

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Programa de Pós-Graduação em Metrologia Científica e
Industrial

UMA METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DA
NECESSIDADE DE INSPEÇÃO NA MANUFATURA

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

Autor: Günther Pfeiffer

Orientador: Prof. Dr.-Ing. Carlos Alberto Schneider

Co-orientador: Dr.-Ing. Reinhard Freudenberg

Florianópolis
Santa Catarina - BRASIL
Julho 1999

UMA METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DA NECESSIDADE DE INSPEÇÃO NA MANUFATURA

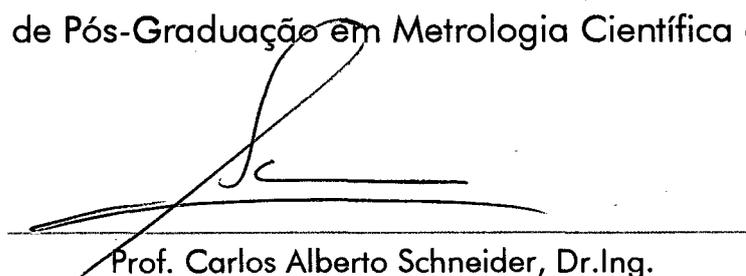
Günther Pfeiffer

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de

"MESTRE EM METROLOGIA"

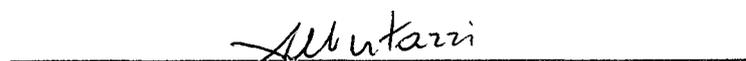
e aprovada na sua forma final pelo

Programa de Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial



Prof. Carlos Alberto Schneider, Dr.Ing.

ORIENTADOR



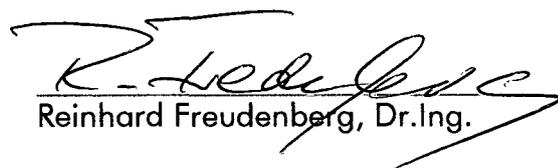
Armando Albertazzi Gonçalves Jr., Dr. Eng.

COORDENADOR DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO

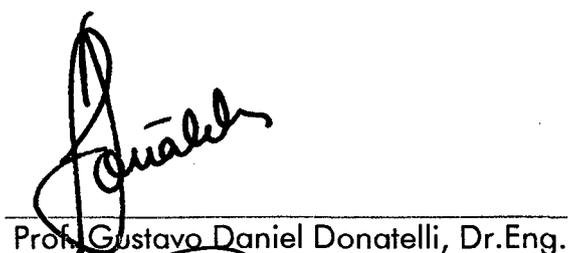
BANCA EXAMINADORA



Prof. Armando Albertazzi Gonçalves Jr., Dr.Eng.



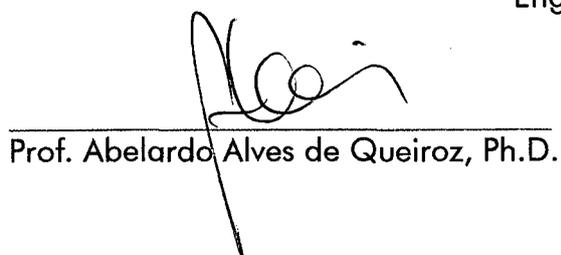
Reinhard Freudenberg, Dr.Ing.



Prof. Gustavo Daniel Donatelli, Dr.Eng.



Eng.º Luiz Tavares de Carvalho, Esp. Adm./Eng. Ind.



Prof. Abelardo Alves de Queiroz, Ph.D.

*O que atenta para o ensino, acha o bem,
e o que confia no Senhor, esse é feliz.*

Provérbios 16, 20

ESCLARECIMENTOS

Este trabalho é fruto de uma exitosa interação tecnológica entre a Fundação CERTI e o Lehrstuhl für Fertigungsmeßtechnik und Qualitätsmanagement (MTQ) do Werkzeugmaschinenlabor (WZL) da RWTH-Aachen/Alemanha. Parte expressiva deste trabalho foi desenvolvida no WZL por um período de seis meses, em interação com o Projeto SFB 361 - "Integrierte Produkt und Prozeßmodelle" daquela instituição.

A orientação geral deste trabalho foi realizada pelo Prof. Dr. Ing. Carlos Alberto Schneider, e a orientação técnico-científica da parte do trabalho desenvolvida no WZL foi realizada pelo Dr. Ing. Reinhard Freudenberg, engenheiro chefe da área de Metrologia Industrial e Gestão da Qualidade (MTQ) do WZL.

À viabilização deste trabalho na Alemanha contribuíram de forma expressiva a Fundação CERTI, o Projeto de Cooperação Tecnológica Bilateral Brasil-Alemanha da Fundação CERTI e Physikalisch-technische Bundesanstalt (PTB) – Braunschweig, o WZL/MTQ e a Fundação Alfried Krupp von Bohlen und Halbach Stiftung.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com a contribuição singular de várias instituições e pessoas, às quais desejo expressar meus sinceros agradecimentos:

À Fundação CERTI, que apoiou mesmo em tempos difíceis a execução deste trabalho;

Ao WZL, pela oportunidade de interagir com sua equipe técnica, discutir intensamente conceitos e testá-los junto a empresas de referência em seu país;

À fundação Krupp, que financiou parte da estada na Alemanha;

Ao projeto de Cooperação CERTI-PTB que viabilizou importantes contatos com especialistas na área;

Ao Prof. Carlos Alberto Schneider, pelo incentivo e a orientação na condução do trabalho;

Ao Dr. Ing. Reinhard Freudenberg, pelo conjunto de oportunidades que viabilizou para que este trabalho pudesse se tornar exitoso;

À Cacilda Loch, Mário Albuquerque e Christiano Kurt Ritzke, cujas habilidades de editoração enriqueceram a apresentação deste trabalho;

A meus pais, a quem devo o privilégio de ter sido amado e incentivado todo novo dia.

Dedico este trabalho a minha querida esposa Susan, que sem medida me incentivou e partilhou comigo esta longa caminhada como verdadeira companheira, juntamente com Petra e Aline, minhas compreensivas filhas.

Louvo e agradeço a Deus pela Vida e Esperança que ele tem prometido e concedido.

Muito Obrigado!

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE ABREVIATURAS.....	IX
RESUMO.....	XI
ABSTRACT.....	XIII
ZUSAMMENFASSUNG.....	XV
1 INSPEÇÃO DA QUALIDADE: UMA COMPONENTE DA COMPETITIVIDADE INDUSTRIAL.....	1
1.1 CENÁRIO COMPETITIVO DE PRODUTOS INDUSTRIAIS	1
1.2 QUALIDADE DO PRODUTO E QUALIDADE DO PROCESSO	3
1.3 AVALIAÇÃO E INSPEÇÃO DA QUALIDADE	5
1.4 PLANEJAMENTO DA INSPEÇÃO.....	9
1.5 PROPOSTA DE EVOLUÇÃO NO PLANEJAMENTO DA INSPEÇÃO.....	11
2 CENÁRIO DA GARANTIA DA QUALIDADE: SOLUÇÕES INTEGRADAS.....	13
2.1 O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO.....	15
2.2 PLANEJAMENTO DA QUALIDADE	17
2.2.1 PLANEJAMENTO DA QUALIDADE DO PRODUTO.....	19
2.2.2 PLANEJAMENTO DA QUALIDADE DO PROCESSO.....	20
2.3 MÉTODOS E FERRAMENTAS DE SUPORTE À GARANTIA DA QUALIDADE	21
2.4 FERRAMENTAS DA ENGENHARIA DA QUALIDADE	23

2.5	CARACTERÍSTICAS NECESSÁRIAS A UMA METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DA NECESSIDADE DE INSPEÇÃO.....	25
3	METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DA NECESSIDADE DE INSPEÇÃO.....	27
3.1	ANÁLISE DA METODOLOGIA SOB A ÓPTICA DA CAIXA PRETA	27
3.1.1	DADOS DE ENTRADA.....	29
3.1.1.1	OS CARACTERÍSTICOS PRÉ-SELECIONADOS.....	31
3.1.1.2	AS CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO.....	33
3.1.1.3	EFEITOS DA NÃO CONFORMIDADE.....	34
3.1.2	INFORMAÇÕES DE SAÍDA	34
3.2	DESCRIÇÃO DO MÉTODO.....	35
3.2.1	O SUBSISTEMA "DETERMINAÇÃO DA RELEVÂNCIA DO CARACTERÍSTICO"	36
3.2.2	O SUBSISTEMA "AVALIAÇÃO DO RISCO DO PROCESSO"	41
3.2.3	O SUBSISTEMA "DETERMINAÇÃO DA NECESSIDADE DE INSPEÇÃO".....	43
4	INTEGRAÇÃO DA METODOLOGIA NA GARANTIA DA QUALIDADE.....	48
4.1	POSICIONAMENTO DA METODOLOGIA NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS.....	48
4.2	INTERFACES COM ÁREAS CORRELATAS	50
4.3	FORMAS DE UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA.....	53
4.4	AÇÕES PARA A CONSOLIDAÇÃO DA METODOLOGIA NA PRÁTICA.....	60
5	CONCLUSÕES.....	63
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Evolução do cenário entre fornecedor e cliente.....	5
Figura 2.1: A contribuição do desenvolvimento integrado de produtos no cenário da competitividade.....	13
Figura 2.2: Evolução dos enfoques da qualidade.....	14
Figura 2.3: Fases no desenvolvimento do produto e seus correspondentes setores da empresa.....	16
Figura 2.4: Incidência de falhas no desenvolvimento de um produto.....	18
Figura 2.5: Posicionamento relativo de métodos da engenharia da qualidade.....	23
Figura 3.1: Áreas e processos envolvidos na seleção de características a inspecionar...28	
Figura 3.2: Modelo de sistema da metodologia.....	28
Figura 3.3: Informações para avaliação da necessidade de inspeção.....	29
Figura 3.4: Subsistemas para a definição da necessidade de inspeção.....	36
Figura 3.5: Determinação da relevância do característico.....	38
Figura 3.6: Critérios e pontuação para determinação da relevância do característico...40	
Figura 3.7: Sistemática de avaliação do risco do processo.....	42
Figura 3.8: Critérios de avaliação do risco do processo.....	43
Figura 3.9: Matriz de decisão.....	44
Figura 4.1: Ciclos de realimentação da qualidade no desenvolvimento de produtos.....	49
Figura 4.2: Áreas envolvidas na determinação da necessidade de inspeção.....	51
Figura 4.3: Fontes e meios de informação de entrada para a metodologia.....	53
Figura 4.4: Uso convencional da metodologia.....	55
Figura 4.5: Sistemática de operação da metodologia.....	56
Figura 4.6: Exemplos de possibilidades de uso da metodologia.....	57
Figura 4.7: Uso da metodologia como ferramenta da garantia da qualidade.....	59

LISTA DE ABREVIATURAS

APQP	Advanced Product Quality Planning
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAPP	Computer Aided Process Planing
CAQ	Computer Aided Quality Management
CAx	Computer Aided Activity
CEP	Controle Estatístico de Processo
$C_{p, C_{pk}, C_{pm}, C_{pmk}}$	Índices de Capabilidade de Processo
DGQ	Deutsche Gesellschaft für Qualität e.V. (Associação Alemã para Qualidade)
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V. (Instituto Alemão para Normalização)
DoE	Design of Experiments
DR	Design Review
EDM	Engineering Data Management
ES	Engenharia Simultânea
ETA	Event Tree Analysis
f	Função transferência
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
FTA	Failure Tree Analysis
ISO	International Organization for Standardization
IT	Intervalo de Tolerância
NBR	Norma Brasileira

NI	Necessidade de Inspeção
PDM	Product Data Management
PPAP	Production Part Approval Process
QFD	Quality Function Deployment
QS	Quality System
RC	Relevância do Característico
ROI	Return of Investment
RP	Risco do Processo
SQ	Sistema da Qualidade
STEP	Standard for the Exchange of Product Model Data
TD	Tolerance Design
U	Incerteza de Medição Expandida
WEA	Weibull -Analysis

RESUMO

A realização segura e econômica da Inspeção da Qualidade de produtos industriais manufaturados, assim como de seus processos fabris, demanda um adequado planejamento do processo de inspeção. Na prática industrial, inspeções são comumente definidas, sem a realização de uma análise direcionada e sistemática quanto a sua real necessidade, levando a excessos e/ou insuficiências. Principal fator responsável para tal é o ainda baixo grau de interação entre as áreas do planejamento do produto, planejamento do processo de manufatura, da produção e da assistência técnica, que são provedores de informações e partícipes ativos para uma adequada definição de características passíveis de inspeção. Tanto o excesso como a falta de inspeção pode levar a expressivas perdas a nível de qualidade do produto e de produtividade no processo produtivo, inibindo o processo de ganho de competitividade.

Este trabalho apresenta uma metodologia para a determinação da necessidade de inspeção na manufatura, com aplicação primordial na indústria metal-mecânica produtora de peças e subsistemas.

Na forma de um modelo conceitual, a metodologia propõem a inspeção ou não inspeção de um característico de produto ou de processo, a partir da correlação de um grau de importância que lhe é atribuído e o potencial risco de não conformidade que o processo que o gera apresenta. Utiliza-se para tal, dos princípios da engenharia simultânea, integrando áreas funcionais da empresa, sistematizando a transferência de informações nas interfaces entre os processos e paralelizando etapas no ciclo de desenvolvimento do produto.

A metodologia define uma "Matriz de Decisão" a partir da qual, em razão da correlação da relevância do característico e do risco do processo, é determinada a necessidade ou não da inspeção do característico em análise. A "Relevância do Característico" representa o grau de importância do característico/entidade, e é determinada a partir das especificações de requisitos do produto e respectivos desdobramentos, dados históricos de produto e de processo de manufatura e produção, assim como de informações vindas da área de assistência técnica e pós-venda. O potencial risco de não conformidade de um característico, denominado "Risco do Processo", é obtido a partir de informações do planejamento do processo de manufatura e da produção, de dados

históricos e curvas de experiência do processo fabril e de inspeção da qualidade. Métodos estatísticos, técnicas de avaliação de risco e análise de valor são utilizadas como ferramentas para enquadramento do característico nos critérios estabelecidos, posicionando-o nos respectivos campos da matriz de decisão. Esta é formada pela combinação matricial de baixa, média e elevada relevância do característico com elevado, médio e baixo risco do processo. A metodologia apresenta como informação de saída se há ou não necessidade da inspeção do característico em análise.

Além de sistematizar o processo de definição da necessidade de inspeção, oportuniza também, através das várias combinações possíveis entre "relevância" e "risco", uma análise ágil para a definição de estratégias de otimização no projeto do produto, no planejamento do processo fabril e no processo de produção, com vistas a uma minimização do volume de inspeções a partir de razões técnicas ou econômicas.

A validação da metodologia em relação a uma referência, uma análise de sua relação custo-benefício frente aos métodos tradicionais e sua implementação em forma de uma ferramenta informatizada, compreendem as ações sugeridas para a continuidade deste trabalho.

ABSTRACT

The safe and economic Quality Inspection accomplishment in industrial products manufactured, as well as its industrial processes, demands appropriate inspection process planning. In the industry, inspections are commonly defined, without a systematic analysis accomplishment for its real necessity, taking to excesses and/or insufficiencies. The main factor for this is still low interaction among product design planning, manufacturing process and production planning, the production process and the technical attendance areas. There are important information providers and your active participation for an appropriate inspection characteristics definition in the manufacture is fundamental. So much the excess as the lack of inspection can bring expressive losses to the product quality and productivity in the productive process, and so, company competitive capacity.

This work presents a methodology for the determination of the inspection necessity in the manufacture, with primordial application in the metal-mechanics industry, which produces parts and subsystems.

In a conceptual model form, the methodology defines inspection necessity or not in product or process characteristics, starting from the importance degree correlation that is attributed to it and the non-conformity potential risk that the process generates it presents. The methodology uses the principles simultaneous engineering, integrating functional areas in the company, systematizing the information transfer in the interfaces between the processes and paralleling stages in the product development cycle.

The methodology define a "Decision Matrix" that, in the characteristic relevance correlation reason and process risk is determined or not inspection necessity of the characteristic in analysis. The "Characteristic Relevance" represents the characteristic importance degree and is determined by the product requirements specifications and respective unfolding, product and process historical data, as well as information coming from technical attendance and after-sales areas. The non-conformity potential risk of a characteristic, denominated "Process Risk", is obtained

from manufacturing information and production process planning, historical data and production process experience curves and quality inspection. Statistical methods, risk evaluation techniques and value analysis are used as tools for classifying in the established approaches, positioning the characteristic in the respective decision matrix fields, formed by the combination of low, medium and high characteristic relevance with high, medium and low process risk. The methodology presents as exit information if there is or not inspection necessity of the characteristic in analysis.

Besides systematize the definition process of the inspection necessity, it also propitiates through the several possible combinations between "relevance" and "risk", an agile analysis for the strategy definition in the product design improvement, manufacturing process planing, and production process with views to a inspection minimization for technical or economic reasons.

The methodology validation in relation to a reference, an cost-benefit analysis relationship front to the traditional methods and its implementation in form of a computerized tool are the actions suggested for the continuity of this paper.

ZUSAMMENFASSUNG

Eine sichere und wirtschaftliche Prüfung von Produkt- und Prozeßmerkmalen zur Herstellung von Produkten setzt eine angemessene Prüfplanung voraus. In der industriellen Praxis werden häufig Prüfungen festgelegt ohne eine gezielte und systematisierte Analyse der realen Notwendigkeit, so daß eventuell unzureichend oder überflüssig geprüft wird. Als ein wesentlicher Grund dazu, kann die noch unzureichende Zusammenarbeit der Bereiche Produktplanung, Fertigungsplanung, Produktionsplanung und After-Sales genannt werden, da diese wesentlich mit Informationen zur Bestimmung der Prüfnotwendigkeit beitragen, und mitbestimmende Funktionen übernehmen. Unzureichende oder überflüssige Prüfungen können zu bedeutenden Verlusten der Produktqualität und der Produktivität führen, und so zu einer Beeinträchtigung des Wettbewerbsfaktors des Produktes und des Unternehmens beitragen.

Diese Arbeit stellt eine Methode zur Bestimmung der Prüfnotwendigkeit in der Fertigung vor, deren Einsatz schwerpunktmässig in der Metallverarbeitende Industrie, zur Herstellung von Teilen und Produkten liegt.

Die entwickelte Methode, in Form eines konzeptionellen Modells, führt zu der Prüfentscheidung (Prüfen oder Nicht-Prüfen eines Merkmales, aufbauend auf einer Korrelation zwischen der Wichtigkeit des Merkmals und seines Herstellrisikos. Der Methode werden die Grundlagen des Simultaneous Engineering zugrunde gelegt, die eine Integration der funktionalen Bereiche in dem Unternehmen, den Informationstransfer in den Schnittstellenbereichen der Produktentwicklungsprozessen fördern, und Arbeitsprozesse zu parallelen Ablauf führt.

