063	3,063	3,0630	0,000
14	2,812	2,811	2,8115	0,001
15	2,951	2,954	2,9525	0,003
16	2,999	2,999	2,9990	0,000
17	3,047	3,047	3,0470	0,000
18	2,973	2,975	2,9740	0,002
19	2,971	2,969	2,9700	0,002
20	2,974	2,977	2,9755	0,003
21				
22				
23				
24				
25				

TOLERÂNCIA DO PRODUTO (PRODUCT TOLERANCE)	0,400	
VARIÇÃO DO PROCESSO (PROCESS VARIATION)		
MEDIÇÕES (TRIALS)	20	
Rp: AMPLITUDE DAS MÉDIAS (R _p : RANGE OF MEANS)	0,252	
AMPLITUDE MÉDIA (MEAN RANGE)	0,0013	
VE: REPETIVIDADE (EV: REPEATABILITY)	0,00111	
VP: VARIÇÃO DA PEÇA (PV: PART VARIATION)	0,06539	
VT: VARIÇÃO TOTAL (TV: TOTAL VARIATION)	0,06540	
	VT (TV)	TOL (TOL)
%VE (%EV)	1,69%	1,7%
%VP (%PV)	99,99%	
ndc (ndc)	83	
ndc É ADEQUADO (ndc IS ADEQUATE)		
SM É CAPAZ (MS IS CAPABLE)		

Tabela 14 – Resultados para a cota I, para as peças medidas na sciencescope

Analisando os resultados, percebe-se que, para ambas as cotas medidas na Scienescope, a variação total presente nos dados é similar à variação da peça, ou seja, o sistema de medição se mostra adequado para execução das medições e controle do processo produtivo.

Contudo, o sistema apresenta maior capacidade de medição para a cota I do que para a cota T. Este fato pode ser justificado pelo procedimento de medição utilizado. Conforme evidenciado na Figura 27, para a cota I, foi feita a medição direta, utilizando a função “circunferência” da máquina. Já para a cota T, foi necessário medir utilizando a função “reta”, selecionando dois pontos em cada extremidade, exigindo o deslocamento da mesa da máquina. Esta diferença de procedimento pode ter causado a maior dispersão, observada para a cota T.

4.5.2.4 Resultados obtidos na medição com o paquímetro

As mesmas peças foram medidas por um inspetor da qualidade da empresa, com o mesmo instrumento utilizado na linha, um paquímetro digital, com resolução de 0,01 mm e Incerteza de medição de $\pm 0,02$ mm. Assim como para a Scienescope, também foram realizadas três repetições para cada peça.

A Figura 30 mostra de forma gráfica os resultados obtidos para a cota diâmetro externo T nos 20 tubos medidos com o paquímetro:

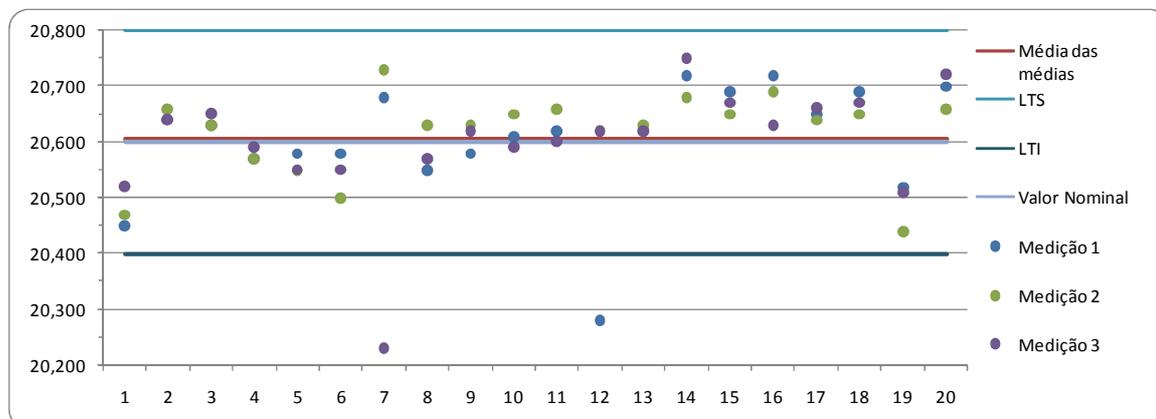


Figura 30 – Medições realizadas com o paquímetro para a cota T

De modo similar, a Figura 31 mostra de forma gráfica os resultados obtidos para a cota diâmetro externo I nos 20 tubos medidos com o paquímetro.

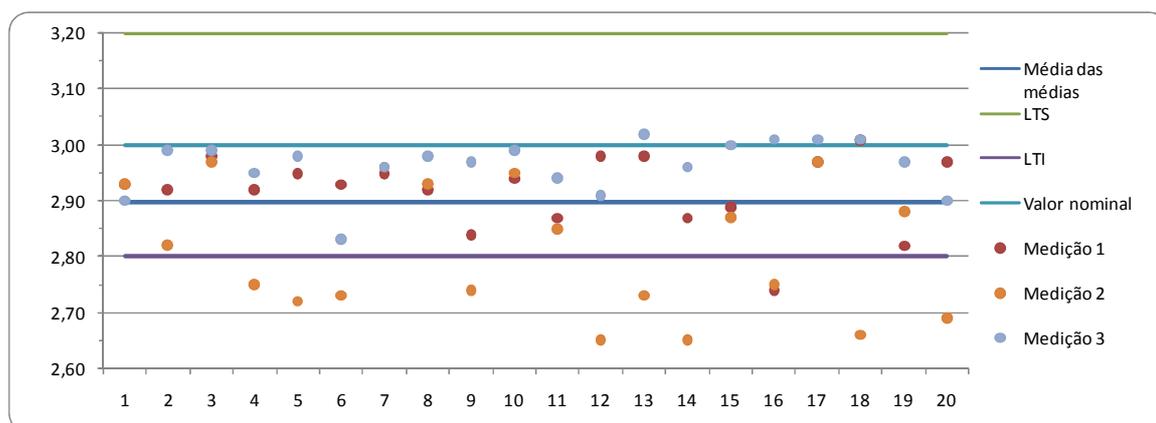


Figura 31 – Medições realizadas com o paquímetro para a cota I

Analisando os gráficos, percebe-se uma dispersão consideravelmente maior dos resultados das mesmas peças, quando medidas com o paquímetro e comparadas à *Sciencescope*. Verifica-se também que a medição feita com o paquímetro acusou, para uma série de peças, principalmente para a cota I, como não-conforme, enquanto que, para as medições realizadas na *Sciencescope*, todas as peças foram consideradas conforme. Isso evidencia a existência de problemas nas medições realizadas com o paquímetro, principalmente para a cota I.

Os resultados condensados para as medições realizadas com o paquímetro são apresentados na Tabela 15.

Cotas medidas / Especificação [mm]	Tolerância do Produto		Resultado das medições realizadas		Caracterização do Processo	
	LTS [mm]	LTI [mm]	Média das médias [mm]	Desvio Padrão	C _p	C _{pk}
Cota T / 20,6	20,8	20,4	20,61	0,067	1,00	1,00
Cota I / 3,0	3,2	2,8	2,90	0,048	1,38	0,67

Tabela 15 – Síntese das medições realizadas com o paquímetro

4.5.2.5 Análise da repetitividade das medições feitas com o paquímetro

Novamente os dados coletados, desta vez com as medições feitas com o paquímetro, foram inseridos nas planilhas de estudo da capacidade do processo de medição. É importante salientar que para realização deste estudo, as medições foram realizadas por um operador apenas, para minimizar as influências do erro do operador e viabilizar a comparação dos resultados. A Tabela 16 mostra os resultados para a Cota T.

MODELO DA PEÇA (PART NUMBER)	<i>Tubo Snap On</i>			
CARACTERÍSTICA (CHARACTERISTIC)	<i>Diâmetro Externo T</i>			
TIPO DE INSTRUMENTO (GAGE TYPE)	<i>Paquímetro</i>			
CÓDIGO DO INSTRUMENTO (GAGE ID)	<i>Fag</i>			
OBJETO (OBJECT)	SÉRIE 1 (SERIES 1)	SÉRIE 2 (SERIES 2)	MÉDIA (AVERAGE)	AMPLITUDE (RANGE)
1	20,450	20,470	20,4600	0,020
2	20,640	20,660	20,6500	0,020
3	20,630	20,630	20,6300	0,000
4	20,570	20,570	20,5700	0,000
5	20,580	20,550	20,5650	0,030
6	20,580	20,500	20,5400	0,080
7	20,680	20,730	20,7050	0,050
8	20,550	20,630	20,5900	0,080
9	20,580	20,630	20,6050	0,050
10	20,610	20,650	20,6300	0,040
11	20,620	20,660	20,6400	0,040
12	20,600	20,620	20,6100	0,020
13	20,620	20,630	20,6250	0,010
14	20,720	20,680	20,7000	0,040
15	20,690	20,650	20,6700	0,040
16	20,720	20,690	20,7050	0,030
17	20,650	20,640	20,6450	0,010
18	20,690	20,650	20,6700	0,040
19	20,520	20,440	20,4800	0,080
20	20,700	20,660	20,6800	0,040
21				
22				
23				
24				
25				

TOLERÂNCIA DO PRODUTO (PRODUCT TOLERANCE)	0,400	
VARIAÇÃO DO PROCESSO (PROCESS VARIATION)		
MEDIÇÕES (TRIALS)	20	
R _p : AMPLITUDE DAS MÉDIAS (R _p : RANGE OF MEANS)	0,245	
AMPLITUDE MÉDIA (MEAN RANGE)	0,0360	
VE: REPETIVIDADE (EV: REPEATABILITY)	0,03190	
VP: VARIAÇÃO DA PEÇA (PV: PART VARIATION)	0,06370	
VT: VARIAÇÃO TOTAL (TV: TOTAL VARIATION)	0,07124	
	VT (TV)	TOL (TOL)
%VE (%EV)	44,78%	47,9%
%VP (%PV)	89,41%	
ndc (ndc)	3	
ndc NÃO É ADEQUADO (ndc IS NOT ADEQUATE)		
SM NÃO É CAPAZ (MS IS NOT CAPABLE)		

Tabela 16 – Resultados para a cota T, para as peças medidas no paquímetro

Os resultados para a cota I são mostrados na Tabela 17.

Pode-se observar ainda que na medição da cota I (furo), se apresenta uma forte influência da falta de reprodutibilidade, ou seja, os três operadores medem com uma diferente tendência.