In der Methode ist eine Entscheidungsmatrix strukturiert, die durch eine Korrelation der "Relevanz des Merkmals" und des "Prozeßrisikos", die Notwendigkeit zur Prüfung eines Merkmals ermittelt. Die Relevanz des Merkmals bestimmt seine Wichtigkeit, und wird von den Produkt- und Prozeßspezifikationen und den Konsequenzen dessen Nicht-Erfüllung abgeleitet. Dazu werden Informationen aus den Bereichen der Produktplanung, der Prozeßplanung, Produktion, Qualitätssicherung und Service analysiert und verarbeitet. Das Risiko einer Nicht-Gewährleistung der Konformität des Merkmals wird als "Prozeßrisiko" in der Methode definiert. Diese wird anhand von Informationen aus den

Bereichen der Prozeß- und Produktionsplanung, und mittels Kennwerten aus der Fertigung und der Qualitätssicherung ermittelt. Statistische Methoden, Techniken zur Risikoanalyse und zur Wertanalyse werden zur Bestimmung und der Positionierung des Merkmals in den Feldern der Entscheidungsmatrix eingesetzt. Die Kombination der Positionen "Klein", "Mittel" und "Groß" für die Relevanz des Merkmals mit "Hoches", "Mittel" und "Geringes" Herstellrisiko, bestimmen neun Felder, denen entsprechende Bestimmungen (Prüfen oder nicht Prüfen) zugeteilt sind.

Zusätzlich zu der Bestimmung der Prüfnotwendigkeit, ermöglicht die Methode auch die Analyse potentieller Strategien zur Optimierung der Produktkonzeption, Prozeß- und Produktionsplanung im Falle einer durch technisch- oder ökonomisch bedingten Einschränkung zur Prüfung.

Die Validierung der Methode, eine Kosten-Nutzen-Analyse des Einsatzes der Methode im Vergleich zu derzeit eingesetzten Verfahren, und die Implementierung der Methode in Form eines Software-Tools können als Nachfolgearbeiten empfohlen werden.

1 INSPEÇÃO DA QUALIDADE: UMA COMPONENTE DA COMPETITIVIDADE INDUSTRIAL

Diz um clássico ditado: "Só o que é mensurável pode ser melhorado". Melhorar continuamente é o caminho da sobrevivência das empresas, impulsionado pela necessidade de satisfazer o "cliente", que assume posição cada vez mais determinante no direcionamento dos mercados e na determinação dos produtos que são fabricados. O princípio vale para todas as empresas que disputam mercados cada vez mais dinâmicos e concorridos, cada qual buscando assegurar sua posição e seu crescimento. Medir torna-se portanto um elemento central nas ações em busca da satisfação do cliente e na conquista de espaços maiores no mercado. A medição viabiliza a quantificação de grandezas necessárias à geração de um bem ou serviço, subsidiando com informações o planejamento, a produção e o gerenciamento dos processos que os produzem.

1.1 CENÁRIO COMPETITIVO DE PRODUTOS INDUSTRIAIS

A realidade de competição do mercado, exige das indústrias um esforço expressivo para produzir bens e serviços qualitativamente cada vez melhores, a preços compatíveis e com disponibilização para o mercado no momento adequado. A globalização, tanto do ponto de vista do consumo quanto da produção, vem rompendo continuamente barreiras geográficas, culturais e tarifárias, contribuindo para que a competitividade se torne a cada dia maior. Assim, a oferta de produtos nos mercados globalizados vem oportunizar ao consumidor, optar pela melhor relação custo-benefício na aquisição e uso de bens e serviços.

Fator determinante entre outros, para empresas manterem e solidificarem sua posição neste mercado, é o aumento da eficiência e eficácia de seu processo de desenvolvimento de produtos, contemplando três aspectos determinantes para a competitividade:

- “qualidade” do produto;
- “custo” do produto e
- “tempo” para disponibilizar o produto ao mercado.

Cada vez mais o fator de competitividade “qualidade intrínseca do produto” passa a ser componente forte na decisão de compra do consumidor, seja em produtos baratos ou caros, tecnologicamente mais ou menos elaborados, de forma que o desafio da produção com qualidade existe e crescerá em todos os segmentos industriais no contexto da globalização. Se no passado ainda fora possível associar diretamente o nível da qualidade de um produto ao seu custo, hoje cada vez mais, disponibilizam-se no mercado produtos com níveis expressivos de qualidade a custos cada vez menores, de forma que o fator de competitividade “custo final do produto” se torna uma segunda componente essencial, que deve ser projetada, obtida e gerenciada ao longo de todo o processo de desenvolvimento de um produto.

Também o fator de competitividade “tempo” vem assumindo expressividade maior na disputa pelo mercado /1, 2/. Não mais apenas o custo e a qualidade são fatores determinantes por si só, mas cada vez mais se torna indispensável um desenvolvimento rápido e a disponibilização do produto ao mercado no momento adequado – “Time-to-Market”, em geral o mais cedo possível /3, 4/.

A conjugação destes três fatores de competitividade exigem da empresa um esforço técnico e gerencial integrado, com o envolvimento de todas as áreas, uma vez que em todas elas existem potenciais a serem utilizados para o aumento da eficiência dos processos, redução de custos, otimização de tempos, minimização de desperdícios, ganhos de produtividade e inovação. Mudanças de paradigmas se fazem necessárias, a exemplo da cultura do “fazer” para o “planejar e fazer”, investindo mais no planejamento das ações, em benefício de uma redução das ações corretivas pós-processo. Assim também, não mais encontrar o “cliente para o produto já desenvolvido”, mas sim desenvolver o “produto orientado ao cliente” torna-se necessário às empresas competitivas. A implantação de times interfuncionais em busca de uma maior sinergia, assim como a integração de ações de caráter de planejamento e de

implementação passam a ser necessárias interna e externamente às empresas na busca da sobrevivência no mercado.

Orientação ao cliente, especialmente no setor de bens de consumo e produtos tecnológicos, demanda estruturas de produção suficientemente flexíveis, na medida em que a diversidade de produtos e modelos de produtos exigidos e absorvidos pelo mercado se torna cada vez maior e com ciclo de vida cada vez menores. Por consequência, os lotes de produção tendem a ser cada vez menores e mais diversificados.

Flexibilidade para atender as demandas do mercado por um lado, produtos e processos robustos para garantir a qualidade por outro, obrigam as empresas a investirem cada vez mais no planejamento, na sistematização e no domínio de seus processos e produtos, utilizando-se do suporte de métodos, ferramentas e sistemas da qualidade.

1.2 QUALIDADE DO PRODUTO E QUALIDADE DO PROCESSO

O conceito de qualidade relacionado ao produto evoluiu rapidamente ao longo do tempo, passando a compreender crescentemente não apenas o produto final e suas características, mas cada vez mais também os processos e suas características bem como os meios de produção, sistemas de gerenciamento e as pessoas envolvidas /1, 4/.

Planejar a qualidade do produto compreende definir os requisitos que o produto deve atender, orientados pelos requisitos identificados como importantes para o cliente, em consonância com a viabilidade técnica e econômica para sua produção /1/. Na determinação dos requisitos dos produtos, além dos requisitos convencionais como funcionalidade, geometria, materiais, estética e ergonomia, cada vez mais passam a ser considerados também requisitos relacionados ao desempenho do produto, segurança no uso, confiabilidade e vida útil /4, 5, 6/.

Com o advento dos sistemas da qualidade e da percepção de que qualidade de produto e qualidade de processo estão intrinsecamente relacionadas, cresceu também o entendimento da necessidade de "planejar e produzir a qualidade" /1/. Planejar e

produzir a qualidade de um produto compreende planejar, operacionalizar e controlar também os processos geradores do produto a tal ponto, que os requisitos da qualidade estejam sendo plenamente atendidos. O domínio dos processos envolvidos influi portanto, diretamente na qualidade final do produto.

O planejamento da qualidade do processo compreende os meios de produção, os recursos humanos associados e a gestão dos processos /1/. Com um cenário que aponta para um futuro com ênfase na diversificação e sofisticação tecnológica de produtos, lotes de produção menores, processos tecnologicamente mais avançados, redução de custos e de tempos de reação, terceirização crescente e intensificação da certificação da qualidade, o planejamento e a avaliação da qualidade dos processos tornar-se-á cada vez mais necessário dentro da própria empresa. Esta necessidade ocupará também cada vez mais, espaço nas relações entre cliente e fornecedor.

Se por um lado se observa na dinâmica das relações cliente-fornecedor o repasse de atividades e responsabilidades de empresas consideradas montadoras/integradoras para seus fornecedores, conforme mostrado na figura 1.1, faz-se por outro lado, cada vez mais necessário uma forte interação entre fornecedor e cliente, com vistas à otimização dos processos de planejamento do produto e da produção, atendendo assim aos requisitos da qualidade estabelecidos, redução de custos e otimização de tempos de fornecimento.

Na interface fornecedor-cliente os sistemas da qualidade tem sido um instrumento importante para minimizar as lacunas entre a qualidade desejada e a qualidade obtida. Estas lacunas devem ser ainda mais minimizadas através de um maior e contínuo investimento em ações de planejamento, assim como um tratamento integrado da qualidade do produto e do processo. Estas ações demandam uma adequação das estruturas organizacionais clássicas e de métodos de trabalho nas empresas, em direcionando-os de forma a permitirem um fluxo contínuo e integrado de informações entre áreas funcionais, departamentos e/ou processos envolvidos na geração de um produto. Faz-se necessário um ágil e sistemático desdobramento dos requisitos da qualidade identificados junto ao mercado/cliente para todo o ciclo de desenvolvimento

do produto. Cada vez mais, times com uma atuação interfuncional estão desafiados a produzir produtos e processos robustos, capazes em atender aos requisitos especificados a custos aceitáveis para o consumidor. Uma componente importante que deve integrar este trabalho interfuncional e multidisciplinar é o planejamento da inspeção da qualidade, discutido no item a seguir.

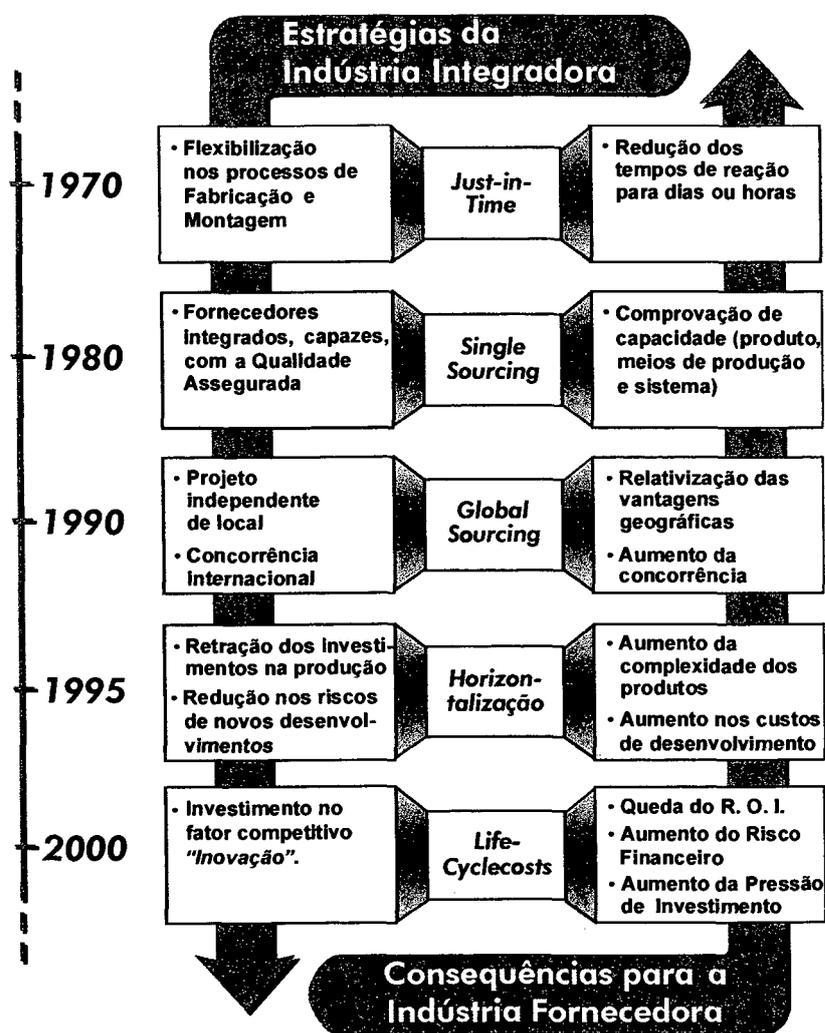


Fig. 1.1: Evolução do cenário entre fornecedor e cliente. Adaptado de Redecker /7/.

1.3 AVALIAÇÃO E INSPEÇÃO DA QUALIDADE

A importância do fator "Qualidade" leva à necessidade de uma adequada avaliação do produto e seus processos associados em todas as fases do desenvolvimento de um

produto. Esta é necessária devido ao grande número de variáveis que afetam sistemática ou aleatoriamente os processos, provocando desvios que podem ser relevantes, distanciando os resultados planejados dos resultados obtidos. A magnitude destes desvios deve ser mensurada, a ponto de permitir uma objetiva avaliação e conseqüentes encaminhamentos.

A avaliação da qualidade é um processo que se estende por todas as fases do desenvolvimento de um produto, podendo ser realizada por meio de:

- técnicas de revisão de projeto.
- auditorias de produtos, de processo e de sistemas da qualidade,
- medições, inspeções e/ou testes em peças, em produtos, em meios de produção e em processos,
- controle estatístico.

O conceito de avaliação da qualidade segundo a norma brasileira NBR ISO 8402 /8/ compreende o "exame sistemático para determinar até que ponto uma entidade é capaz de atender os requisitos especificados". Este conceito é abrangente, de forma a compreender a capacidade de um produto, de um processo, de uma pessoa, sistema, organização ou combinação destes, de atender os requisitos especificados.

Esta mesma norma (NBR ISO 8402 /8/) define a "Inspeção" como sendo uma "atividade tal como medição, exame, ensaio, verificação com calibres ou padrões, de uma ou mais características de uma entidade, e a comparação dos resultados com requisitos especificados, a fim de determinar se a conformidade para cada uma dessas características é obtida". Na conceituação de Paladini /9/, "a inspeção da qualidade é um processo que busca identificar se uma peça, amostra ou lote atende determinadas especificações da qualidade. Desta forma, a inspeção avalia o nível da qualidade de uma peça, comparando-a com um padrão estabelecido". Esta inspeção é sempre relacionada diretamente a um característico que necessita ser avaliado, e que é determinado/especificado nas fases de concepção e planejamento, quer do produto quer do processo fabril e de produção.

Segundo /9/, "a atividade de inspeção da qualidade é a mais importante do sistema de avaliação da qualidade de um processo industrial. Ao avaliar a qualidade de um produto ou processo, a inspeção acaba por desempenhar sua função básica: a de detectar defeitos". Este trabalho adotará o conceito de inspeção da qualidade segundo a definição de Paladini /9/, extendendo-o à avaliação de produto e também de processos, com vistas a uma atuação com foco prioritário na prevenção de falhas em todo o ciclo de desenvolvimento do produto.

Segundo Pfeifer /1/, as atividades relacionadas à inspeção da qualidade podem ser divididas em cinco grupos, que compreendem:

- o planejamento: onde são definidos os característicos a inspecionar e gerados os planos de inspeção,
- a ordem/pedido de inspeção: onde são gerados/formalizados e encaminhados os pedidos/ordens de inspeção,
- a execução: onde são realizadas as inspeções, coletados e armazenados os dados das medições,
- o processamento dos resultados: onde os dados adquiridos são filtrados, processados e os resultados avaliados,
- a sistematização e armazenamento dos resultados: onde os resultados são encaminhados aos respectivos receptores para ações de continuidade (ações corretivas, registros, comprovações junto a clientes) e/ou arquivamento.

Analogamente às decisões tomadas por ocasião do planejamento e projeto de um produto, é na fase do planejamento da inspeção que são tomadas decisões com importantes desdobramentos para o nível da qualidade e para os custos que a empresa terá para manter a qualidade preconizada. Destas decisões derivam também a quantificação da equipe técnica, da infra-estrutura física e procedural necessária à empresa para viabilizar a avaliação da qualidade na quantidade, nos níveis de confiabilidade e nos prazos estabelecidos.

O planejamento da inspeção visa garantir primordialmente que a inspeção seja realizada de forma segura (suficientemente abrangente e confiável) e econômica. O planejamento da inspeção tem como principal resultado o plano de inspeção, que define o que deve ser inspecionado, bem como todas as associadas decisões para sua operacionalização. Adicionalmente, o planejamento oportuniza uma grande interação entre as áreas de projeto e produção, que comumente trocam poucas informações, o que com grande frequência leva a falta ou a duplicidade de ações e a perda de importantes efeitos sinérgicos na busca da conformidade.

Cada vez mais, o desafio de todo o processo de inspeção é sua integração /10, 11/ num processo contínuo de ação preventiva /12/ contra defeitos e falhas, e sua contribuição ativa na identificação de ações corretivas e de melhoria, quer a nível do produto ou a nível de processo que gera o produto. Este é o caminho para uma efetiva agregação de valor da metrologia e da inspeção da qualidade no desenvolvimento de produtos. Corretamente desenvolvida, a inspeção viabiliza uma análise objetiva para determinação de ações corretivas e de melhoria que devem ser levadas a termo para garantir níveis aceitáveis da qualidade.

A inspeção está sempre relacionada a uma comparação dos resultados obtidos com os requisitos especificados e uma conseqüente tomada de decisão. Esta decisão pode relacionar-se segundo Pfeifer /13/:

- a um produto, subsistema ou peça objetivando a aprovação ou rejeição para processos seguintes,
- às características do processo de produção, como por exemplo capacidade,
- ao fornecedor, referente a conformidade no fornecimento.

Como já anteriormente mencionado, a inspeção é sempre focada em um característico. Este característico pode ser um característico da qualidade, funcional, de segurança, de processo ou outro estabelecido, desde que seja mensurável e exista um padrão adequado para fins de comparação. O característico é na maioria dos casos a especificação técnica de uma grandeza, definida nas fases de planejamento de um

produto ou processo, cuja conformidade representa o atendimento aos requisitos especificados para aquela entidade /9/.

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 características, 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 que o geram, 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.

1.4 PLANEJAMENTO DA INSPEÇÃO

Planejar a 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 /1/.

Classicamente considera-se o planejamento da inspeção uma atividade ligada à produção. Em realidade porém, ele ocupa uma importante posição na interface entre o planejamento do produto, o planejamento do processo de manufatura e a produção. A estrutura organizacional clássica, fortemente funcional e departamentalizada, ainda muito comum na grande maioria das empresas, inibe uma sinérgica interação do planejamento da inspeção com as demais áreas e fases do desenvolvimento do produto. Principal fator responsável para tal é o baixo grau de interação entre as áreas do planejamento do produto, planejamento do processo de manufatura, da produção e da

assistência técnica, que a princípio são os principais provedores de informações e portanto partícipes ativos para uma adequada definição de características passíveis de inspeção

O planejamento da inspeção segmentado e não em interação com os demais processos, relega-o a uma situação predominantemente de reativa, sem possibilidade de atuar sinergicamente, na medida em que a maioria das decisões a nível do produto e do processo produtivo já foram tomadas /14/. Operando assim, o planejamento da inspeção torna-se sujeito a um elevado nível de restrições, perdendo seu potencial para introduzir melhorias/otimizações tanto no produto quanto no processo. Por esta razão, quanto mais lograr-se posicionar o planejamento da inspeção junto as fases de planejamento do produto, integrando-o num contexto de engenharia simultânea, tanto mais ele 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.

Além da definição objetiva da necessidade e da operacionalização da inspeção, 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.

Planejamento da inspeção, a exemplo de toda a temática "planejar", não tem recebido a devida atenção por parte das empresas. Uma série de deficiências afetam o planejamento da inspeção na prática industrial atual, dentre as quais podem ser citadas como principais:

- desconhecimento da real necessidade/razão de inspecionar,
- a inexistência de um procedimento sistemático,

- foco da inspeção voltado essencialmente a peças/componentes com vistas à seleção/triagem pós-processo (aprovação e/ou rejeição de peça),
- baixo grau de flexibilidade/dinamismo no planejamento da inspeção,
- dificultado acesso intraempresa às informações demandadas para o planejamento,
- limitada integração/interação com demais processos internos e externos à empresa,
- documentação e rastreabilidade de informações deficitária,
- desconhecimento dos custos da não qualidade decorrentes de produtos e processos não conformes,
- desconhecimento dos custos relativos à qualidade.

Na prática industrial, avaliações da qualidade são comumente definidas sem a realização de uma análise preliminar sistemática quanto a sua real necessidade e seus custos associados, levando a excessos e/ou insuficiências. No contexto deste trabalho, desenvolver-se-á um método para a definição da necessidade de inspeção como elemento primeiro do processo de planejamento da inspeção, que permitirá superar parte das principais deficiências acima relacionadas.

1.5 PROPOSTA DE EVOLUÇÃO NO PLANEJAMENTO DA INSPEÇÃO

Neste trabalho o foco principal será a avaliação da qualidade a partir do método da inspeção. Pfeifer /1/ e Masing /5/ propõem, que um adequado planejamento da inspeção deve ter como premissa:

- dar suporte à garantia da qualidade e
- minimizar os custos da inspeção.

Estes dois fatores são pólos contrários, na medida em que uma tendência para garantir a qualidade é a de inspecionar com grande intensidade, o que por sua vez contribui

para um aumento expressivo dos custos da qualidade, especialmente o custo da avaliação. Desafio no planejamento da inspeção consiste portanto, em encontrar um compromisso para assegurar os níveis da qualidade pretendidos, porém a custos suportáveis e/ou até mínimos.

Nesta direção, um passo determinante é a decisão sobre a necessidade de um característico ser inspecionado. Desta decisão deriva um conjunto de ações, cujos desdobramentos influenciam determinantemente a avaliação da qualidade final de um produto e os aspectos econômicos e de tempos de sua produção. Cabe verificar, qual a influência desta decisão sobre a qualidade requerida e o ganho e/ou perda de informação valiosa para a melhoria contínua dos processos e produtos.

Objetivo deste trabalho é desenvolver uma metodologia para a determinação da necessidade de inspeção na manufatura, com aplicação primordial na indústria metal-mecânica produtora de peças e componentes. É meta deste trabalho obter uma metodologia, com as seguintes características:

- foco na qualidade do "produto e do processo" (visão integrada),
- ênfase na prevenção de falhas,
- flexível e dinâmica para atender as especificidades de cada empresa,
- provedora de informações que agreguem valor as demais fases e áreas do processo de desenvolvimento de produtos.

O princípio da metodologia deverá ser portátil para um espectro de produtos e processos amplo, abrangendo diversos segmentos de mercado.

2 CENÁRIO DA GARANTIA DA QUALIDADE: SOLUÇÕES INTEGRADAS

Desafio de toda empresa que disputa uma posição estratégica no mercado, é posicionar favoravelmente seus produtos no cenário competitivo, composto pelas seguintes três variáveis dinâmicas e independentes:

- qualidade do produto,
- tempo de desenvolvimento e
- custos de produção.

Steinmetz /15/ mapeou a evolução do conceito de garantia da qualidade na dimensão temporal, correlacionando-o com o espaço vetorial formado pela qualidade, custo e tempo de desenvolvimento, conforme mostrado na figura 2.1.

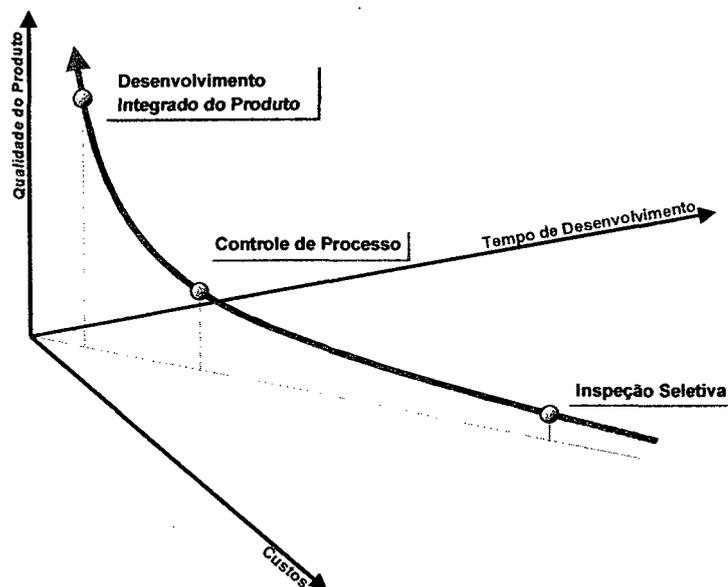


Fig. 2.1: A contribuição do desenvolvimento integrado de produtos no cenário da competitividade. Segundo Steinmetz /15/.

Observa-se na figura 2.1 que melhorias substanciais em termos de minimização de custos e tempos de desenvolvimento de produtos foram viabilizados em resposta à

implementação de técnicas adicionais de controle de processo no desenvolvimento de produtos. Os dois primeiros enfoques representados na figura 2.2 mostram as características de cada um destes momentos (inspeção seletiva e controle de processo) na figura de Steinmetz /15/.

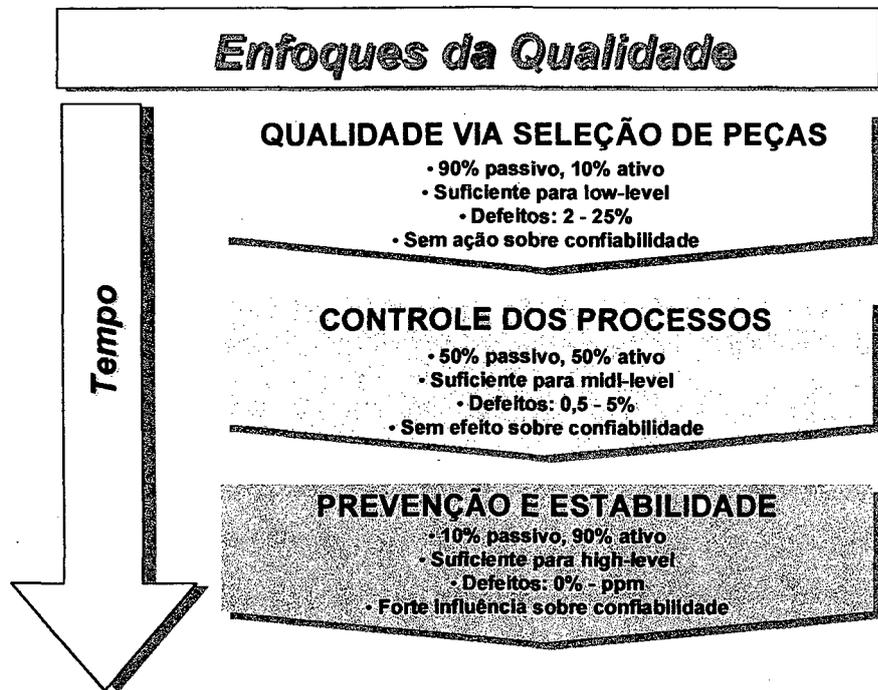


Fig. 2.2: Evolução dos enfoques da qualidade. Segundo DGQ /16/.

Com o conceito de garantia da qualidade ainda focado somente no controle da qualidade do produto e do processo, não foi possível alavancar expressivamente a qualidade dos produtos ao longo do tempo. Isto se deveu basicamente à postura caracteristicamente passiva/reactiva, sem um envolvimento maior com as técnicas de prevenção de falhas e o processo de planejamento da qualidade do produto e do processo de produção de forma sistemática e integrada.

A partir de uma atuação forte na prevenção de falhas, que pressupõem um trabalho integrado dos vários departamentos e equipes, sistêmico e simultâneo, torna-se possível ganhos significativos na qualidade do produto, com efeitos paralelos de otimização dos

tempos e minimização dos custos, tornando-os progressivamente mais competitivos (ver figura 2.1).

O desenvolvimento integrado de produtos e processos, e o enfoque de garantia da qualidade voltado à prevenção de falhas ao longo de todas as fases do processo de desenvolvimento do produto, caracterizam juntos o cenário dentro do qual a metodologia a ser desenvolvida neste trabalho deverá interagir e agregar valor.

2.1 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

Um processo organizado de desenvolvimento de produtos é pré-requisito indispensável para o sucesso empresarial /17/. No entanto, o sistema de desenvolvimento da maior parte das empresas não existe ou existe num estado embrionário, apresentando limitações expressivas tais como /18/:

- o desenvolvimento de produtos fortemente baseado em tentativa e erro,
- não segue um padrão/metodologia que norteie o processo como um todo,
- sofre interrupções e/ou inserções de sugestões ou imposições de pessoas com poder de influência na empresa,
- é executado de forma departamentalizada, gerando truncamento de informações, descontinuidades nas interfaces entre áreas e processos, assim como perda de eficiência,
- as ações gerenciais são dissociadas umas das outras.

Um deficitário processo de desenvolvimento de produtos pode resultar em um não atendimento dos tempos e prazos estabelecidos, em custos que ultrapassam o orçamento alocado e num produto final que não atende plenamente os requisitos da qualidade especificados. Evidencia-se assim a intrínseca relação existente entre o processo de desenvolvimento de um produto e sua qualidade. A busca da garantia da qualidade de um produto deve por consequência, não estar focada no produto final apenas, mas sim extender-se por todo o processo de desenvolvimento, acompanhando

cada fase, desde o mapeamento do interesse do mercado (marketing) até a assistência técnica pós-venda.

Neste trabalho considerar-se-á a classificação de fases e áreas pertinentes ao desenvolvimento de produtos ilustrada na figura 2.3.

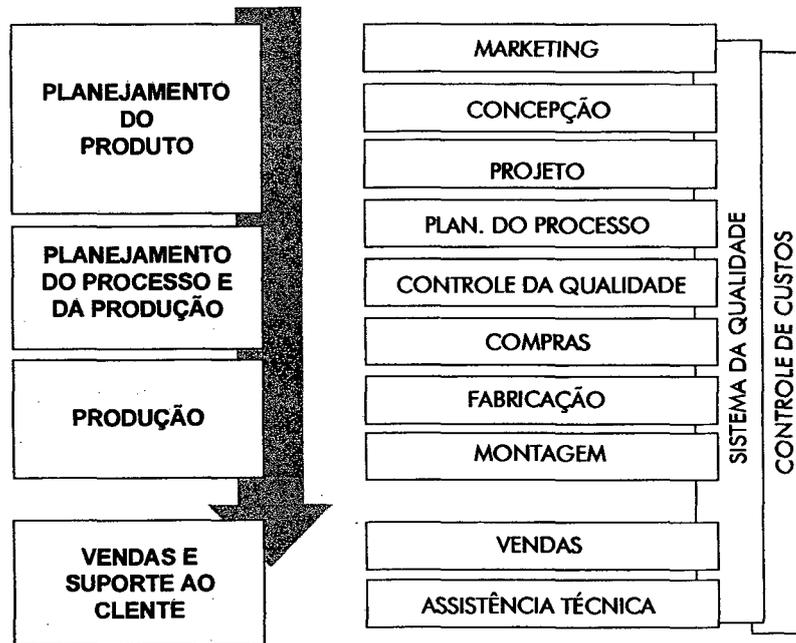


Fig. 2.3: Fases no desenvolvimento do produto e seus correspondentes setores da empresa.

As possibilidades mais expressivas para atuar-se na melhoria da qualidade de produtos, localizam-se justamente nas fases de planejamento e concepção do produto e dos processos de produção /19/. Sugere-se nestas fases o uso de métodos e ferramentas da qualidade que auxiliem na identificação de potenciais falhas antes da produção (métodos off-line), a ponto de poderem ser eliminadas ainda com custos relativamente baixos, permitindo mais a frente a geração de produtos e processos com qualidade assegurada (ver figuras 2.1 e 2.2) /20/.

O uso de ferramentas preventivas demanda geralmente trabalho em equipes interdisciplinares, normalmente compostos por pessoas das áreas de projeto, planejamento dos processos de fabricação e montagem, produção e sistema da qualidade /21/. Objetivo do trabalho em times interdisciplinares é a minimização de

perdas de informação nas interfaces, entre áreas e entre setores no desenvolvimento de produtos e a captação de informações advindas da experiência dos envolvidos, no sentido de melhorar a qualidade do projeto e dos processos antes da produção /1, 5/.

A experiência de times de projeto atuantes segundo os princípios da engenharia simultânea e utilizando-se de métodos e ferramenta preventivos, reduzem de forma expressiva a incidência de falhas e os decorrentes custos da não qualidade, na medida em que pelo efeito do trabalho conjunto com informações de várias áreas e processos em fases de trabalho paralelas, são possíveis direcionamentos antecipados e/ou redirecionamentos que em caso contrário não seriam assim encaminhados. Especialmente o planejamento da qualidade, disciplina comum a todo o processo de desenvolvimento de um produto, tem se beneficiado com esta dinâmica de trabalho, conforme mostrado na figura 2.1.

2.2 PLANEJAMENTO DA QUALIDADE

O Planejamento da Qualidade compreende todas as atividades de planejamento relativos à qualidade que antecedem a produção de um produto /4/. Ela inicia já na fase de identificação dos requisitos da qualidade definidos pelo cliente para o produto, e considera aspectos relativos à viabilidade técnica, financeira e de recursos humanos /1/. O planejamento da qualidade tem como principal função desdobrar os requisitos de um produto em requisitos específicos a serem considerados no projeto do produto e no planejamento do processo de produção, bem como definir as necessárias ações para a garantia da qualidade do produto tanto no projeto quanto na sua produção /4,22/.

A motivação para o planejamento da qualidade evidencia-se a partir da constatação que cerca de 70% dos custos para produzir um produto são definidos nas fases de planejamento, 70 a 80% de todas as falhas/defeitos tem suas causas na fase de planejamento, porém 80% de todas as falhas somente são percebidas na inspeção final ou quando o produto já está na posse do cliente, como mostra a figura 2.4.

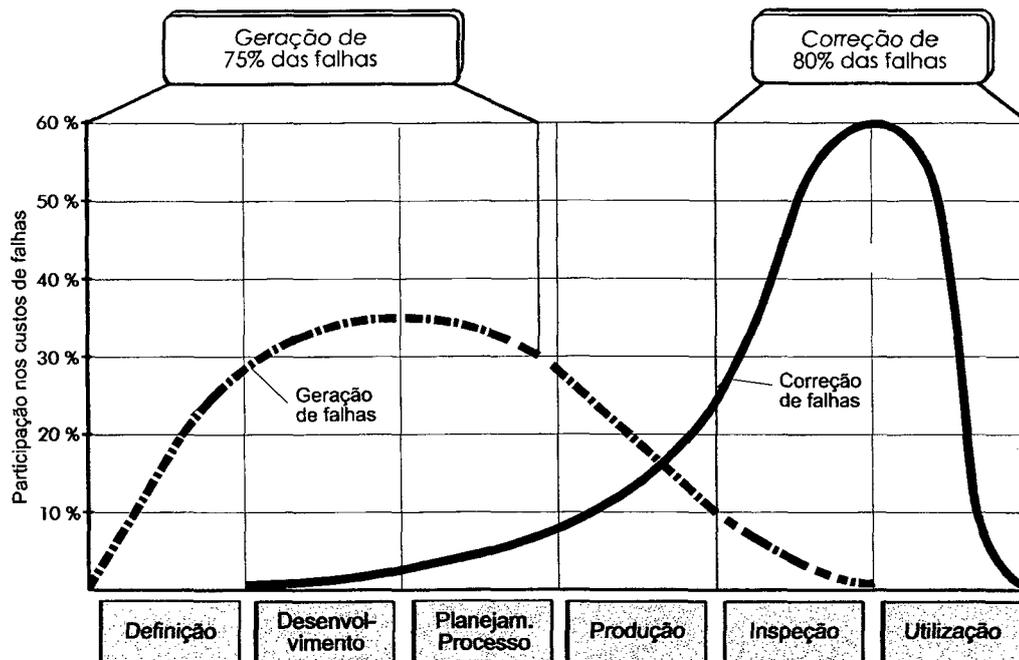


Fig. 2.4: Incidência de falhas no desenvolvimento de um produto. Segundo Pfeifer /1/.

O planejamento da qualidade torna-se ainda mais importante na medida em que os custos para remediar uma falha/defeito, cresce de um fator de 10 a cada etapa em que não é detectado /1/. Isto significa que, em sendo possível detectar um defeito ainda na fase de projeto, o custo associado para remediá-lo pode ser inexpressivo frente ao custo que teria, caso fosse detectado em fases após início da produção. Caso o defeito fosse apenas detectado com o produto já na posse do cliente, além dos custos para remediá-lo serem exponencialmente maiores, adicionar-se-iam ainda outros custos, a exemplo do custo de indenizações ao cliente e/ou da imagem prejudicada da empresa, custo este por vezes intangível /1, 4, 5/. Estes aspectos justificam por si só a importância que o planejamento da qualidade assume no contexto do desenvolvimento de produtos.

As três tarefas básicas do planejamento da qualidade são /1, 4/:

- o planejamento das características da qualidade do produto,
- o planejamento das características da qualidade do processo de produção,
- o planejamento da gestão da qualidade.

Particularmente no contexto deste trabalho serão abordados apenas o planejamento da qualidade do produto e o planejamento da qualidade do processo.

2.2.1 PLANEJAMENTO DA QUALIDADE DO PRODUTO

Objetivo maior do planejamento da qualidade do produto é garantir que o produto corresponda às expectativas do cliente. Segundo Pfeifer /1/, as macro-atividades a serem realizadas nesta etapa compreendem:

- identificação das expectativas do cliente,
- determinação dos requisitos da qualidade e especificação técnica do produto,
- planejamento da confiabilidade,
- planejamento dos requisitos de segurança do produto.

No planejamento da qualidade do produto são definidos entre outros, os requisitos para a qualidade, que são a "expressão das necessidades identificadas, explicitados em termos quantitativos ou qualitativos, objetivando definir as características de uma entidade, a fim de permitir sua realização e seu exame" /8/. Os requisitos expressos quantitativamente em relação às características incluem, por exemplo, os valores nominais, valores efetivos, os desvios limites e as tolerâncias. O documento que define os requisitos é comumente denominado "Especificação" /8/. Documentos contendo especificações em forma de requisitos de clientes, normas, regulamentos técnicos, desenhos técnicos, fichas de especificação e demais formas documentadas de procedimentos técnicos são frequentemente reunidos em forma de um caderno de especificações, usado como referência para o desdobramento das ações de garantia da qualidade.

O planejamento da qualidade do produto estabelece assim, as referências em forma de especificações, em relação as quais é realizada posteriormente a avaliação da qualidade, buscando verificar o atendimento dos requisitos especificados e por consequência das expectativas do cliente /23/.

Uma maior atuação no planejamento da qualidade, associada a uma avaliação cada vez mais segura e objetiva da conformidade vem sendo proposta por sistemas e normas da qualidade, a exemplo das normas da série ISO 9000 /24, 25/, da QS 9000 /26/ e seus manuais e guias específicos, entre eles o APQP – Advanced Product Quality Planning e PPAP - Production Part Approval Process /27/.