CPack **RELATÓRIO DE REPETITIVIDADE E REPRODUTIBILIDADE**
Creative Packaging **(GAGE REPEATABILITY AND REPRODUCIBILITY REPORT)** PROTEÇÃO CERTI

MODELO DA PEÇA (PART NUMBER)	<i>Tubo Snap On</i>
CARACTERÍSTICA (CHARACTERISTIC)	<i>Diâmetro externo T</i>
TIPO DE INSTRUMENTO (GAGE TYPE)	<i>Paquímetro</i>
CÓDIGO DO INSTRUMENTO (GAGE ID)	<i>PAQ-018</i>

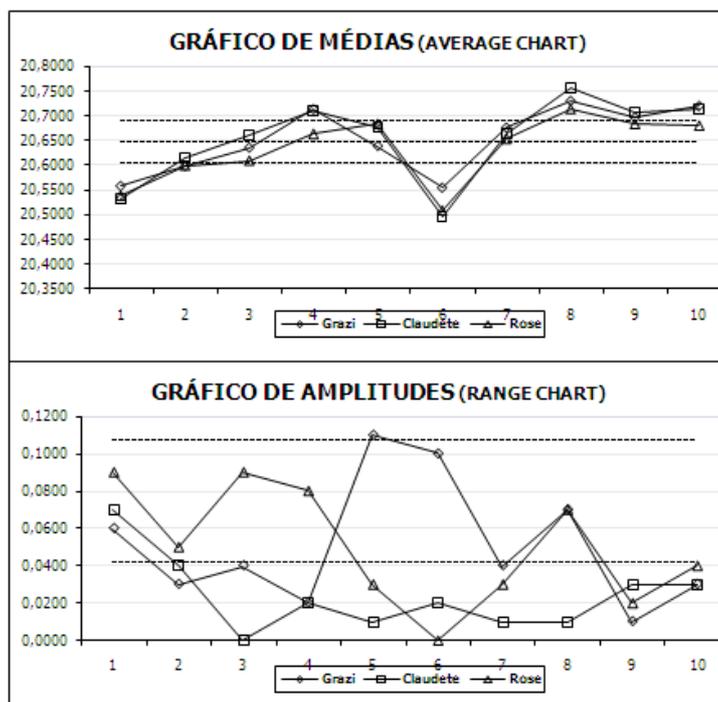
OPERADOR 1 (OPERATOR 1)	<i>Grazi</i>
OPERADOR 2 (OPERATOR 2)	<i>Claudete</i>
OPERADOR 3 (OPERATOR 3)	<i>Rose</i>

OPERADOR (OPERATOR)	MEDIÇÃO (TRIAL)	PEÇA (PART)										MÉDIA (AVERAGE)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Grazi	1	20,580	20,590	20,620	20,720	20,680	20,510	20,670	20,760	20,700	20,730	X _A -bar	20,656
	2	20,580	20,620	20,660	20,700	20,570	20,610	20,660	20,740	20,690	20,700		20,653
	3	20,520	20,590	20,630	20,720	20,670	20,550	20,700	20,690	20,700	20,730		20,650
MÉDIA (AVERAGE)		20,560	20,600	20,637	20,713	20,640	20,557	20,677	20,730	20,697	20,720	R _A -bar	20,653
AMPLITUDE (RANGE)		0,060	0,030	0,040	0,020	0,110	0,100	0,040	0,070	0,010	0,030		0,051
Claudete	1	20,500	20,610	20,660	20,700	20,680	20,490	20,660	20,750	20,690	20,710	X _B -bar	20,645
	2	20,570	20,640	20,660	20,720	20,670	20,490	20,660	20,760	20,720	20,730		20,662
	3	20,530	20,600	20,660	20,710	20,680	20,510	20,670	20,760	20,710	20,700		20,653
MÉDIA (AVERAGE)		20,533	20,617	20,660	20,710	20,677	20,497	20,663	20,757	20,707	20,713	R _B -bar	20,653
AMPLITUDE (RANGE)		0,070	0,040	0,000	0,020	0,010	0,020	0,010	0,010	0,030	0,030		0,024
Rose	1	20,590	20,570	20,560	20,700	20,680	20,510	20,640	20,740	20,670	20,700	X _C -bar	20,636
	2	20,500	20,610	20,620	20,670	20,670	20,510	20,670	20,730	20,690	20,680		20,635
	3	20,530	20,620	20,650	20,620	20,700	20,510	20,650	20,670	20,690	20,660		20,630
MÉDIA (AVERAGE)		20,540	20,600	20,610	20,663	20,683	20,510	20,653	20,713	20,683	20,680	R _C -bar	20,634
AMPLITUDE (RANGE)		0,090	0,050	0,090	0,080	0,030	0,000	0,030	0,070	0,020	0,040	R-dbar	0,042
MÉDIA DAS PEÇAS (PART AVERAGE)		20,544	20,606	20,636	20,696	20,667	20,521	20,664	20,733	20,696	20,704	UCL _R	0,107
												R _p	0,212
												X-bar _{DIFF}	0,020

OPERADORES	3
MEDIÇÕES (TRIALS)	3
PEÇAS (PARTS)	10

TOLERÂNCIA DO PRODUTO (PRODUCT)	0,400
---------------------------------	-------

VARIAÇÃO DO PROCESSO (PROCESS)	
--------------------------------	--



VE: REPETITIVIDADE (EV: REPEATABILITY)	0,0246
VA: REPRODUTIBILIDADE (AV: REPRODUCIBILITY)	0,0093
R&R (R&R)	0,0263
VP: VARIAÇÃO DA PEÇA (PV: PART VARIATION)	0,0668
VT: VARIAÇÃO TOTAL (TV: TOTAL VARIATION)	0,0718

	VT (TV)	TOL (TOL)
%VE (%EV)	34,31%	36,92%
%VA (%AV)	12,90%	13,88%
%R&R	36,65%	39,45%
%VP (%PV)	93,04%	100,15%
ndc	3	

A ANÁLISE GRÁFICA EVIDENCIA INCONSISTÊNCIA NAS MEDIÇÕES (THE RANGE CHART SHOWS INCONSISTENCY IN THE MEASUREMENT PROCESS)