2.2.2 PLANEJAMENTO DA QUALIDADE DO PROCESSO

O planejamento da qualidade do processo de produção (manufatura, inspeção, produção, montagem, embalagem) objetiva planejar as características da qualidade dos processos pertinentes a todo o processo fabril, com vistas a obtenção de um sistema de produção robusto, capaz, seguro, e eficiente que esteja em condições de viabilizar o nível da qualidade do produto planejado. Em consequência, o nível de planejamento define também o investimento que é necessário para atingir e manter os padrões de qualidade estabelecidos.

O planejamento da qualidade do processo compreende basicamente o planejamento da qualidade dos meios de produção /28/, dos recursos humanos e da gestão do processo /1/. Este planejamento referencia-se nos requisitos da qualidade do produto, e deles deriva os requisitos para os processos de produção. O resultado é um conjunto de requisitos que cada processo deverá atender para que a conformidade do produto gerado neste processo atenda por sua vez os seus requisitos especificados. Planejar adequadamente a qualidade do processo requer uma forte interação com o planejamento do produto, em uma via de troca de informações de mão dupla. Uma otimizada interação entre estas duas áreas, pode agilizar em muito o processo de desenvolvimento de produtos, na medida em que antes do início da produção, problemas clássicos entre projeto e produção já foram superados /29, 30, 31/.

Em razão da dependência entre características do produto e capacidade dos processo em obter produtos conformes, o planejamento do processo necessita ser desenvolvido com forte interação com o planejamento do produto, assim como com as áreas

operacionais, a exemplo das áreas de avaliação/inspeção da qualidade, fabricação e montagem, que conhecem as características de seus processos e meios de produção, a ponto de poderem contribuir significativamente no planejamento. Isto é reconhecido pelos requisitos dos sistemas de qualidade, nos quais a apresentação de evidência sobre o planejamento avançado da qualidade por parte do fornecedor, inclui informação sobre o fluxograma dos processos, a capacidade dos mesmos e os planos de inspeção (ver APQP – Advanced Product Quality Planning /27/).

O planejamento do processo de produção é também um provedor de informações para adequações no planejamento do produto. É estratégico para o planejamento do produto, obter o quanto antes possível informações sobre a viabilidade e os custos associados à produção dos requisitos da qualidade especificados. Caso esta viabilidade já no planejamento da qualidade do processo não possa ser visualizada, adequações a nível de projeto do produto ou soluções inovadoras a nível de processo serão necessárias. Quanto antes estas ações são tomadas, tanto menor se configurará o custo para a busca da solução.

2.3 MÉTODOS E FERRAMENTAS DE SUPORTE À GARANTIA DA QUALIDADE

A partir do entendimento que qualidade deve ser produzida ao longo de todo o processo de desenvolvimento de um produto, tem-se a considerar que em todas as fases do desenvolvimento haja uma constante busca pela maximização da conformidade e otimização dos tempos e custos. O cenário apresentado nas figuras 2.1 e 2.2 aponta para a necessidade de uma ação mais intensa para garantir a qualidade já nas fases iniciais de um produto. Como suporte ao planejamento sistemático da qualidade pode-se lançar mão hoje de um conjunto de métodos e ferramentas amplamente testadas e recomendadas, que possibilitam uma atuação sistemática, preventiva e integrada, sendo elas classificadas em: (segundo /16/):

- Engenharia Simultânea: é um conceito de trabalho que tem por objetivo reduzir o tempo necessário para disponibilizar um produto ao mercado, melhorar a qualidade no desenvolvimento do produto e reduzir os custos /2, 4, 16/. Sua principal característica é o desenvolvimento paralelo, antecipado e em times multi-processos de ações/atividades comumente desenvolvidas de forma sequencial, isolada e mais tardiamente no processo de desenvolvimento do produto.
- Engenharia de Valor: reúne em um método integrado métodos de solução de problemas, de gestão e de gerenciamento de projetos, concedendo especial atenção no processo de solução de problemas às pessoas envolvidas /16/.
- Ferramentas da Engenharia da Qualidade: reúne ferramentas analíticas de suporte ao desenvolvimento de produtos e processos, a exemplo de FMEA - Failure Mode and Effect Analysis /32, 33/, FTA - Failure Tree Analysis, DoE – Design of Experiments, e outros /1, 4, 16, 34/. Característica destas ferramentas é sua aplicação em trabalhos de prevenção de falhas.

Todos estes métodos e ferramentas possuem determinadas características comuns agregadoras de valor ao trabalho, tais como:

- trabalho em times interdisciplinares,
- minimização dos problemas de interfaces de comunicação entre áreas ,
- trabalho (em time) orientado a projetos,
- característica preventiva,
- visão sistêmica e integrada,
- transparência nas ações e resultados documentados,
- procedimentos estruturados.

2.4 FERRAMENTAS DA ENGENHARIA DA QUALIDADE

Um suporte eficaz no desenvolvimento integrado de produtos e processos é a utilização de ferramentas da engenharia da qualidade que atuam segundo os princípios da engenharia simultânea. Quanto mais estas ferramentas apresentem a capacidade de atuar integradamente, tanto maior será sua contribuição na otimização dos custos e dos tempos no desenvolvimento de produtos. Na figura 2.5 é apresentada uma análise de portfólio com as principais ferramentas da engenharia da qualidade avaliadas segundo seu atendimento aos critérios da engenharia simultânea e sua integrabilidade (comunicação, documentação e transparência) /35/. Observa-se que as ferramentas de uso mais frequente e de maior efeito na prática industrial concentram-se no mesmo quadrante (superior direito), evidenciando serem ferramentas com grande potencial de suporte à garantia da qualidade.

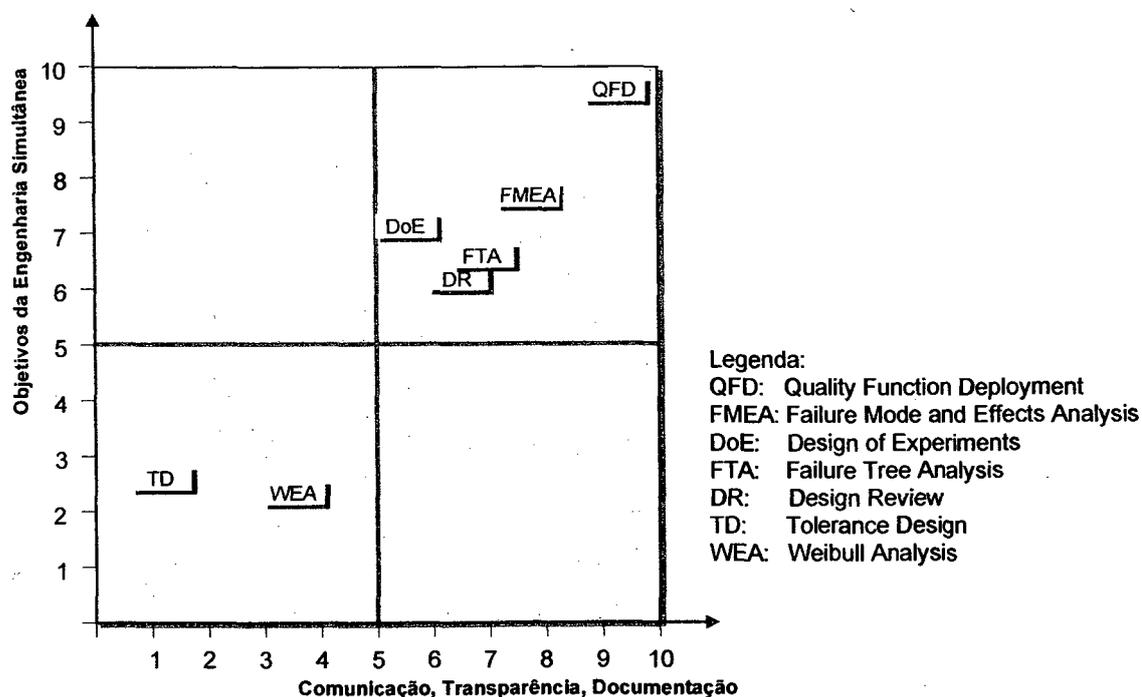


Fig. 2.5: Posicionamento relativo de métodos da engenharia da qualidade /2/.

Como principais ferramentas de auxílio ao planejamento da qualidade do produto podem ser citadas QFD, FMEA de projeto /36/ e DR /37/. Ferramentas específicas

podem ser utilizadas na otimização do projeto, a exemplo do Projeto de Tolerâncias, da Análise Estatística de Tolerâncias e Análise de Robustez.

Busca-se através do uso de métodos e ferramentas preventivas desenvolver produtos e processos seguros e robustos de forma a minimizar-se as atividades de inspeção durante e após a produção /38/. Em não sendo possível evitar a inspeção, busca-se crescentemente implementá-la durante o processo de produção. Isto apresenta duas vantagens principais. Primeiramente, os desvios nos processos podem ser detectados antes de produzir-se peças defeituosas, permitindo ações corretivas a baixo custo. Além disso, no caso dessas peças não conformes virem a ser produzidas, elas podem ser segregadas antes de passar ao processo seguinte. Por esta razão cresce o uso de métodos estatísticos como Controle Estatístico de Processo (CEP) e gerenciamento estatístico da qualidade para garantir a qualidade de produtos e processos /39/. Através dos métodos de análise da capacidade busca-se avaliar a adequação de um meio de produção /40, 41/ ou um processo para a obtenção de uma produção segura e estável. Por meio de técnicas de projeto de experimentos (DoE), é viável otimizar parâmetros do produto e dos processos de produção, para melhor atender às especificações. No tocante aos processos, são particularmente interessantes as melhorias que podem ser obtidas à respeito da sua estabilidade e capacidade.

Importante condição para uma eficaz inspeção da qualidade é a sistemática e periódica calibração dos meios de inspeção no contexto de um sistema de controle/gerenciamento dos meios de medição /1, 42, 43/.

Relevância para este trabalho representam por um lado as ferramentas QFD, FMEA, FTA, CEP e os métodos estatístico para análise da capacidade de processos. Suas informações contribuem direta e indiretamente para o processo de definição da necessidade de inspeção de característicos. Os princípios sobre os quais se baseiam os métodos da Análise de Risco /44/ a exemplo de FMEA's, FTA's e ETA's - Event Tree Analysis, buscam reduzir riscos e aumentar a segurança e a confiabilidade /45/. Análises de risco permitem decisões qualificadas, economia de tempo e recursos

financeiros, sendo uma eficiente possibilidade para uso e otimizações na garantia da qualidade.

2.5 CARACTERÍSTICAS NECESSÁRIAS A UMA METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DA NECESSIDADE DE INSPEÇÃO

A metodologia a ser desenvolvida, deverá atuar de forma sinérgica no processo de desenvolvimento de produtos e na garantia da qualidade. Para tal deverá atender aos seguintes critérios, análogos aos apresentados na figura 2.4.:

- capacidade para operar em ambientes de engenharia simultânea,
- promover a engenharia simultânea,
- sistematizar os procedimentos,
- ser integrável com outras ferramentas da garantia da qualidade (especialmente QFD, FMEA, FTA, CEP),
- documentar informações e permitir rastreamento de informações,
- apresentar flexibilidade para trabalhar com informações em distintos níveis de incerteza,
- adequável às especificidades de cada empresa e flexível para reagir a mudanças nos processos de manufatura,
- posicionar-se no quadrante superior direito da figura 2.4.

Adicionalmente, sabe-se que um grande problema nas empresas na área de garantia da qualidade consiste em gerenciar o volume de informações gerada pela aplicação das ferramentas acima descritas e pelos demais agentes no processo de desenvolvimento de produto.

Para superar este problema, estão sendo implementados cada vez mais, sistemas de apoio ao gerenciamento e acompanhamento do ciclo de vida de produtos, do tipo PDM/EDM - Product Data Management / Engineering Data Management /46/ e CAQ -

Computer Aided Quality Management /47/, através dos quais o gerenciamento integrado de informações das várias áreas e processo do desenvolvimento de um produto pode ser integrado, racionalizado e simplificado. Estes sistemas gerenciam informações de naturezas e sistemas de armazenamento distintos, sendo possível gerar interfaces com ferramentas diversas a exemplo de sistemas CAD, CAM, CAP, bases de dados, CEP e muitos outros. Considerando este aspecto, a metodologia para determinação da necessidade de inspeção a ser proposta neste trabalho deverá também ser apta a trabalhar de forma informatizada (interação com bases de dados PDM / EDM e sistemas CAQ).

3 METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DA NECESSIDADE DE INSPEÇÃO

Este trabalho apresenta uma proposta de metodologia para a determinação unívoca da necessidade de inspeção de um característico. O enfoque básico da metodologia é garantir que a inspeção da qualidade contribua para a produção de produtos em conformidade com as especificações, a níveis otimizados de custos e tempos. Estruturada na forma de um modelo conceitual, a metodologia considera três relevantes critérios no processo decisório:

- assegurar a conformidade (qualidade),
- minimizar os tempos de inspeção e,
- reduzir os custos da inspeção.

O atendimento de um característico às suas especificações é, na metodologia, referência para a decisão da necessidade de inspeção. Uma vez determinada a necessidade de inspecionar por este critério, são sugeridas análises sobre os conseqüentes custos e tempos. Avaliações dos custos da inspeção, comparados a custos de eventuais otimizações a nível de produto e de processo, podem gerar ações corretivas que, eventualmente, permitem eliminar a inspeção.

3.1 ANÁLISE DA METODOLOGIA SOB A ÓPTICA DA CAIXA PRETA

Função da metodologia é ser uma ferramenta que, a partir de informações distintas existentes em diversas áreas e processos na empresa, sistematiza e processa estas informações gerando como resultado a definição da necessidade ou não da inspeção. A metodologia é uma ferramenta de auxílio às atividades do planejador na etapa de planejamento do processo de inspeção. O planejador é o agente responsável pela coleta das informações demandadas pela metodologia. As informações por ele coletadas encontram-se distribuídas em várias áreas dentro e fora da empresa, assim

como apresentam grandes distinções quanto à sua natureza. A interação do planejador com as fontes de informação e a metodologia está representada na figura 3.1.

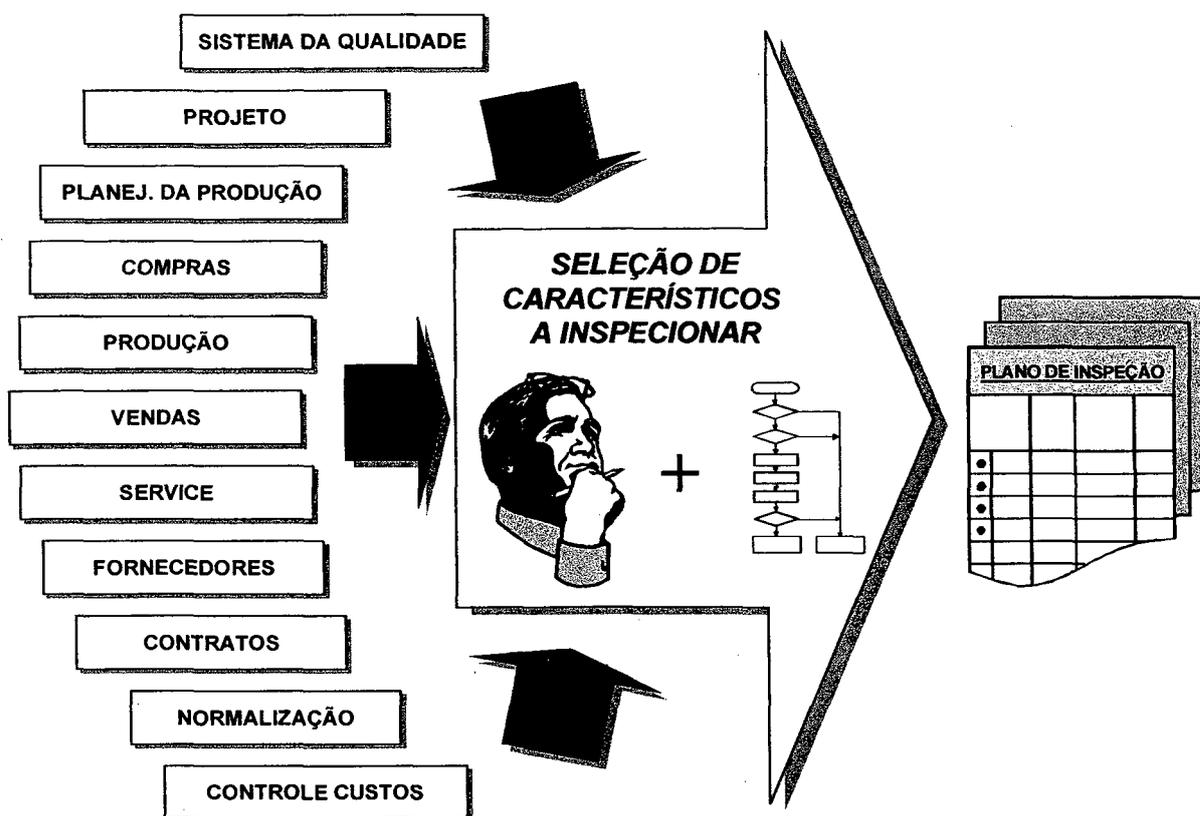


Fig. 3.1: Áreas e processos envolvidos na seleção de características a inspecionar.

São três os grupos de informações de entrada, a partir das quais são geradas duas informações básicas de saída, conforme mostrado na figura 3.2.

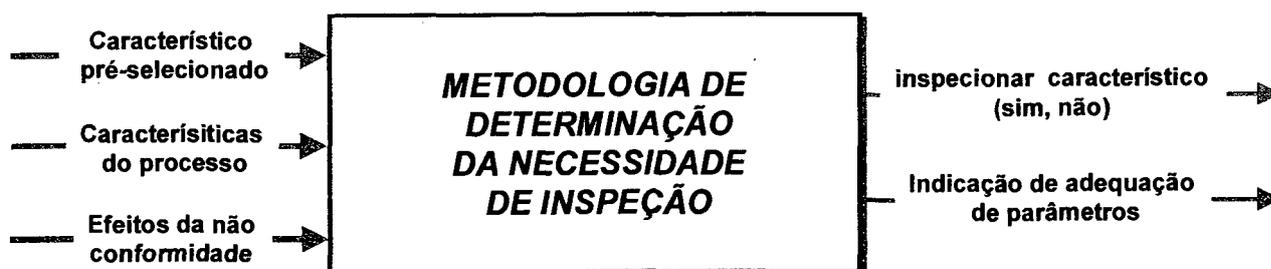


Fig. 3.2: Modelo de sistema da metodologia.

3.1.1 DADOS DE ENTRADA

São considerados dados de entrada todas as informações de carácter qualitativo e quantitativo sobre o característico em questão e a ele associadas. O conjunto mínimo destas informações está caracterizado na figura 3.3, que as relaciona com suas fontes e áreas no processo de desenvolvimento de produtos.