Figura 32 – Resultado do estudo de R&R feito com o paquímetro, para a cota T

MODELO DA PEÇA (PART NUMBER)	Tubo Snap On		OPERADOR 1 (OPERATOR 1)	Grazi
CARACTERÍSTICA (CHARACTERISTIC)	Diâmetro interno I		OPERADOR 2 (OPERATOR 2)	Claudete
TIPO DE INSTRUMENTO (GAGE TYPE)	Paquímetro		OPERADOR 3 (OPERATOR 3)	Rose
CÓDIGO DO INSTRUMENTO (GAGE ID)	PAQ-018			

OPERADOR (OPERATOR)	MEDIÇÃO (TRIAL)	PEÇA (PART)										MÉDIA (AVERAGE)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Grazi	1	2,890	2,980	2,920	2,990	3,020	2,930	2,960	3,030	3,000	2,970	X _A -bar R _A -bar	2,969
	2	2,970	2,920	2,970	3,000	3,050	2,980	2,960	3,020	2,990	2,970		2,983
	3	2,910	2,940	2,910	3,000	3,050	2,960	2,990	2,960	3,020	2,970		2,971
MÉDIA (AVERAGE)		2,923	2,947	2,933	2,997	3,040	2,957	2,970	3,003	3,003	2,970		2,974
AMPLITUDE (RANGE)		0,080	0,060	0,060	0,010	0,030	0,050	0,030	0,070	0,030	0,000		0,042
Claudete	1	2,960	2,910	2,920	2,940	3,030	2,830	2,860	3,000	3,000	2,930	X _B -bar R _B -bar	2,938
	2	2,950	2,960	2,960	2,970	2,970	2,890	2,920	2,970	2,990	2,930		2,951
	3	2,960	2,920	2,950	2,980	2,960	2,880	2,970	2,950	2,970	2,900		2,944
MÉDIA (AVERAGE)		2,957	2,930	2,943	2,963	2,987	2,867	2,917	2,973	2,987	2,920		2,944
AMPLITUDE (RANGE)		0,010	0,050	0,040	0,040	0,070	0,060	0,110	0,050	0,030	0,030		0,049
Rose	1	3,070	3,020	3,030	3,050	3,010	3,010	3,030	3,090	3,070	3,010	X _C -bar R _C -bar	3,039
	2	3,010	3,000	3,030	3,050	3,090	3,000	3,020	3,000	3,070	2,910		3,018
	3	3,020	3,030	3,000	3,050	3,090	3,030	3,000	3,080	3,030	3,010		3,034
MÉDIA (AVERAGE)		3,033	3,017	3,020	3,050	3,063	3,013	3,017	3,057	3,057	2,977		3,030
AMPLITUDE (RANGE)		0,060	0,030	0,030	0,000	0,080	0,030	0,030	0,090	0,040	0,100		0,049
MÉDIA DAS PEÇAS (PART AVERAGE)		2,971	2,964	2,966	3,003	3,030	2,946	2,968	3,011	3,016	2,956	UCL _R R _p X-bar _{DIFF}	0,120 0,084 0,086

OPERADORES (OPERATORS)	3	TOLERÂNCIA DO PRODUTO (PRODUCT TOLERANCE)	0,400
MEDIÇÕES (TRIALS)	3	VARIÇÃO DO PROCESSO (PROCESS VARIATION)	
PEÇAS (PARTS)	10		