ÁREAS ENVOLVIDAS	PLANEJAMENTO DO PRODUTO			PLANEJ. DO PROCESSO E PRODUÇÃO		PRODUÇÃO		SUPORTE				
	MARKETING	CONCEÇÃO	PROJETO	PLAN. DO PROCESSO	INSPEÇÃO	FABRICAÇÃO	MONTAGEM	ASSISTÊNCIA	SIST. DA QUALIDADE	VENDAS	COMPRAS	CONTR. DE CUSTOS
INFORMAÇÕES BÁSICAS ● Informação determinante ○ Informação complementar												
Requisitos do produto/meio prod./ processo	●	●	●						○	○	○	
Especificação do característico			●	●	○				○			
Importância do característico	○	●	●	●	○	●	●	●	●		○	
Efeitos da não conformidade	○	●	●	●	●	●	●	●	●		●	
Definição dos meios de produção			○	●	●							
Sequência da produção			○	●		○	○					
Características dos processos de produção				●	○	●	●		○			
Características dos meios de produção				●	○	●	●		○			
Especificação de transporte e armazenagem			●	●							●	
Indicadores de desempenho de fornecedores				○	○				●		●	
Viabilidade técnica da inspeção				●	●							
Normas, procedimentos e cláusulas contratuais			●	○	●				●	●	●	
Custo da inspeção					○							●
Custo do produto											●	●

Fig. 3.3: Informações para avaliação da necessidade de inspeção.

Enquanto alguns dados de entrada estão disponíveis em uma forma que permite seu uso sem maiores processamentos, outros necessitam ser prospectados e/ou gerados, a exemplo das informações relativas aos efeitos de falhas que característicos não

conformes podem provocar no produto, no processo, junto ao cliente e nos custos da qualidade. À obtenção de informações desta natureza pode ser necessário um trabalho conjunto de representantes das várias áreas e processos.

Constituem-se fontes de informação para identificação dos vários dados de entrada para a metodologia:

- descritivo do produto, plano de negócios,
- caderno de encargos, contratos de fornecimento,
- plano da qualidade do produto, planos de controle, documentos que evidenciam o PPAP e APQP /16, 27/,
- normas, guias, procedimentos, regulamentos técnicos,
- estrutura do produto, diagrama funcional,
- desenhos técnicos, lista de materiais, diagramas, instruções de montagem,
- matrizes (QFD), Planilhas (FMEA), Diagramas (FTA), check-list (DR),
- relatórios de auditorias, certificados de amostras de lote piloto,
- plano de fabricação de montagem e de produção, Lay-out de produção,
- catálogos de meios de produção (máquinas, instrumentos, dispositivos),
- protocolos/relatórios de medições/inspeções, cartas de controle, histogramas, estimativas de capacidade de processo,
- relatórios de montagem em campo, registros de assistência e falhas em campo.

Embora as fontes de informação sejam muitas, várias informações necessárias à metodologia não fazem parte da documentação convencional do processo de desenvolvimento de um produto. Estas são, por vezes, somente evidenciáveis a partir de questionamentos e análises sistemáticas complementares. Reuniões de engenharia simultânea, auxiliadas por técnicas como brainstorming, assim como a construção conjunta de diagramas causa e efeito, estruturação de análises de árvores de falha e

métodos semelhantes podem ser necessários para a geração destas informações de entrada.

Os dados de entrada para a metodologia classificam-se nos três seguintes grupos (ver fig. 3.2):

- característicos pré-selecionados,
- características do processo,
- efeitos da não conformidade.

Cada um destes grupos será discutido individualmente na seqüência do trabalho.

3.1.1.1 OS CARACTERÍSTICOS PRÉ-SELECIONADOS

Ao longo das fases do processo de desenvolvimento de um produto são especificados característicos de várias naturezas, cuja conformidade deve garantir o atendimento aos requisitos estabelecidos. Entre o universo de característicos especificados, existe uma parcela que se diferencia dos demais por serem relevantes no atendimento a requisitos da qualidade, de funcionalidade, de segurança e de confiabilidade tanto a nível de produto quanto de processos. Considerando a existência dos desvios sistemáticos e aleatórios nos processos de produção, a inspeção pode ser necessária para a avaliação da conformidade destes característicos e o controle do processo. Apenas estes característicos passam pela metodologia proposta neste trabalho, compondo um subconjunto do universo total de característicos especificados pelo projeto.

A definição da importância do característico deriva do processo de planejamento do produto e do processo de produção por um lado, assim como é identificada também a partir da manutenção e do uso do produto. Fontes para identificação da importância do característicos são:

- caderno de encargo, contratos de fornecimento e especificações,
- documentos gerados no projeto conceitual e detalhado, matrizes de QFD, Design Reviews, FMEA's de projeto,
- planos de fabricação e de produção, montagem, embalagem e transporte,
- FMEA's de processo, planos de inspeção, procedimentos de homologação, relatórios de aprovação de lote piloto,
- históricos de assistência técnica, reposição de peças, manutenção e retrabalho,
- históricos do fornecedor, relatórios de devoluções, índices de não aceitação.

Dada a posição deste processo no desenvolvimento do produto, pode neste estágio não haver dados finais já disponíveis, de forma que se necessita trabalhar com informações "a priori", estimados e/ou atribuídos por similaridade.

Característicos podem ser geométricos, de material, funcionais, físicos, químicos, de estética/aparência, de presença e de quantidade /6, 1, 48/. Através destes e de sua combinação é verificado o atendimento aos requisitos especificados para um produto ou processo.

Devido à sua intrínseca associação com os requisitos, já no processo de planejamento do produto é usual classificar-se os característicos em:

- Críticos: relacionados a requisitos de segurança e integridade física dos usuários. Em caso de falha, vidas podem estar em perigo.
- Relevantes: relacionados a função e desempenho. Em caso de não conformidade, função/desempenho ficam prejudicados.
- Principais: relacionados ao uso. Em caso de não conformidade, a utilização fica prejudicada.

Característicos que se enquadram na classificação de "Críticos", "Relevantes" e "Principais", assim já caracterizados anteriormente e/ou definidos analogamente,

0.315-185-9

formam o grupo de características pré-selecionados, que são objeto de avaliação no contexto desta metodologia.



3.1.1.2 AS CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO

Um segundo grupo de dados de entrada na metodologia são os relativos às características dos processos, a partir dos quais os potenciais característicos a inspecionar são gerados. Estes dados devem permitir a avaliação do risco do processo no atendimento aos requisitos especificados, e são obtidos junto ao planejamento dos processos de manufatura, planos e relatórios de aprovação de lotes piloto, históricos da produção, relatórios de auditorias, check-lists de não conformidades, FMEA's de processo, cartas de controle e demais ferramentas de planejamento e controle de processos. Características típicas de processo são:

- índice de capacidade (C_p , C_{pk}),
- estabilidade/tendência,
- índice de não conformidade (ex.: processos com controle por atributos),
- eficiência do processo.

Estas e outras características podem ser utilizadas para caracterizar na metodologia o risco do processo para atendimento da especificação do característico. Dependendo do sistema de produção, algumas das características típicas de processo não se aplicam (capabilidade em lotes pequenos e pequenas séries, por exemplo), de forma que outras que sejam expressivas devem ser identificadas caso a caso. Cabe ao planejador do processo de inspeção identificar quais as características que serão utilizadas, e suas respectivas fontes de informação.

3.1.1.3 EFEITOS DA NÃO CONFORMIDADE

É parte integrante da metodologia, avaliar a relevância de características pré-selecionados. A determinação da relevância é realizada por meio de uma avaliação dos potenciais efeitos da não conformidade do característico. Os efeitos da não conformidade podem ser representativos para usuários do produto, mas também para os processos, com conseqüências a nível técnico, econômico e eventualmente legal.

Os efeitos da não conformidade de um característico necessitam ser avaliados sistematicamente, com auxílio de ferramentas apropriadas e com o devido envolvimento das áreas detentoras de informações importantes. Análise de contratos, cadernos de encargo, normas e legislação, documentos e memoriais de projeto, resultados de FMEA's, reclamações de clientes, históricos de assistência técnica, reuniões de brainstorming e demais fontes e métodos de avaliação devem ser utilizadas pelo planejador para subsidiar aos efeitos da não conformidade de um característico. Informações coletadas devem ser documentadas, servindo como referência para avaliações subsequentes.

3.1.2 INFORMAÇÕES DE SAÍDA

Sob a ótica de caixa preta, a metodologia tem dois grupos de dados de saída. O primeiro é a informação se o característico avaliado deve ou não ser inspecionado. Esta é uma informação não ambígua, resultante da avaliação por meio de um método heurístico, das informações de entrada.

O segundo grupo de dados de saída compreende as indicações de "Adequações de Parâmetros". Estes existem para determinados casos, nos quais uma adequação relativamente simples no processo poderia alterar a decisão de inspeção. Como exemplo pode-se citar a adequação da relação incerteza de medição / intervalo de tolerância (U/IT) /49, 50/, que se menor, permitiria avaliar com maior fidelidade a capacidade do processo fabril em estudo, revertendo eventualmente a decisão de inspeção anterior. Estas adequações são sugestões da própria metodologia para

situações nas quais sem grandes investimentos de alterações no processo de produção e/ou no projeto do produto, poder-se-ia buscar evitar a inspeção, sem prejuízo à confiabilidade à qualidade do produto e/ou do processo. Estas adequações podem ser executadas como um ajuste fino, testando a possibilidade de minimizar custos.

3.2 DESCRIÇÃO DO MÉTODO

A decisão de inspecionar características em produtos, processos ou meios de produção pode se dever a dois grandes fatores: a obrigatoriedade e/ou a busca da conformidade. A obrigatoriedade existe a partir da determinação de leis, regulamentos técnicos, requisitos de certificação, procedimentos internos do sistema da qualidade e/ou quando normas e guias forem adotadas em cláusulas contratuais, tornando a inspeção indispensável. Características de itens de segurança em veículos, de instrumentos biomédicos e equipamentos eletrônicos para controle de tráfego são exemplos onde a inspeção de características considerados críticos, relevantes e/ou principais é pré-determinada /5, 27/.

A metodologia a seguir apresentada ocupa-se com o outro grupo de características para os quais não existe uma pré-determinação, onde o critério base é a busca da conformidade em níveis de custo e de tempos otimizados. A metodologia orienta-se pelo princípio de que características cuja conformidade não está assegurada, devem ser inspecionados /1, 4, 5/. Importante sob o aspecto de custos e da qualidade é verificar quais características cuja conformidade não está assegurada são realmente necessários inspecionar. A questão central consiste portanto, em desenvolver uma forma para avaliar se a conformidade do característico "importante" está ou não assegurada pelo processo.

O conceito de solução proposto na metodologia busca relacionar a importância do característico (relevância) com o risco do processo responsável pelo característico. Para tal, a metodologia desenvolvida compõe-se de três sub-sistemas como mostra a figura 3.4.

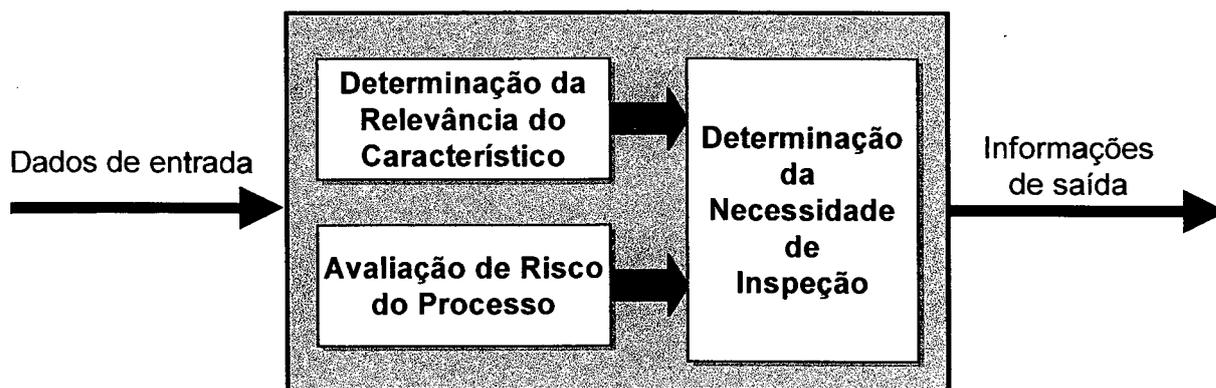


Fig. 3.4: Sub-sistemas para a definição da necessidade de inspeção.

A "Determinação da Relevância do Característico" e a "Avaliação do Risco do Processo" tem a função principal de sistematizar as informações de entrada. A "Determinação da necessidade de inspeção" realiza-se por meio de uma "matriz de decisão". Desta matriz obtém-se os resultados caracterizados na figura 3.2. Trata-se neste estágio do desenvolvimento da metodologia ainda de um modelo conceitual, sem uso de ferramentas de simulação e/ou sistematização com auxílio da informática.

1. A necessidade de inspeção de um característico é decidida a partir da combinação matricial das informações da relevância do característico e do risco de uma não viabilização da conformidade, a partir do processo que o gera. A relevância do característico em questão, associada ao risco da não conformidade, encontra na matriz, a indicação ou não da necessidade de ser inspecionado.

3.2.1 O SUBSISTEMA "DETERMINAÇÃO DA RELEVÂNCIA DO CARACTERÍSTICO"

Em razão dos custos associados a uma inspeção, faz-se necessário inspecionar o mínimo, sem prejuízos para a qualidade dos produtos e processos envolvidos. A não conformidade de um característico pode ter significativos reflexos sobre o produto e/ou o processo, bem como gerar desdobramentos que afetam o processo de desenvolvimento de um produto sob vários aspectos, tais como tempo, recursos financeiros, logística e outros. Por esta razão, busca-se identificar quais são característicos relevantes, que em

não sendo conformes, gerariam perdas expressivas /4/ junto ao desenvolvimento do produto.

O sub-sistema para determinação da relevância do característico tem como função identificar a importância de um característico, frente a quatro grandes enfoques:

- o cliente/usuário,
- o produto/objeto,
- o processo de produção,
- os custos.

Estes quatro enfoques abrangem as principais razões pelas quais a conformidade de um característico poderia ser importante. A relevância é avaliada a partir de uma análise dos potenciais efeitos que uma não conformidade geraria. Esta forma de avaliação é usual em métodos de avaliação de risco /4, 33, 44/ e caracteriza-se pelo seu caráter preventivo, análogamente à ferramenta FMEA /1, 4, 33/, na qual são avaliados os efeitos esperados caso a situação pretendida (conformidade) não se concretize.

A definição da relevância do característico dá-se através do uso de uma tabela que pondera a severidade dos efeitos em caso de não conformidade do característico, segundo um conjunto de critérios pré-estabelecidos, análogos aos critérios para avaliação da severidade na ferramenta FMEA. Associado aos distintos critérios está uma escala graduada com valores inteiros entre 1 (efeitos pouco significativos) e 10 (efeitos de grande impacto), conforme mostrado na figura 3.5, e esta correlacionada com os três enquadramentos de relevância propostos: Baixa, Média e Elevada. A pontuação 1 a 3 enquadra-se como sendo de relevância Baixa, de 4 a seis pontos relevância média e de 7 a 10 pontos a relevância por definição é elevada.

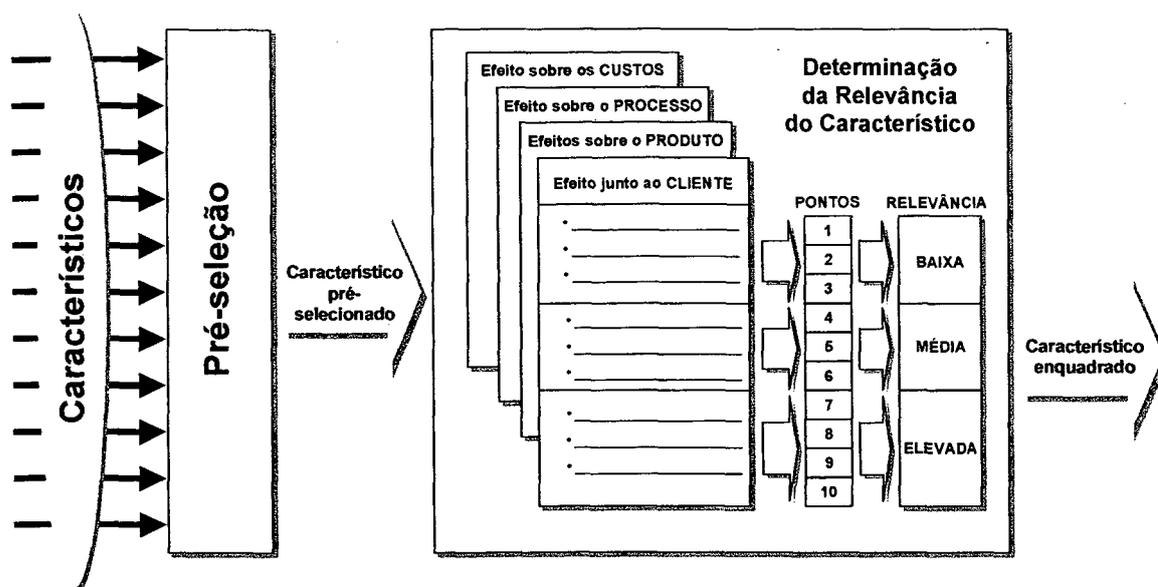


Fig. 3.5: Determinação da relevância do característico.

Os critérios de avaliação são específicos para cada enfoque, sendo que o característico deve ser avaliado segundo cada um deles. Pode ocorrer por exemplo a situação na qual a não conformidade de um característico não gera efeitos expressivos ao usuário (cliente externos), mas pode ter um efeito considerável para um processo subsequente (cliente interno), de forma que a relevância do mesmo deve ser avaliada segundo os quatro enfoques, sendo considerado para fins de enquadramento o valor maior de cada uma das quatro avaliações.

A avaliação dos potenciais efeitos em caso de não conformidade é uma avaliação subjéctiva, que necessita ser realizada com conhecimento de causa e visão interdisciplinar para ser consistente. É pouco provável que o planejador do processo de inspeção tenha condições de avaliar sempre todos os possíveis efeitos, razão pela qual torna-se importante realizar a avaliação com a participação de representantes das várias áreas envolvidas no desenvolvimento do produto, a exemplo do marketing, projeto, planejamento do processo, compras, produção, montagem e assistência técnica, conforme mostrado na figura 3.1. Estes são detentores de informações não documentadas que podem enriquecer em muito a avaliação, reforçando assim o carácter

preventivo, de identificação de potenciais falhas antes que ocorram na prática. À uma adequada avaliação do característico é imprescindível o conhecimento de sua especificação, assim como informações a ele já associadas disponíveis em matrizes de QFD, relatórios de FMEA's (de sistema, projeto e ou processo), diagramas funcionais, reclamação de clientes, históricos de fornecimento, auditorias de produto e de documentos utilizados no desenvolvimento de produtos.

Os critérios de avaliação e a correlação entre a pontuação para cada um deles com a relevância utilizada na metodologia (baixa, média, elevada) podem ser observados na figura 3.6. Um característico após ser avaliado, passa a estar caracterizado com o atributo de baixa, média ou elevada relevância, sendo este enquadramento uma das variáveis determinantes para a decisão da necessidade de inspeção.

Os critérios propostos para a avaliação da relevância do característico podem ser na medida do necessário mais detalhados e particularizados, em função da natureza do característico, do processo de produção e/ou mercado. Ênfases reforçadas, critérios adicionais assim como deslocamentos relativos da escala de pontuação podem reforçar ou atenuar o enquadramento atribuído ao característico, sendo objeto de adequações introduzidas pelo usuário, adequando a metodologia ao seu uso.