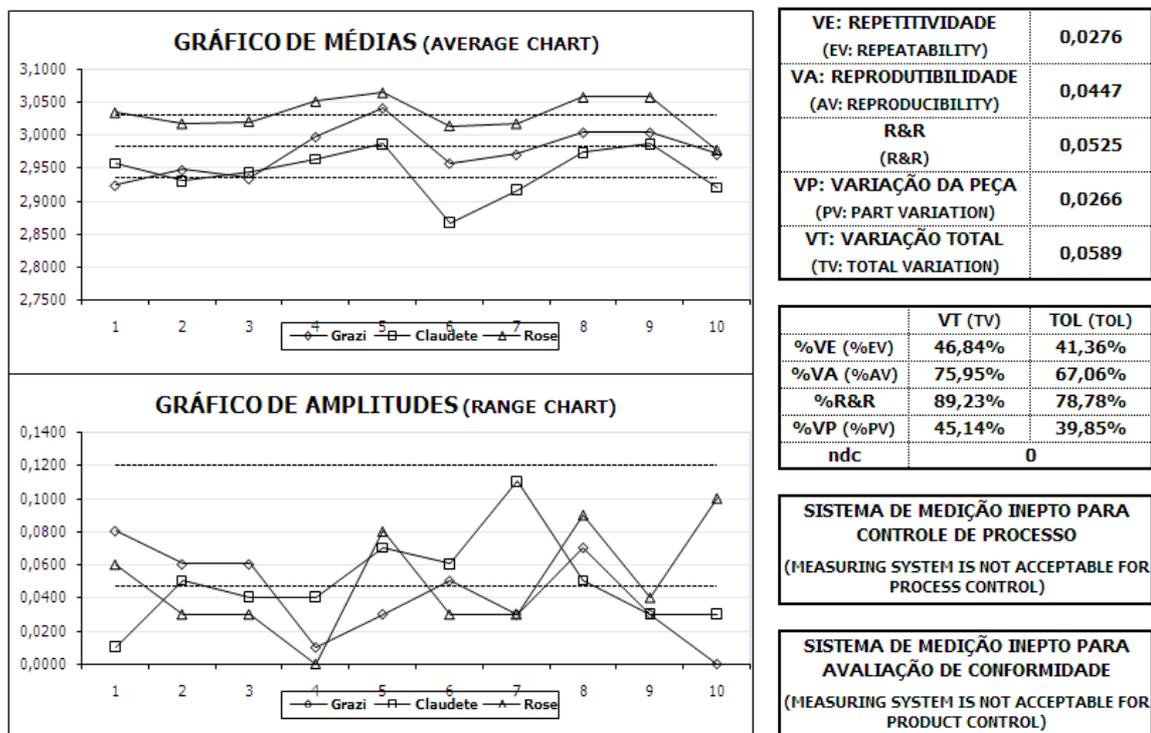


Figura 33 – Resultado do estudo de R&R feito com o paquímetro, para a cota I

4.5.2.7 Conclusões finais sobre o estudo de MSA

Conforme evidenciado nas análises realizadas, fica claro a não adequabilidade metrológica do paquímetro para executar as inspeções.

Apesar da evidência de não adequabilidade metrológica do paquímetro para a realização das inspeções no produto, sabe-se que, pelo histórico produtivo da empresa, a linha de produção submetida ao estudo é considerada estável (ênfatizando que a máquina já faz a segregação de defeitos na cota I através de inspeção óptica 100% e, portanto, teoricamente o paquímetro faz somente uma conferência de um controle previamente realizado). Com base na estabilidade do processo produtivo, a conclusão final sobre o estudo realizado remete a algumas sugestões:

- ✚ Melhorar a inspeção da cota T, a partir do uso de uma máquina óptica de inspeção, externa ao processo, diminuindo a frequência de inspeção;
- ✚ Eliminar a inspeção por variáveis da cota I, uma vez que já existe um dispositivo que controla esta dimensão, mantendo somente a máquina óptica;
- ✚ Utilizar um calibrador passa-não-passa, e executar a inspeção da cota I por atributos;

Estes itens de sugestão são detalhados no item 4.8 .

4.6 PREPARAÇÃO DA APLICAÇÃO PILOTO

A etapa de preparação da aplicação piloto compreendeu na realização de reuniões com a equipe da empresa, envolvendo a alta administração, planejadores, inspetores e pessoal de TI, para dispor de toda a infra-estrutura necessária nos prazos definidos.

Esta atividade foi executada com grande agilidade, principalmente por contar com o apoio direto da alta administração.

4.7 APLICAÇÃO PILOTO

Primeiramente, foi realizado um treinamento para uso do *Pack SmarQuality*, com o operador do turno da manhã. Após o treinamento, iniciou-se a coleta de dados.

A coleta de dados foi realizada no período de 05/08/2008 a 13/09/2009. O foco inicial da coleta foi nas etapas de extrusão e heading. Durante o período de 05/08/2008 a 27/08/2008, foram inspecionados 1890 produtos, para os quais não foi registrado nenhum defeito. A Figura 34 mostra as quantidades inspecionadas, que somam 1890 produtos, para todas as ordens de produção, para o período sem falhas.

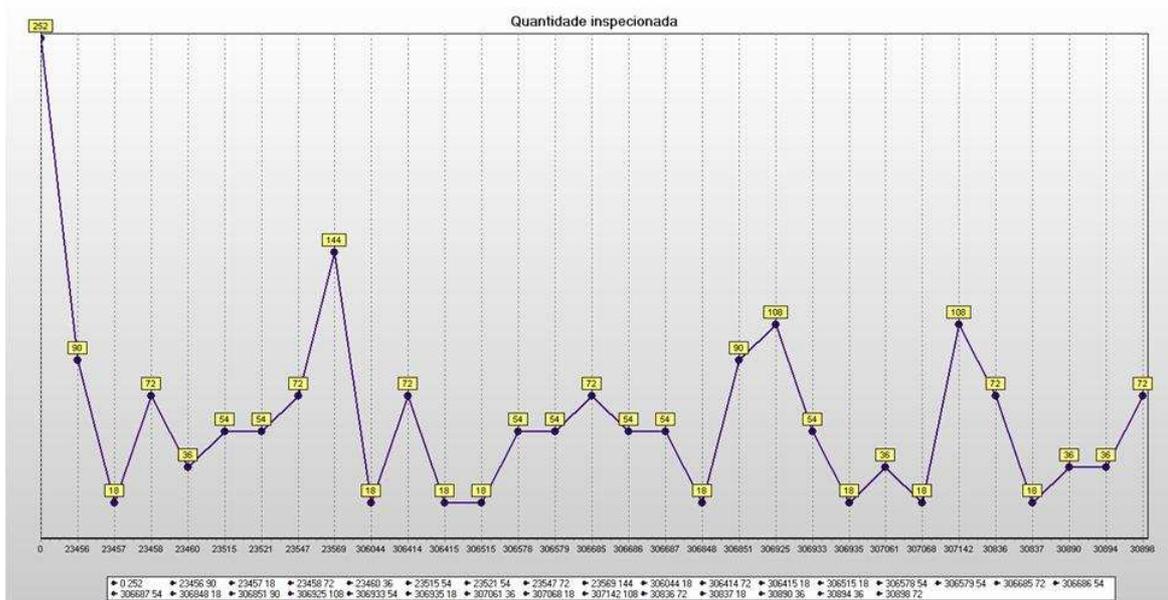


Figura 34 – Quantidades inspecionadas entre 05/08/2008 e 27/08/2008

Durante a aplicação, apesar da não ocorrência de defeitos na inspeção da transformação, constatava-se a existência de produtos defeituosos no final da linha produção. Este pode ser considerado o primeiro resultado da aplicação, pois evidencia que a inspeção realizada não é capaz de indicar os defeitos gerados nos produtos.