CRITÉRIOS PARA DETERMINAÇÃO DA RELEVÂNCIA DO CARACTERÍSTICO					
RELEVÂNCIA	PONTOS	Efeitos diretos sobre o CLIENTE	Efeitos sobre o OBJETO/PRODUTO	Efeitos sobre o PROCESSO DE PRODUÇÃO	Efeitos sobre os CUSTOS
				<ul style="list-style-type: none"> • Manuseio • Segurança • Conforto • Aparência 	<ul style="list-style-type: none"> • Funcionalidade • Intercambiabilidade • Confiabilidade • Desempenho • Vida Útil • Manutenibilidade
BAIXA	1	É improvável que a não conformidade seja percebida pelo cliente...	Não conformidade não produz perturbações na funcionalidade e desempenho do produto...	Processos subsequentes não são afetados pela não conformidade...	Não conformidade não gera custos de ineficiência, refugo e/ou retrabalho...
	3	↓ ...se for percebida, leva a insatisfações não relevantes.	↓ ...efeitos da não conformidade não são funcionalmente relevantes.	↓ ...processos subsequentes podem ser ligeiramente afetados, mas sem perda de produtividade.	↓ ...gera incrementos de custos menores aos necessários para melhorar o processo.
MÉDIA	4	Não conformidade significativa, que resulta em pequenas insatisfações junto ao cliente...	Não conformidade pode levar à perda parcial das características funcionais do produto, ...	Não conformidade pode gerar perturbações na sequência do processo fabril, produzindo retardos e exigindo retrabalhos...	Não conformidade pode comprometer custos junto a processos subsequentes maiores que os custos de otimização do processo atual...
	6	↓ ...resulta em insatisfações que podem afetar a decisão do cliente de comprar o produto ou produtos da mesma marca	↓ ...pode ser necessária a intervenção da assistência técnica para operacionalização do mesmo. Intercambiabilidade pode estar afetada.	↓ ... pode induzir perda (refugo) de produto nos processos subsequentes.	↓ ... pode comprometer o valor que o processo subsequente agrega ao produto.
ELEVADA	7	Grande impacto da não conformidade, expectativas básicas do cliente não são atendidas...	Produto/componente opera com grandes restrições e baixa confiabilidade devido à não conformidade...	Não conformidade pode produzir danos nos equipamentos associados aos processos subsequentes ou tem efeitos que podem levar à parada da produção...	Não conformidade pode levar à re-negociação de datas de fornecimento, logística elevada, e perda de credibilidade junto ao cliente...
	10	↓ ...segurança do cliente pode ser afetada.	↓ ...produto/componente não opera ou desenvolve um modo de operação perigoso para o usuário ou ambiente.	↓ ...tem efeitos que podem gerar ferimentos nos funcionários que operam os processos subsequentes.	↓ ... pode levar à devolução do produto ou cancelamento do contrato, ao pagamento de multas e indenizações. Perda definitiva do cliente é possível.

Fig. 3.6: Critérios e pontuação para determinação da relevância do característico.

3.2.2 O SUBSISTEMA "AVALIAÇÃO DO RISCO DO PROCESSO"

Processos estão sujeitos a influências de várias naturezas, o que tem por consequência a alterações nos produtos nele gerados. A somatória destas influências podem ser responsáveis por desvios de caráter sistemático e/ou aleatório do processo, cujos efeitos podem levar a não conformidade tanto de características relativos ao próprio processo quanto ao produto por ele gerado /51/. Processos cujos desvios podem levar a geração de produtos não conformes, representam um determinado risco quanto à qualidade do produto gerado, levando por consequência à uma avaliação da necessidade de inspeção do produto gerado. No subsistema de "Avaliação do Risco do Processo" busca-se avaliar a partir de parâmetros e informações históricas do processo, qual o risco de não conformidade que existe para o característico do produto em questão. Esta avaliação orienta-se analogamente às técnicas de análise de risco /16, 44/ utilizadas em métodos como FMEA e diagramas causa-efeito.

Para que a avaliação possa ser realizada, o característico necessita estar relacionado ao processo que o gerará na manufatura, sendo necessário para tal, o trabalho conjunto das áreas de planejamento do processo de produção e da inspeção. São necessários também dados confiáveis sobre as características do processo para uma avaliação segundo critérios qualitativos, comparativos e quantitativos conforme mostrado na figura 3.7, utilizados para enquadrar o risco em três categorias básicas: Baixo, Médio e Elevado.

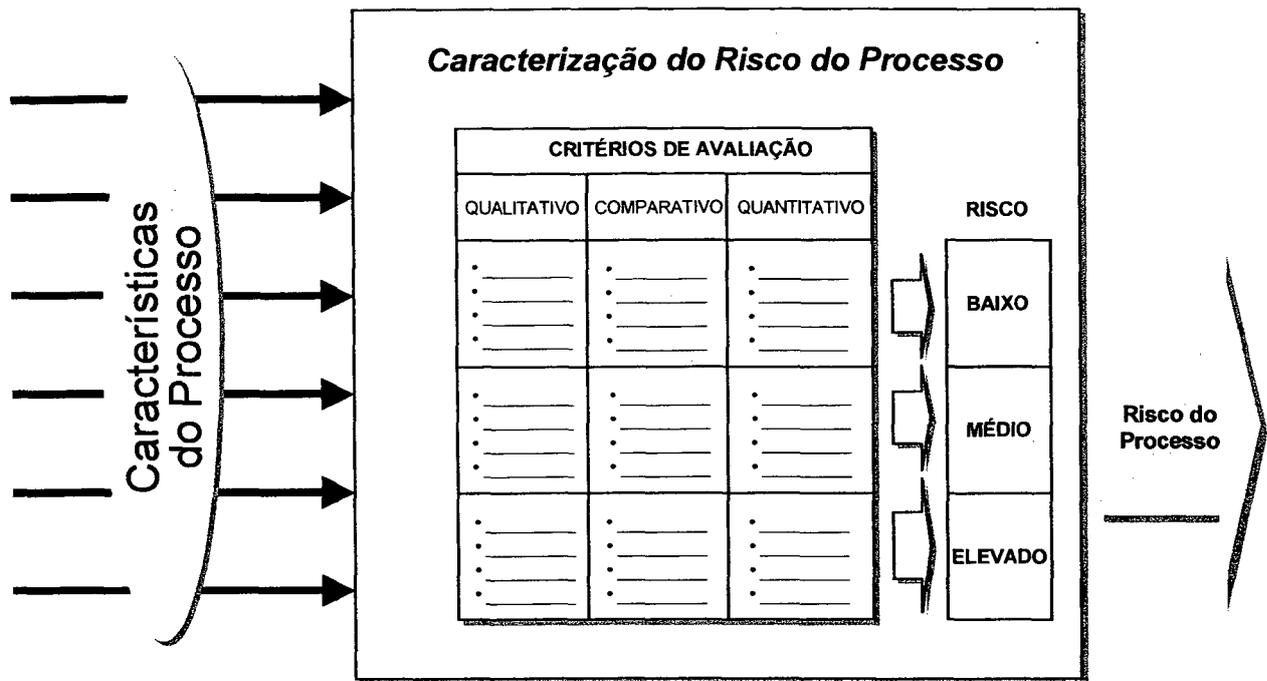


Fig. 3.7: Sistemática de avaliação do risco do processo.

Os critérios utilizados para avaliação do risco do processo devem ser adequados às características do sistema de produção da empresa e aos sistemas da qualidade que dispõe para monitorar seus processos e meios de produção. Em produções em grandes séries e/ou contínuas, onde são aplicáveis os métodos estatísticos, são priorizados como critérios de avaliação os indicadores quantitativos, a exemplo de índices de capacidade dos processos, cartas de controle e resultado de amostras de lotes piloto. Em processos cujos dados não permitem um processamento estatístico, a avaliação do risco torna-se mais subjetiva, apoiando-se prioritariamente sobre dados históricos e evidências objetivas, utilizando por exemplo descritivos de processo, procedimentos, relatórios de FMEA's, índices de refugo e retrabalho e índices de eficiência.

A metodologia propõe um conjunto de critérios genéricos segundo mostrado na figura 3.8, aplicáveis a um amplo leque processos e sistemas de produção, que merecem porém detalhamentos na medida do seu uso em um sistema de produção mais específico.

RISCO DO PROCESSO		
BAIXO	MÉDIO	ELEVADO
<ul style="list-style-type: none"> • Não conformidades são eventuais e isoladas. • Processo está sob controle estatístico. • Plano de produção avaliado e aprovado. • Histórico de produção indica estabilidade. 	<ul style="list-style-type: none"> • Processo apresenta não conformidades ocasionais, mas não em maiores proporções • Processo está sob controle estatístico. • Índices de refugo e retrabalho flutuam. 	<ul style="list-style-type: none"> • Falha é quase inevitável. • Comportamento similar a anteriores que apresentaram não conformidades freqüentes • Processo não está sob controle estatístico. • Históricos de produção indicam processo instável.
Taxa de falha < 1/10.000	Taxa de falha $\geq 1/10.000$ e $\leq 1/1.000$	Taxa de falha > 1/1.000
$C_p \geq 1,67$ e $C_{pk} \geq 1,33$	C_p e $C_{pk} \geq 1,0$	

Fig. 3.8: Critérios de avaliação do risco do processo.

Caberá ao planejador da inspeção analisar o processo que gerará o característico, frente aos critérios estabelecidos, buscando enquadrá-lo em uma das três categorias de risco. Em caso de múltiplas possibilidades, o enquadramento escolhido deverá ser o de maior risco, de forma coerente com a busca pela conformidade do característico.

3.2.3 O SUBSISTEMA "DETERMINAÇÃO DA NECESSIDADE DE INSPEÇÃO"

A necessidade de inspeção é definida por meio de uma matriz de decisão, a partir da combinação do risco do processo e da relevância do característico. A decisão extraída da matriz apresentada na figura 3.9 é o resultado da análise de cada um dos nove campos formados pela combinação entre os três níveis de risco do processo e os três relativos à relevância dos característicos.

		RISCO DO PROCESSO		
		BAIXO	MÉDIO	ELEVADO
		<ul style="list-style-type: none"> • Não conformidades são eventuais e isoladas. • Processo está sob controle estatístico. • Plano de produção avaliado e aprovado. • Histórico de produção indica estabilidade. 	<ul style="list-style-type: none"> • Processo apresenta não conformidades ocasionais, mas não em maiores proporções. • Processo está sob controle estatístico. • Índices de refugo e retrabalho flutuam. 	<ul style="list-style-type: none"> • Falha é quase inevitável. • Comportamento similar a anteriores que apresentaram não conformidades freqüentes. • Processo não está sob controle estatístico. • Históricos de produção indicam processo instável.
		Taxa de falha < 1/10.000	Taxa de falha $\geq 1/10.000$ e $\leq 1/1.000$	Taxa de falha > 1/1.000
		$C_p \geq 1,67$ e $C_{pk} \geq 1,33$	C_p e $C_{pk} \geq 1,0$	----
RELEVÂNCIA DO CARACTERÍSTICO	BAIXA	NÃO INSPECIONAR	NÃO INSPECIONAR	NÃO INSPECIONAR
	MÉDIA	NÃO INSPECIONAR	INSPECIONAR & Avaliar relação U/IT utilizada para análise de C_p e C_{pk}	INSPECIONAR
	ELEVADA	INSPECIONAR & Utilizar dinamização	INSPECIONAR & Avaliar relação U/IT utilizada para análise de C_p e C_{pk}	INSPECIONAR

Fig. 3.9: Matriz de decisão.

Uma vez enquadrado o característico segundo sua relevância e definido o enquadramento do processo, é identificada na matriz a recomendação de inspecionar ou não inspecionar. Quanto menor o risco do processo e a relevância do característico, tanto maior é probabilidade da conformidade e a não geração de efeitos indesejados, a ponto de inspeções para fins de comprovação da conformidade poderem ser

dispensadas. Quanto maior a relevância do característico e o risco do processo, menor a probabilidade de conformidade, e maior a perda gerada por efeitos indesejados para o cliente interno e externo, de forma que a inspeção se torna imprescindível. A matriz apresenta as indicações para cada uma das possíveis combinações intermediárias.

Há de se mencionar, que o método proposto pressupõe a inalterabilidade dos processos, e os resultados da matriz tem validade pelo período de tempo durante o qual a condição de enquadramento de relevância e de risco se mantiver inalterada. Substanciais alterações a nível de especificação do característico, seqüenciamento do processo de produção e/ou valores de desempenho do processo, conduzem a uma reavaliação do enquadramento na matriz. A documentação gerada pela aplicação do método é, portanto, de caráter dinâmico.

Uma análise da matriz linha por linha mostra uma tendência forte para a inspeção na medida em que a relevância do característico cresce. Atenção especial despertam nesta análise os três seguintes campos na matriz:

- Relevância média ou elevada e risco médio:

Estes dois campos devido ao seu risco de não conformidade recomendam realizar a inspeção. Estes campos estão próximos a combinações de risco e relevância onde uma não inspeção seria possível, minimizando custos. Opções para migrar para uma não inspeção seriam:

- a) Verificar com que relação de U/IT (Incerteza de Medição/Intervalo de tolerância) estão sendo realizadas as medições utilizadas no cálculo de C_p e C_{pk} . Tem sido sugerido que os erros de medição distorcem os valores dos índices de capacidade de processos /52/. Segundo /53, 54, 55, 56/ relações U/IT superiores a 1/10 em valores de C_p e C_{pk} acima de 1,0 podem levar a distorções significativas na avaliação da capacidade de processos. Sendo possível utilizar um sistema de medição com incerteza menor, as

distorções em C_p e C_{pk} seriam minimizadas, derivando eventualmente para um re-enquadramento de risco de processo [1].

- b) Otimizar o processo, de forma que para a mesma relevância o risco se reduza para "baixo risco".
- c) Rever a especificação do característico e/ou o processo de produção, de forma que sua relevância possa cair para baixa. Esta é uma opção que necessita uma análise cautelosa, uma vez que requer um trabalho amplo de revisão de seus desdobramentos, em alguns casos podendo chegar até aos requisitos definidos pelo cliente na fase de definição do produto.

[1] A estimativa da capacidade de um processo de manufatura é afetada pelos erros de medição. Mittag /52/ analisou do ponto de vista estatístico as influências dos erros aleatórios e sistemáticos para diversos índices de capacidade. Erros aleatórios aumentam o espalhamento da distribuição dos resultados de medição frente a distribuição dos valores verdadeiros, de forma a principalmente levar a estimativas conservativas da capacidade do processo. Erros sistemáticos constantes produzem um deslocamento do valor médio da distribuição, distorcendo os valores de C_{pk} , C_{pm} e C_{pmk} . Reconhecendo estas considerações, alguns autores propõe equações para corrigir os valores de índices de capacidade estimados normalmente em ambientes fabris. Hernla /54/ e Weckenmann /55/ propõem estimar a real variância do processo reduzindo da variância dos resultados o quadrado da incerteza de medição padrão. Donatelli *et al.* /56/ sugere que contribuições sistemáticas na incerteza não devem ser tratadas como variáveis randômicas independentes, mas como curvas randômicas. A partir desta proposição, pode-se obter um intervalo de confiança de 95% para os valores verdadeiros de capacidade. Com a finalidade de simplificação, o autor propõe usar a pior capacidade que seja consistente com as condições de medição, que é o menor valor no intervalo de confiança de 95%.

As ações acima sugeridas compreendem as recomendações de adequação de parâmetros que a metodologia sugere como segundo grupo de informações de saída. Estas recomendações demandam investimentos relativamente reduzidos para buscar uma minimização da inspeção. Investimentos maiores poderão ser demandados caso seja avaliado ser conveniente a otimização do processo e/ou a revisão da especificação do característico nas fases de projeto e planejamento.

4 INTEGRAÇÃO DA METODOLOGIA NA GARANTIA DA QUALIDADE

A metodologia está concebida para atuar de forma integrada na garantia da qualidade, interagindo com vários setores e processos na empresa, conforme mostrado na figura 3.1. Por um lado ela demanda um conjunto expressivo de informações de entrada (ver figura 3.3), e por outro lado é também geradora de informações úteis para outros processos no desenvolvimento de produtos. Esta interação será abordado nos itens a seguir.

4.1 POSICIONAMENTO DA METODOLOGIA NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

O planejamento da inspeção é uma atividade que antecede o processo de produção. Ele localiza-se nas fases de planejamento do processo e da produção, e deveria ser realizado tão logo as informações de entrada para a metodologia estejam definidas. Recomenda-se especialmente que o planejamento da necessidade de inspeção ocorra o quanto antes possível, para que eventuais adequações a nível de processo de produção e projeto possam ser realizadas em estágios onde ainda é relativamente simples e barato implementá-las /1, 2/. Uma vez que a metodologia oferece interessantes possibilidades de análises de caráter preventivo (potenciais efeitos de não conformidade, correlação destes com o risco do processo de produção, recomendações de adequação), sua utilização deveria concentrar-se na interface entre o projeto e o planejamento do processo de produção.

A figura 4.1 apresenta a interação de alguns macro-processos do desenvolvimento de um produto com técnicas da garantia da qualidade. A metodologia proposta insere-se neste sistema, e passa ser parte integrante e ativa, desempenhando um papel importante nos ciclos de realimentação da qualidade /1/ que devem subsidiar o processo de melhoria contínua dos produtos gerados.

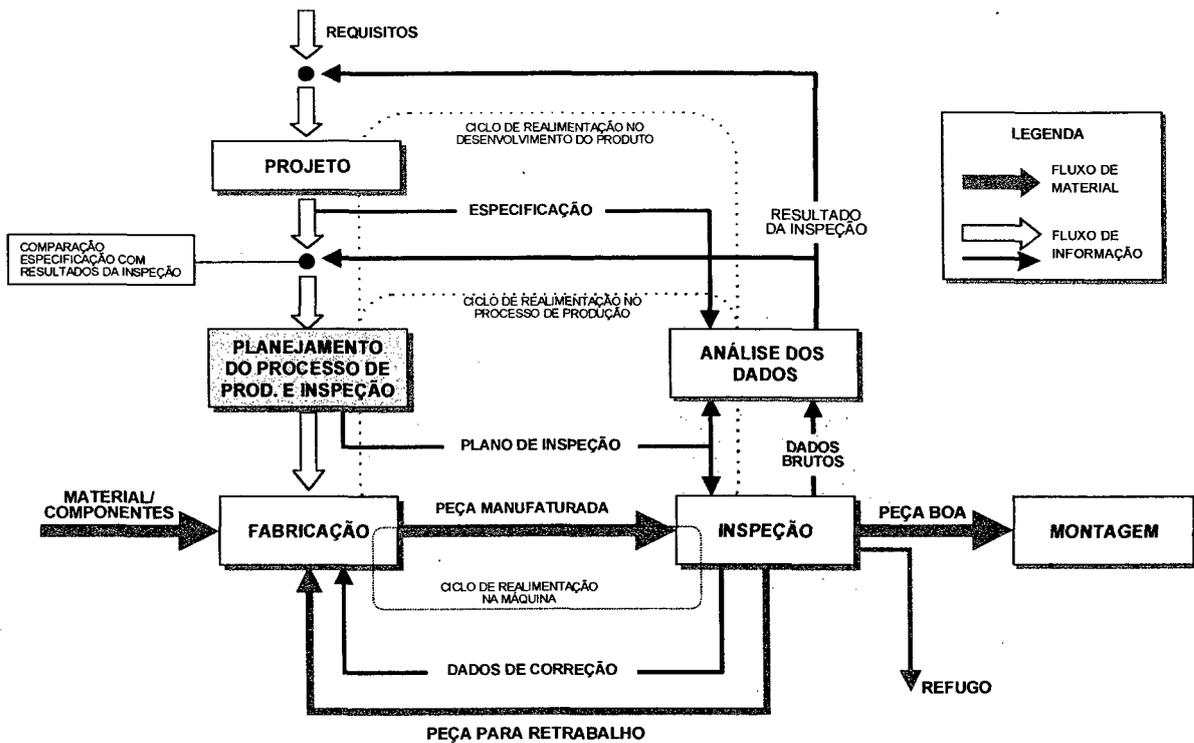


Fig. 4.1: Ciclos de realimentação da qualidade no desenvolvimento de produtos.

Adaptado de Redecker /7/.

No processo de desenvolvimento do produto, os resultados das inspeções ao serem avaliados frente as especificações, podem levar basicamente a ações corretivas em três níveis distintos. O primeiro nível, operacionalizado através do ciclo de realimentação da qualidade na máquina, atua localmente, em forma de um feed-back de malha fechada, sem alterações a nível do processo de produção e do processo de inspeção. O segundo nível de ações corretivas demanda eventualmente adequações que tangem os processos de produção e o processo de inspeção envolvidos, buscando assegurar a qualidade através de adequações no planejamento destes processos. Um terceiro nível de adequações pode ser demandado, de forma que alterações a nível de projeto do produto e planejamento do processo de produção e inspeção se façam necessárias.

O subsistema "Avaliação do Risco do Processo" da metodologia proposta (ver figura 3.4) interage com primeiro e o segundo nível de ações corretivas, que compreendem o ciclo

de realimentação da qualidade na máquina (fabricação → inspeção → fabricação) e no processo de produção (planejamento da inspeção → fabricação → inspeção → análise dos dados → planejamento da inspeção). Dados atualizados de inspeções entram no subsistema, permitindo avaliar a manutenção dos níveis de risco dos processos frente a decisão de inspeção, bem como as informações sobre o processo para a confirmação da decisão de inspeção ou sua revisão.

O ciclo da qualidade no terceiro nível (projeto → planejamento da inspeção → fabricação → inspeção → análise dos dados → projeto), que envolve a realimentação a nível de desenvolvimento do produto, envolve adicionalmente de forma intensiva o subsistema "Determinação da Relevância do Característico", revisando informações, requisitos e especificações do característico, tendo em vista uma otimização do processo de garantia da qualidade do produto.

Sendo partícipe ativa na malha de realimentação da qualidade no desenvolvimento de produtos, a metodologia caracteriza-se como componente de um sistema eficaz de garantia da qualidade e agregadora de valor no conceito de custos da qualidade (custo da conformidade) /4/.

4.2 INTERFACES COM ÁREAS CORRELATAS

Um aspecto relevante da metodologia proposta, é sua abrangente sistemática (cliente interno e externo, processo de produção, produto e custos) de identificação da importância do característico, buscando avaliar a necessidade de sua inspeção. Para viabilizar esta avaliação (ver item 3.2.1), faz-se necessária a interação de várias áreas da empresa e do desenvolvimento do produto, identificando e analisando informações demandadas pela metodologia. As áreas envolvidas nesta troca de informações estão mapeadas na figura 4.2, que evidencia também o grande número de interfaces de comunicação existentes com o planejamento da inspeção.

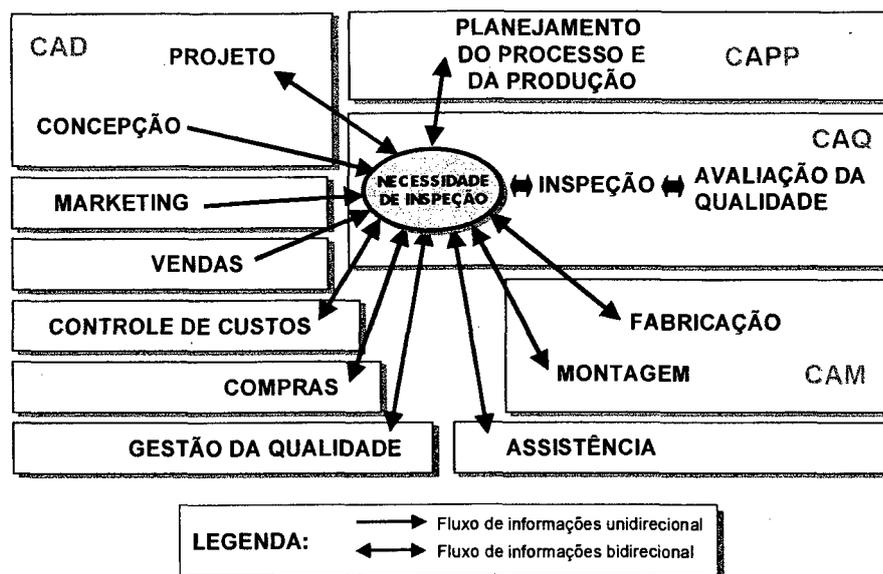


Fig. 4.2: Áreas envolvidas na determinação da necessidade de inspeção.

Interfaces de comunicação entre áreas podem ser grandes gargalos que impedem o fluxo de informações relevantes. O trabalho em times de engenharia simultânea e o uso de ferramentas metodológicas do tipo diagramas causa-efeito, check-list, histogramas, árvores de falha, árvores funcionais e diagramas de correlação, são as ferramentas que o planejador da inspeção utilizará para obter os necessários inputs de informação à metodologia e processá-los adequadamente.

O uso crescente de ferramentas metodológicas no planejamento e na gestão dos processos industriais, bem como a rápida implantação de sistemas informatizados integradores como PDM (Product Data Management Systems) /57, 58, 59/ permitirão em breve superar algumas das principais barreiras relativas a sistematização e o acesso a informações. Sistema CAQ – Computer Aided Quality Management /60, 61/ já assumem atualmente a função de dar suporte ao gerenciamento e à integração de informações, disponibilizando-as em formatos diversos para serem acessados e processados na continuidade. FMEA's, cartas de controle, históricos de produção, e outros módulos integram sistemas CAQ modernos, oportunizando seu interfaceamento em termos de troca de dados, por meio de interfaces de comunicação padronizadas

internacionalmente, a exemplo do padrão STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data) /46/. O modelo conceitual deste trabalho uma vez validado, poderá/deverá ser operacionalizado através de uma ferramenta informatizada, atribuindo-lhe a necessária capacidade de processamento rápido de informações, interação com bases de dados, troca de dados com sistemas CAx e interfaceamento com sistemas de controle de processo e rastreamento de dados.

A figura 4.3 apresenta os principais provedores de informação à metodologia, os meios e as formas de transferência de informações, ainda a nível conceitual. Ressaltes-se que a contribuição que áreas como compras e assistência técnica tem a dar ao processo é de extrema relevância, justamente por atuarem na interface interna/externa, onde informações comumente não são transferidas e consideradas a contento, especialmente devido ao efeito gargalo acima mencionado. As informações deles advindas agregam valor especial à avaliação da relevância do característico, trazendo para dentro da fase de planejamento da garantia da qualidade, aspectos normalmente somente percebidos externamente e pós-processo.

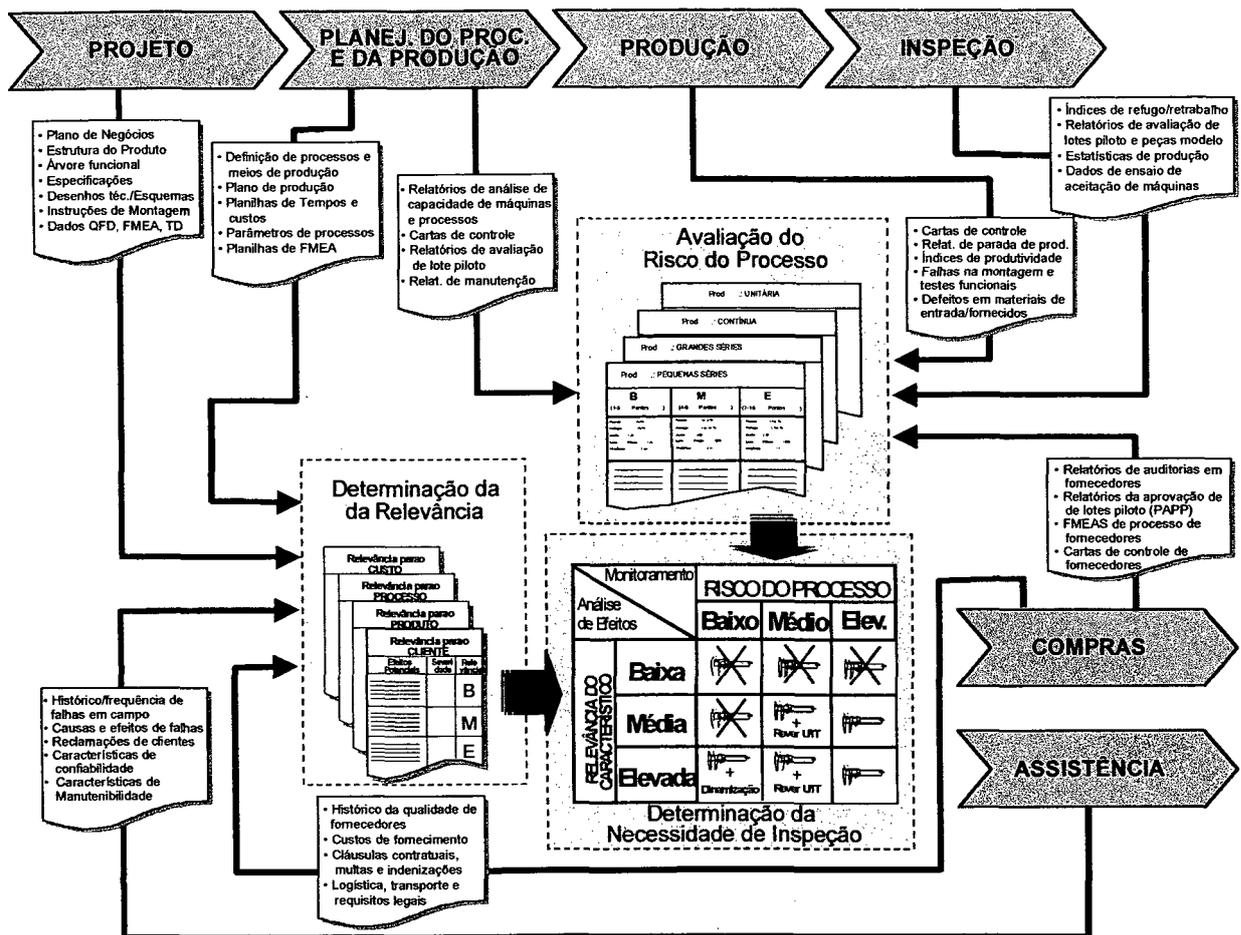


Fig. 4.3: Fontes e meios de informação de entrada para a metodologia.

A dinâmica demandada para prover informações de entrada à metodologia evidencia a necessidade da empresa estar minimamente organizada, e trabalhar segundo os princípios da engenharia simultânea. Em sendo um propósito da metodologia incentivar o uso de técnicas de prevenção e da engenharia simultânea, estas passaram a fazer parte da própria forma de uso da metodologia.

4.3 FORMAS DE UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA

A forma primeira de uso da metodologia prevê a determinação da necessidade de inspeção de um característico pré-selecionado, a partir da identificação de sua

relevância e a avaliação do risco do processo, conforme descrito em 3.2. A pré-seleção do característico ocorre durante o processo de projeto e planejamento da produção, e baseia-se fundamentalmente na experiência do projetista e do planejador de processos, em normas, procedimentos da qualidade e/ou cláusulas contratuais, de caráter voluntário.

Esta forma de uso é a forma convencional, viável a partir do momento em que a metodologia estiver validada. Vale lembrar que no atual estágio, a metodologia é um modelo conceitual. A forma convencional caracteriza-se pelo seguinte procedimento: a partir da correlação da relevância do característico com o risco do processo, busca-se determinar a necessidade de inspeção, representado por:

$$NI = f(RC; RP)$$

sendo: RC → Relevância do Característico (item 3.2.1)

RP → Risco do Processo (item 3.2.2)

NI → Necessidade de inspeção (item 3.2.3)

f → Função transferência definida pela matriz (modelo heurístico)

O modelo heurístico da função transferência baseia-se nas evidências práticas do uso da análise e avaliação de risco /1, 4, 33, 60/, análise de valor /1, 60/, e métodos estatísticos de avaliação de processos /5, 6, 9, 31, 38, 45/. Ferramentas como QFD, FTA, FMEA, CEP de aplicabilidade reconhecida e recomendadas em sistemas da qualidade e futuras normas baseiam-se sobre os mesmos fundamentos.

A metodologia lança mão de vários princípios da engenharia da qualidade de comprovada eficácia, a exemplo da engenharia simultânea, análise e avaliação de risco, análise de valor, avaliação de processos e indicadores estatísticos, tanto para a função de levantamento das informações, quanto para a sistematização e posterior processamento. Algumas ferramentas específicas utilizadas na prática industrial como QFD, FMEA, FTA's e CEP podem interagir de formas diversas com a metodologia, por

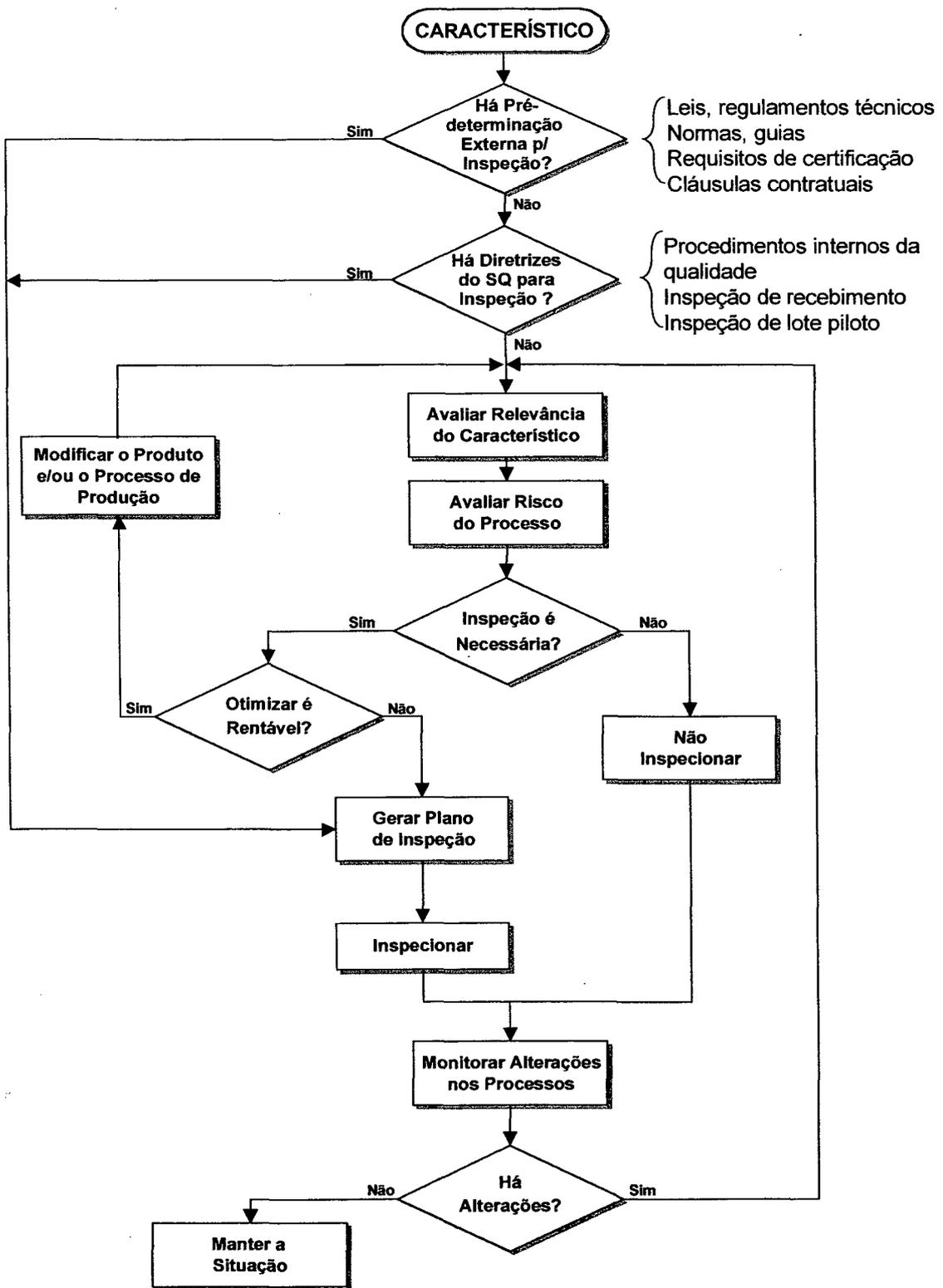


Fig. 4.5: Sistemática de operação da metodologia.

Além da forma convencional, a metodologia oferece outras formas de uso, a exemplo de algumas combinações mostradas na figura 4.6. A figura apresenta possibilidades de combinação entre duas variáveis conhecidas e/ou pré determinadas, para identificação da terceira variável. Esta é uma possibilidade real, quando por razões técnicas ou econômicas, uma inspeção é impraticável. Neste caso, identifica-se na matriz de decisão quais combinações de risco do processo e relevância do característico viabilizam a não inspeção. Uma possibilidade para este caso está mostrada no exemplo 2, onde conhecido e/ou estimado o risco do processo como médio, a não inspeção só é possível se a relevância do característico em questão for baixa. O enquadramento da relevância requer atenção para os quatro enfoques considerados no item 3.2.1 (cliente, produto, processo de produção e custos), especialmente para aquele crítico que determina o valor desta.

Exemplo	Entrada		Saída	Ações consequentes
	Variável 1	Variável 2		
1	Risco do processo Médio	Relevância do característico Média	Inspeccionar	Checar correção no valor de C_p devido a Incerteza de Medição
2	Risco do processo Médio	Não inspeccionar	Relevância do característico tem que ser baixa	Projetar especificação do característico para atender critérios de baixa relevância nos quatro enfoques (cliente, produto, processo, custo)
3
4	Relevância do característico Elevada	Não inspeccionar	Combinação inconsistente	Rever especificação do característico
5
6	Relevância do característico Elevada	Não inspeccionar	Combinação inconsistente	Para manter variável 2, otimizar processo e rever especificação do característico

Fig. 4.6: Exemplos de possibilidades de uso da metodologia.

Uma vez coletados dados com o uso da metodologia, ela passa a operar como um catálogo orientativo, onde o projetista, o planejador de processo, a garantia da qualidade, compras e demais áreas relacionadas (ver figura 4.2) podem buscar informações com vistas a encaminhar/desenvolver soluções que atendam as restrições e ou intenções que estejam sendo necessárias. Ressalte-se aqui, que a metodologia assim estruturada diferencia-se da maioria das ferramentas convencionalmente utilizadas, que comumente não apresentam a funcionalidade de duplo sentido.

Outro aspecto relevante é que através da possibilidade de inversão no sentido de uso da metodologia, a viabilidade técnica e a viabilidade econômica da inspeção passam a interagir no processo decisório, oportunizando uma avaliação custo/benefício numa fase ainda de planejamento. Outrossim torna-se viável planejar de forma mais eficaz custos/investimentos em infra-estrutura metrológica, assim como análises referentes a terceirizações de processos e/ou inspeções devido aos custos estimados.