Em virtude disso, a aplicação foi estendida, de um ponto de inspeção em um turno, para inspeção em todos os pontos, na linha toda, passando a ser aplicado em três turnos. Além da expansão, em virtude da boa aceitação do *Pack SmartQuality* pelos inspetores e pelos planejadores, fez-se necessária algumas

alterações e melhorias do sistema, no sentido de substituir a folha de coleta e registro dos dados de inspeção (que, até então, eram feitos em papel) pelo próprio *Pack SmartQuality*. Para isso, a base de dados da qualidade foi ampliada, possibilitando o registro dos valores máximos e mínimos para as variáveis medidas, e também possibilitando o registro das quantidades segregadas.

4.7.1 Defeitos encontrados

A partir do início da coleta de dados no ponto de inspeção off-set (decoreação), foram registrados uma série de defeitos, que serão apresentados a seguir.

A quantidade inspecionada foi ampliada, de 1.890, para 19.719 produtos. Foram registrados 3.239 defeitos, sendo mais de 50% destes devido a problemas na tampa do produto (Flip aberto, com 33,78% e Força de abertura, com 18,09%), conforme mostra o gráfico de Pareto da Figura 35.

De acordo com a classe do defeito encontrado, o inspetor é orientado a segregar os produtos defeituosos e até mesmo todo o lote produzido. O gráfico da Figura 36 mostra a quantidade segregada para o período de coleta, que totalizou 207.154 produtos. Os produtos segregados são avaliados e, caso possível, retrabalhados. No caso da não possibilidade de retrabalho, os produtos são descartados.

sendo necessária uma análise detalhada de causas, definição da causa raiz e geração de um plano de ação para melhoria do processo e, conseqüentemente, redução da ocorrência de defeitos. Após a implementação das melhorias, passa-se a ter um processo estável e sob controle.

Quando este nível é atingido, e a equipe de planejamento da qualidade adquire um status de conhecimento real das causas de defeitos no produto (oriundas do processo), a simples análise e acompanhamento dos defeitos ao longo processo, através da base de dados da qualidade e da análise gráfica, mostrará a tendência de geração de defeitos, possibilitando a equipe corrigir o processo praticamente em tempo real, evitando assim a segregação de produtos (Figura 36).

Como exemplo, a partir da análise da Figura 35, que corresponde a somente um dos modelos gráficos que o *Pack SmartQuality* pode gerar, a equipe de planejamento da qualidade da empresa poderá, em virtude da análise de que mais de 50% dos defeitos registrados são oriundos do processo de fabricação da tampa, propor um projeto de melhoria para investigação detalhada das causas e geração de um plano de ação para resolução do problema, que poderá ser acompanhado em tempo real através do *Pack SmartQuality*.

4.8 ANÁLISE DOS RESULTADOS E PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS

Este capítulo descreveu em detalhes a aplicação do software *Pack SmartQuality* na linha de produção da C-Pack, bem como a análise das inspeções dimensionais realizadas na empresa.

Em relação à aplicação do SI2PL através do aplicativo *Pack SmartQuality*, pode-se concluir que foi muito bem sucedida. Relatos tanto do pessoal de planejamento, responsáveis pela inserção das informações de produtos e processo, quanto dos inspetores, que inserem as informações no software, consideraram o mesmo como muito amigável e de fácil utilização, fato comprovado tanto pela rápida expansão do uso em toda a linha, quanto pela adaptação do software visando substituir o formulário em papel usado até então para registro das inspeções.

Ainda em relação à aplicação do *Pack SmartQuality*, resultados diretos em relação a melhorias no sistema de garantia da qualidade puderam ser observados. Primeiramente, observou-se através do *Pack SmartQuality*, que as inspeções dimensionais realizadas na etapa de transformação, não possuem capacidade total para detectar defeitos, fato comprovado através do estudo das características dimensionais. Após expansão da aplicação, foram observados e registrados uma quantidade significativa de defeitos. A análise inicial destes defeitos identificou a necessidade de melhoria no processo de produção das tampas, ação que pode ser planejada, executada e, através do *Pack SmartQuality*, os resultados podem ser avaliados.

Em relação ao estudo das características das inspeções dimensionais executadas pela empresa, sugere-se a substituição dos paquímetros por um instrumento com melhores características metrológicas. Uma possibilidade seria o uso de uma máquina similar à *Sciencescope* utilizada no estudo de caso. Neste caso, poder-se-ia ter um instrumento capaz de fornecer informações mais confiáveis sobre o status real do processo, viabilizando a redução da frequência de inspeção e melhorando a inspeção executada nas cotas dimensionais.

Outra possibilidade é a eliminação da inspeção por variáveis da cota I, mantendo somente a máquina óptica que já integra o processo, e a execução da inspeção desta cota por atributos, utilizando um calibrador passa-não-passa.

Como ações de continuidade e proposições de melhorias, sugere-se à empresa realizar um estudo similar ao realizado com o paquímetro para investigação do processo de controle dimensional da produção de tampas. Em relação ao uso e aplicação do *Pack SmartQuality*, sugere-se a continuidade do uso e expansão do sistema para as outras linhas. Sugere-se também a alocação de pessoal específico para operar o sistema, inserir as informações de planejamento da inspeção e, principalmente, avaliar os indicadores e disseminar internamente a prática da melhoria contínua.

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho realizou-se uma análise crítica do gerenciamento da inspeção em uma empresa do setor de Embalagens Plásticas. Foram mapeadas as principais características do planejamento da qualidade e do planejamento da inspeção utilizadas. A partir do mapeamento realizado, foi possível adaptar e aplicar, na linha de produção da empresa, um sistema integrado de suporte à inspeção, proporcionando melhorias no gerenciamento da inspeção da qualidade da empresa.

Os resultados da aplicação comprovaram a dificuldade real que as pequenas e médias empresas possuem em executar atividades de planejamento e gerenciamento da inspeção, devido a fatores intrínsecos do seu tipo de produção, como o baixo ciclo de vida dos produtos, o dinamismo das ordens de produção, a necessidade de cumprimento de prazos de entrega curtos, a necessidade de constantes setups em virtude da quantidade e variedade de produtos a serem produzidos e a falta de pessoal para executar as atividades de planejamento e melhoria.

Tendo constatado estas reais dificuldades, verificou-se que a aplicação de um sistema integrado para auxiliar o gerenciamento da inspeção é totalmente viável e útil para a produção em pequenos lotes, uma vez que permite o cadastro tanto das características de planejamento da produção (informações sobre o produto e os processos) quanto do resultado das inspeções realizadas durante o processo (indicadores da qualidade), viabilizando a análise rápida dos dados históricos da qualidade, facilitando a comunicação interna, orientado quanto a definição de ações de melhoria e principalmente, criando um processo de disseminação da cultura da qualidade na empresa.

Assim como qualquer outro tipo de ferramenta ou método de qualidade, para que um sistema integrado possa atingir seus objetivos, é necessário que

exista um sistema de garantia da qualidade capaz de operacionalizá-lo. As atividades para implantação devem ser apoiadas e até mesmo conduzidas pela alta administração da empresa, que deve trabalhar em sincronia com a equipe de planejamento, bem como com os inspetores, ou seja, a implantação deve abranger todos os setores envolvidos no ciclo da qualidade do produto.

A capacidade do sistema de garantia da qualidade da empresa também está associada aos equipamentos utilizados para o controle do processo produtivo, bem como ao conhecimento metrológico das pessoas que o operam. É necessário que o pessoal envolvido possua um nível de conhecimento adequado sobre os processos de medição, para que o sistema possa realmente agregar valor à empresa. Na prática, o sistema integrado somente indica as oportunidades de melhoria. Somente através da capacidade humana em analisar, criticar, propor e implementar as melhorias, o sistema irá possibilitar a geração de reais melhorias para as empresas, possibilitando a prática constante da melhoria contínua e a redução dos custos da não qualidade.

Este trabalho possibilitou a validação dos principais conceitos propostos no SI2PL, enfatizando a necessidade de suporte às PMEs para executar o planejamento da inspeção em seus produtos e a respectiva análise de dados da qualidade para a prática da melhoria contínua.

A análise crítica, realizada através do mapeamento do processo de inspeção da empresa, seguida da adaptação do SI2PL e transformação do sistema no aplicativo *Pack Smartquality* gerou melhorias significativas para o sistema de garantia da qualidade da C-Pack, algumas delas visualizadas de forma imediata.

A melhoria mais evidente foi a agilidade no monitoramento dos dados de inspeção e na tomada de ação para os desvios nos processos. Uma vez iniciada a operação dos módulos de inspeção e de indicadores, foi possível visualizar os problemas que não eram percebidos anteriormente, permitindo propor melhorias aos processos críticos mapeados.

Outra melhoria expressiva para o sistema de garantia da qualidade, atingida com a implantação do *Pack Smartquality*, refere-se à tecnologia da informação. O *Pack Smartquality* elevou consideravelmente a eficácia de

armazenamento, processamento e comunicação da informação da qualidade na C-Pack. Deste modo, os diversos usuários dos diversos setores da empresa (inspetor, analista, planejador e diretoria) têm acesso à base de dados do sistema, que contém informações sobre a qualidade dos produtos e registro de todas as inspeções realizadas.

Além dos resultados já citados, outros resultados puderam ser observados:

- ✚ A aplicação do *Pack SmartQuality* possibilitou à C-pack substituir a folha de coleta de dados de inspeção (na qual os registros eram feitos em papel), pelo uso direto, pelos inspetores, do aplicativo para registro dos defeitos. Na situação antiga, com os registros em papel, por indisponibilidade de pessoal, não era realizada nenhuma análise dos dados de inspeção. Com o aplicativo, os dados passaram a ser visualizados em tempo real;
- ✚ A implantação deu início ao processo de criação de cultura de análise de defeitos e suas respectivas causas, visando a melhoria contínua através de dados da qualidade;
- ✚ O registro dos dados de inspeção, arquivados e de fácil acesso através do *Pack SmartQuality*, possibilitou à C-Pack mostrar evidências da realização das inspeções para seus clientes;

Ainda em relação à aplicação do *Pack SmartQuality* ressalta-se que, durante a implantação na C-Pack, o sistema foi mais atuante na correção dos problemas, conforme relatado neste trabalho. Entretanto, sua capacidade de registrar o conhecimento dos produtos e processos, representá-lo de forma sistematizada, expandi-lo e reaproveitá-lo de forma otimizada, passa com o tempo e uso a auxiliar a C-Pack a atingir um estágio mais avançado da garantia qualidade, na qual será capaz de atuar de forma preventiva e atingir a qualidade desejada desde a primeira vez.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

O trabalho realizado junto à C-Pack mostrou-se de grande valia e com potencial de geração de soluções adicionais para otimização do processo de

planejamento e realização das atividades de inspeção e controle da qualidade. Como sugestões de ações de continuidade, pode-se citar:

- ✚ Realização de estudos para análise detalhada da solução ideal para controle dimensional, considerando as características de inspeção on-line e inspeção off-line;
- ✚ Desenvolvimento de um projeto para melhoria do conhecimento metrológico dos colaboradores da C-Pack;
- ✚ Detalhamento do aplicativo desenvolvido visando a integração com outras ações em andamento na empresa;
- ✚ Aprimoramento do aplicativo no sentido de possibilitar a inserção de informações relacionadas às características e controles das máquinas, possibilitando à empresa a melhoria do controle de processo, permitindo a redução da inspeção em produto;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] LINS, B. E. **Breve história da engenharia da qualidade**. Disponível em: < <http://www.cin.ufpe.br/~bslb/CITi/Curso%20Qualidade/cd1206.pdf>>. Acesso em 27 ago. 2008.
- [2] WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; RODOS, D. **A máquina que mudou o mundo**. Rio de Janeiro : Campus, 1992.
- [3] BLACK, J. T. **O projeto da fábrica com futuro**. Porto Alegre, 1998. 281p.
- [4] LUCERO A. G. R. **Um método de otimização para a programação da manufatura em pequenos lotes**. Florianópolis, 2001, 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Santa Catarina.
- [5] JURAN, J. M.; GRZYNA, F. M.; BINGHAM, R. S. **Quality Control Handbook**. USA: McGraw-Hill, Inc, 1979. 3rd Edition.
- [6] DORO, M.M. **Solução integrada para assistir a inspeção da qualidade na produção em pequenos lotes**. Florianópolis, 2008, Feira e congresso Usinagem 2008.
- [7] PFEIFER, T.; TORRES, F. **Manual de Gestión e Ingeniería de la Calidad**. Mira Editores, Zaragoza: España, 1999, 2ª Edición, 589p.
- [8] FUNDAÇÃO CERTI. **Curso Avançado de Metrologia para Gestores Industriais**. Florianópolis, 2007.
- [9] LIKER, K. J.; MEIER, DWOMACK. **O Modelo Toyota – Manual de Aplicação**. Editora Bookman, Porto Alegre, 2007. 430 p.
- [10] ULRICH, K.T; EPPINGER, S.D. **Product Design and Development**, fourth edition, McGraw-Hill/Irwin, 2007.

- [11] INSTITUTO DA QUALIDADE AUTOMOTIVA. **APQP - Planejamento Avançado da Qualidade do Produto e Plano de Controle**. 1997. Manual de Referência.
- [12] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO / QS 9000, Quality Systems Requirements**, third edition, 1998
- [13] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO / TS 16949: Particular requirements for the application of ISO 9001:2000 for automotive production and relevance service part organizations**, 2002.
- [14] PFEIFFER, G. **Uma metodologia para determinação da necessidade de inspeção na manufatura**. Florianópolis, 1999, 70 f. Dissertação (Mestrado em Metrologia Científica e Industrial), Universidade Federal de Santa Catarina.
- [15] IRANI, S. A. **Challenges of Implementing Lean in a Job Shop**. Next Generation Manufacturing. January, 2006. Disponível em: <<http://mfg-research.blogspot.com/2006/01/challenges-of-implementing-lean-in-job.html>> Acesso em: 27 ago 2008.
- [16] SILVA, A.C. **Uma sistemática para garantia da qualidade metrológica aplicada em ambiente industrial**. Florianópolis, 2005, 95 f. Dissertação (Mestrado em Metrologia Científica e Industrial), Universidade Federal de Santa Catarina.
- [17] **MSA Measurement Systems Analysis**, England: Chrysler, Ford and General Motors, third edition, 2002.
- [18] WHEELER, D.J, LYDAY, R.W. **Evaluating the measurement process**. second edition, 113 p, 1989.
- [19] BENBOW, D. W.; BERGER, R. W.; ELSHENNAWY, A. K.; WALKER, H. F. **The Certified Quality Engineer Handbook**. USA: ASQ Quality Press Milwaukee, Wisconsin, 2002.
- [20] PEREIRA, F.A. **Desenvolvimento de um método para suporte ao planejamento do processo de fabricação e garantia da qualidade de**

- empresas do ramo metal-mecânico.** Florianópolis, 2004, 106 f. Dissertação (Mestrado em Metrologia Científica e Industrial), Universidade Federal de Santa Catarina.
- [21] SLACK, N., CHAMERS, S., et al. **Administração da Produção.** 1.ed. São Paulo: Atlas, 1997. 726p.
- [22] FUNDAÇÃO CERTI. **Sistema de Desenvolvimento de Soluções – Descritivo Executivo.** Florianópolis, 2007, 8 p.
- [23] HUNT, E. K. **História do pensamento econômico.** 7. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1981. 218 p.
- [24] BOLWIJNT, P. T.; KUMPE, T. **Manufacturing in the 1990s: productivity, flexibility and innovation.** v. 23, n. 4, Long Range Planning, 1990.
- [25] MAHONEY, R. M. **High-Mix Low-Volume Manufacturing.** New Jersey: Pertince Hall, 1997. 222 p.
- [26] JURAN, J.M. **Na Liderança pela Qualidade: um guia para executivos.** 2°ed, Livraria Pioneira Editora, São Paulo, 1990, 386 p.
- [27] JONES, D. T.; WOMACK, J. P.; FERRO J. R. **A Mentalidade Enxuta nas Empresas: Elimine o Desperdício e Crie Riqueza** Rio de Janeiro: Campus; 2004. 432p.
- [28] HUTCHINS, G. B. **Introduction to Quality Control, Assurance, and Management.** USA: Macmillan Publishing Company, New York, 1991. 289 p.
- [29] DONATELLI, G. D. **Introdução à Garantia da Qualidade das Medições de Produção.** Joinville, SC. 2006. 97 p. Apostila do curso Análise do Sistema de Medição – MSA