Evidencia-se pelos exemplos acima, que a metodologia operando em duplo sentido, constitui-se em uma ferramenta de engenharia simultânea, sistematizadora de informações em áreas de interface, agregadora de valor ao processo de desenvolvimento de produtos. Sua eficácia pode ser maximizada por meio de sua customização às características e especificidades da empresa.

A possibilidade de uso da metodologia nesta forma, torna-a uma ferramenta extremamente versátil, de suporte a várias áreas e processos do desenvolvimento do produto, conforme mostrado na figura 4.7. Nas fases de planejamento de um produto ou processo, informações preliminares podem ser levadas para pré-avaliação na metodologia (veja vetor dados e informações na figura), buscando avaliar se a composição de especificações e históricos de risco de processo levariam o característico em análise a uma necessidade de inspeção. Em casos nos quais a relevância do característico é de ordem elevada, porém sem possibilidades de minimização, estudos preliminares por meio da matriz de decisão permitirão avaliar qual seria um desempenho adequado para o processo, a ponto de a inspeção embora necessária, poder ser realizada com dinamização (skip-lot). Caso nem através da adequação das

especificações do característico nem da disponibilidade de um processo com risco suficientemente baixo seja possível evitar a inspeção, tem-se então já neste estágio embrionário de planejamento, uma pré-informação sobre a necessidade de inspeção. Esta por sua vez possibilita verificar em tempo hábil a viabilidade técnica da inspeção, a disponibilidade de infra-estrutura, os custos associados, bem com uma avaliação do menor custo frente as possibilidades que se oferecem de adequação do das especificações do produto/processo, otimização do processo, mudança de processo e/ou terceirização da manufatura.

Uma vez disponíveis suficientes dados históricos e uma experiência prática no uso da metodologia, esta passa a ser uma ferramenta ativa, de grande possibilidade de uso nas fases de planejamento da qualidade.

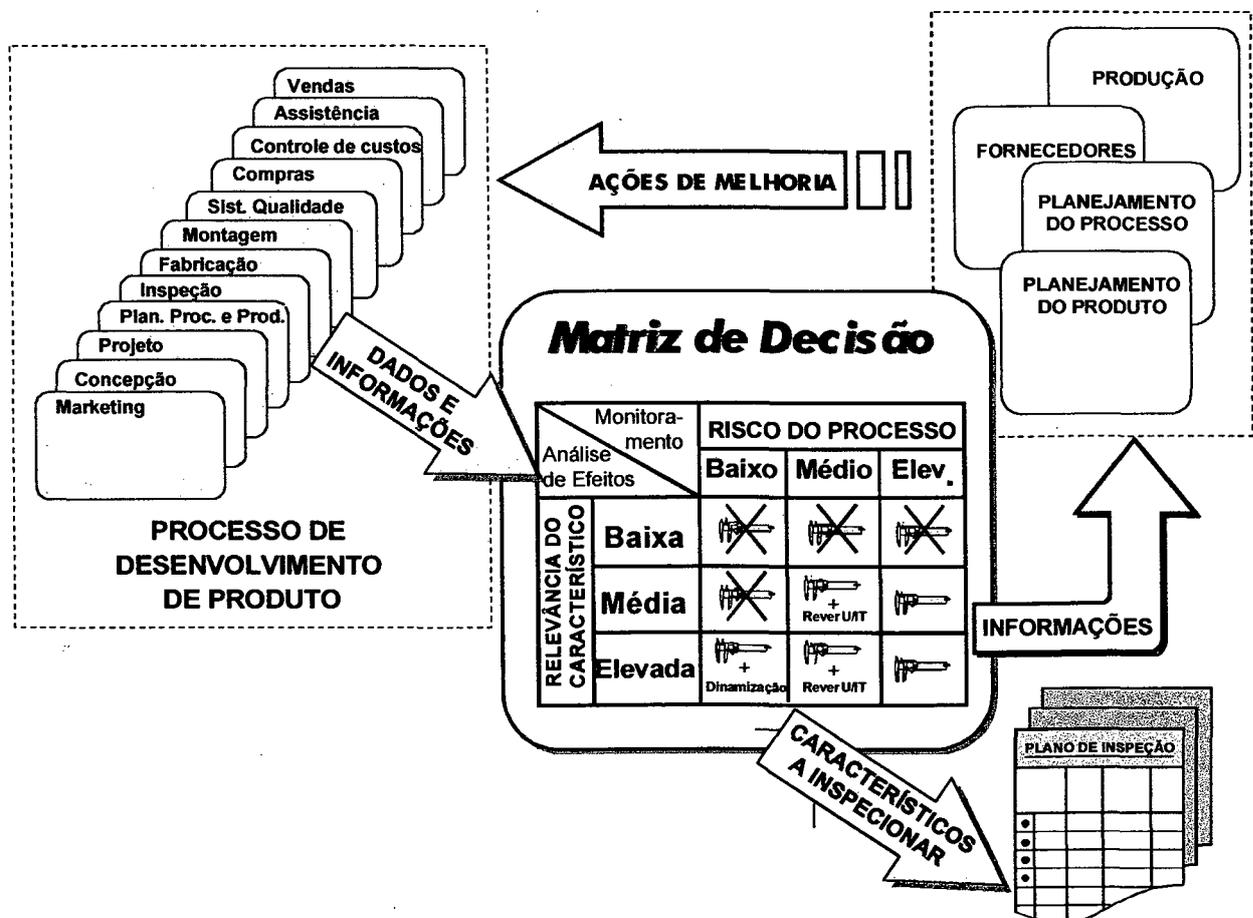


Fig. 4.7: Uso da metodologia como ferramenta da garantia da qualidade.

Aspecto relevante adicional a considerar com relação ao "feed-back" da metodologia aos demais processos no desenvolvimento do produto, é a possibilidade de identificar e responder:

- "porque" realmente o característico necessita ser inspecionado,
- que influências o característico tem, que anteriormente não havia sido percebida (devido a falta de interação entre as áreas que definem especificações, processos, parâmetros, custos etc....).

Estas duas questões são aqui ressaltadas, devido a constatação tanto a nível de pesquisa bibliográfica quanto nas interações com especialistas e empresas, que a razão da inspeção nem sempre está claramente definida, nem tampouco sua relação com as demais áreas do processo de desenvolvimento do produto e aspectos organizacionais das empresas.

Estes aspectos podem induzir a reflexões sobre casos similares, de forma que o processo de planejamento da inspeção passa a ser também um indutor para reflexões e análises mais sistêmicas e abrangentes na prática industrial.

Para um uso da metodologia na amplitude proposta, fazem-se necessárias adequações dos critérios de relevância dos característicos às especificidades da empresa, do produto e do processo produtivo, bem como ajustes nos respectivos subsistemas da metodologia em conformidade com os sistemas da qualidade de cada empresa

4.4 AÇÕES PARA A CONSOLIDAÇÃO DA METODOLOGIA NA PRÁTICA

A metodologia desenvolvida neste trabalho constitui-se em modelo conceitual /21/, genérico e abrangente. Para consolidar-se como uma ferramenta de aplicabilidade na prática industrial, integrada à garantia da qualidade, a metodologia deverá:

- Ser validada quanto ao modelo heurístico, os critérios e as correlações utilizadas.
- A partir de um case de referência, será necessário avaliar inicialmente para um caso representativo, os resultados da metodologia com os resultados do método

usado como referência. Este trabalho demanda uma análise crítica inicial do método usado para a comparação quanto a abrangência de sua abordagem e a comparabilidade dos métodos, assim como a eficácia deste quanto a indicadores da qualidade e de custos.

- Ser avaliada frente a relação custo & benefício de seu uso. Uma vez validada a metodologia, far-se-á necessária a adequação desta às especificidades antes de sua estruturação/implementação. O volume inicial de trabalho para seu uso é expressivo, especialmente na implantação e formação de uma base de informações históricas. A avaliação do custo de implementação e de operação frente aos benefícios de garantia da qualidade necessitam ser avaliados através de simulações e ou medições.
- Ser avaliada quanto a sua robustez. Fatores como informações de entrada com grau de incerteza variável, dados estimados/definidos por analogia, incertezas no detalhamento dos critérios de enquadramento de risco do processo e análise da relevância, aleatoriedades na avaliação de critérios e outros fatores mais, interagem de forma a gerar uma variabilidade na saída da metodologia. Esta variabilidade frente a variabilidade dos fatores acima mencionados necessita ser conhecida/dimensionada, para uma análise da robustez da ferramenta.

Uma vez avaliada como técnica e economicamente viável, e dado o volume expressivo de informações necessárias serem sistematizadas, armazenadas e processadas (vide figura 4.3) para avaliar a necessidade de inspeção, a implementação da metodologia em forma de uma ferramenta informatizada se faz indispensável. Como ferramenta informatizada, será necessário dispor de facilidades para troca de informações com sistemas CAx, PDM/EDM, bases de dados e demais ferramentas da garantia da qualidade, integrando-a ao processo de desenvolvimento de produto na empresa.

As seguintes ações complementares serão recomendadas para um uso integrado da metodologia no ciclo de desenvolvimento de produtos em uma empresa:

- implementação em forma de uma ferramenta informatizada,
- interfaceamento com demais sistema de informação,
- compatibilização/interfaceamento com ferramentas usuais da garantia da qualidade.
- customização para segmentos industriais onde seu uso se mostrar mais apropriado,
- ajustada ao perfil e ao sistema de informação da empresa.

Por ser a metodologia uma ferramenta de suporte na interface entre vários processos do desenvolvimento de um produto, concebida para atuar num contexto de engenharia simultânea e interagir com uma grande leque de informações de distintas fontes, necessita ser implementada em forma de uma software-tool, possivelmente como módulo de um sistema CAQ. Sistemas CAQ comerciais modernos são concebidos em forma modular, sendo que os de maior porte já oferecem tools para gerenciamento das inspeções, CEP, FMEA e gerenciamento dos meios de medição. Não se tem conhecimento até o momento de um módulo ou software que ofereça um suporte à determinação da necessidade de inspeção, a exemplo da metodologia apresentada neste trabalho.

5 CONCLUSÕES

Como resultado deste trabalho, obteve-se uma metodologia para a determinação da necessidade de inspeção na manufatura que apresenta como principais características a "sistematização do processo de definição da necessidade de inspeção", sua "integração no processo de desenvolvimento de produtos e à garantia da qualidade", "foco na qualidade do produto e do processo", ênfase na "prevenção de falhas", "flexibilidade para atender especificidades de segmentos industriais", e geração de informações que "agreguem valor ao processo de desenvolvimento de produtos".

Estudos bibliográficos, visitas em empresas referenciais, análise de "cases", estudo de sistemas CAQ, discussão com especialistas e criação, formaram a base para o desenvolvimento deste modelo conceitual. Basicamente, a metodologia desenvolvida consiste em definir a necessidade de inspeção de um característico de produto ou de processo, a partir da correlação em uma matriz de decisão da importância do característico em análise e o risco de não conformidade que o processo que o gera apresenta. É proposta uma sistemática para a determinação da relevância do característico e um conjunto de critérios para avaliação do risco dos processos. Em função da combinação de risco e relevância, a matriz indica a necessidade ou não da inspeção do característico, subsidiando complementarmente para os casos de necessidade de inspeção, em quais parâmetros poderiam ser realizadas adequações buscando evitar a inspeção por razões econômicas e ou técnicas.

A metodologia estruturada como modelo conceitual, apresenta como principais deficiências a "demanda um grande volume de informações de entrada", a "pressuposição de um elevado grau de organização da potencial empresa usuária", avaliações pautadas sobre um relativo "grau de subjetividade", não suficiente aprofundamento da temática de "custos" na determinação da relevância do característico, assim como possíveis elevados "custos de implementação".

A partir da importância do tema, da base formada pelo modelo conceitual, das deficiências existentes e das oportunidades de ampliação do tema, podem ser recomendadas as seguintes ações de continuidade:

- validação da metodologia: o modelo conceitual deverá ser testado na prática industrial, tendo como referência um sistema que tenha evidenciado eficácia,
- análise da robustez do método: como o método pauta-se sobre informações e dados de várias naturezas e provedores, será necessário avaliar com profundidade a confiabilidade da resposta do método frente a variabilidade dos dados de entrada,
- informatização do método: o volume de informações com o qual o método trabalha demanda ser informatizado, e integrado com demais ferramentas CAx e método da engenharia da qualidade,
- avaliação da relação custo/benefício: o benefício financeiro associado ao uso desta metodologia deve, uma vez a metodologia validada e customizada a uma aplicação piloto, ser avaliada frente ao custo de sua implementação. Para tal, um modelo de custos será imprescindível, que permita subsidiar esta avaliação.

O status atingido com o presente trabalho permite identificar um grande potencial de atuação na continuidade deste tema, face a constatação de não existência de métodos semelhantes consolidados por um lado e por outro, uma grande demanda por sistematização, racionalização e integração no ciclo de desenvolvimento de produtos nas empresas industriais competitivas. Sugere-se por esta razão a continuidade deste trabalho nas vertentes acima apontadas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- /1/ Pfeifer, T.: Qualitätsmanagement: Strategien, Methoden, Techniken. Carl Hanser Verlag, München, 1996.
- /2/ Klonaris, P.: Systemkonzept zur frühzeitigen Einsatzplanung von Prüfmitteln. Dissertation RWTH-Aachen, Aachen, 1998.
- /3/ Eversheim, W.; Kerwat, H.; Scheitzer, G.: Integrierte Produktoptimierung: die Qualität von bestehenden Produkten steigern und ihre Herstellkosten senken. Revista Qualität und Zuverlässigkeit - QZ 43/6, Carl Hanser Verlag, München, 1998.
- /4/ Reinhart, G.; Lindemann, U.; Heinzl, J.: Qualitätsmanagement: ein Kurs für Studium und Praxis. Springer-Verlag, Heidelberg, 1996.
- /5/ Masing, W.: Handbuch Qualitätsmanagement. Carl Hanser Verlag, 3. Auflage, München, 1994.
- /6/ Dutschke, W.: Fertigungsmeßtechnik. B. G. Teubner, 3. Auflage, Stuttgart, 1996.
- /7/ Redecker, G.: Qualitätssicherung in der Produktion. Institut für Qualitätssicherung, Universität Hannover. Vorlesung für framekompatible Browser. Publicação Home-Page, <http://www.iq.uni-hannover.de>
- /8/ NBR ISO 8402/1994; Gestão da Qualidade e Garantia da Qualidade – Terminologia. ABNT, Rio de Janeiro, 1994.
- /9/ Paladini, E. P.: Gestão da Qualidade no Processo – A Qualidade na Produção de Bens e Serviços. Editora Atlas S.A., São Paulo, 1995.
- /10/ Reles, T.: Rechnerunterstützte Auswahl von Prüfmerkmalen im Rahmen der Prüfplanung für die mechanische Fertigung. Dissertation RWTH-Aachen, Aachen, 1985.

- /11/ Mecklenburg-Weiss, R.: Systemkonzept zur anwenderneutralen Prüfplanerstellung auf einem Kleinrechner. Dissertation RWTH-Aachen, Aachen, 1987.
- /12/ IFW – Institut für Fertigungstechnik und spanende Werkzeugmaschinen. Universität Hannover. Hypertextsystem zur Auswahl von präventiven Qualitätstechniken. Publicação Home-Page,
http://ifwpc8.ifw-uni-hannover.de/Bereich5/ma/qs_tech/qs_sysma.htm
- /13/ Pfeifer, T.: Fertigungsmeßtechnik. Carl Hanser Verlag, München, 1998.
- /14/ Zeller, P.: Automatisierte Prüfplanerstellung und Prüfzeichnungsgenerierung. Dissertation RWTH-Aachen, Aachen, 1990.
- /15/ Steinmetz, O. : Die Strategie der integrierten Produktentwicklung. Friedrich Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig, 1993.
- /16/ Deutsche Gesellschaft für Qualität e.V. Seminarunterlagen QPP 9803: Qualitäts- und Prüfplanung. Frankfurt am Main, Dez 1998.
- /17/ Ulrich, K. T.; Eppinger, S. D.: Product Design and Development. Mc Graw-Hill, Inc., New York, 1995.
- /18/ Cheng, L. C.; [et al]. QFD: Planejamento da Qualidade. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1995.
- /19/ Meerkamm, H.; Wartzak, S.: Verkürzung der Prozeßkette – Integration von Wissen in den Konstruktionsprozeß. Revista ZWF 93/9, Carl Hanser Verlag, München, 1998.
- /20/ Hahner, W.; Neumann, A.: Erfahrungen mit der Fehlermöglichkeiten- und -einfluß-Analyse. Revista "Werkstatt und Betrieb" Nr. 10, Carl Hanser Verlag, München, 1990.
- /21/ Fundação CERTI: Apostila Curso: Metodologia de Desenvolvimento Rápido de Produtos – Parte 1. CMOE, 1998.

- /22/ Spath, D.; Vossmann, D.; Kobinger, J.; Musiol, R. ; Schnurrer, J.: Qualitätsplanung vernetzen. Revista "Qualität und Zuverlässigkeit" - QZ 43/5, Carl Hanser Verlag, München, 1998.
- /23/ DIN EN ISO 14253-1: Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Prüfung von Werkstücken und Meßgeräten durch Meßen. Stand März 1999.
- /24/ Grabert, S.; Kamiske, G. F.; Sander, H. D.: Qualitätsmanagementsysteme nach ISO 9000: Wo liegen die Schwierigkeiten? Revista "Qualität und Zuverlässigkeit" - QZ 38/5, Carl Hanser Verlag, München, 1993.
- /25/ NBR ISO 9001/1994 - Sistema da Qualidade - Modelo para garantia da qualidade em projeto, desenvolvimento, produção, instalação e serviços associados. ABNT, Rio de Janeiro, 1994 .
- /26/ Wänke, M.: Knebelung oder Chance? Inhalt und Forderungen der QS-9000. Revista "Qualität und Zuverlässigkeit" - QZ 42/5, Carl Hanser Verlag, München, 1997.
- /27/ Loos, S.: QS-9000 und VDA 6.1: Inhalte, Unterschiede, Checklisten für die Zertifizierung. Carl Hanser Verlag, München, 1998.
- /28/ VDI Berichte 1445. Prüfmittelmanagement und Prüfmittelüberwachung. VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 1998.
- /29/ Eversheim, W.: Organisation in der Produktionstechnik – Konstruktion. Springer-Verlag, 3. Auflage, Berlin, 1998.
- /30/ Petrasch, R.; Schindler, J.: Bedeutung von Qualität erkannt. Revista "Qualität und Zuverlässigkeit" - QZ 43/5, Carl Hanser Verlag, München, 1998.
- /31/ Buhlman, R.: Risiken vermeiden: Risikomanagement – eine komplexe, interdisziplinäre Aufgabe. Revista "Qualität und Zuverlässigkeit" - QZ 43/1, Carl Hanser Verlag, München, 1998.

- /32/ Zebedin, H.: FMEA aus Sicht eines Motorenentwicklers. Revista "Qualität und Zuverlässigkeit" - QZ 43/7, Carl Hanser Verlag, München, 1998.
- /33/ Bläsing, J. P.: FMEA - Failure Mode and Effects Analysis; Seminarunterlagen. Steinbeis-Transferzentrum Qualität und Umwelt, Ulm, 1995.
- /34/ Armann, D.; Schenk, V.; Schubert, B.: Qualitätsplanung mit Kennzahlen. Revista "Qualität und Zuverlässigkeit" - QZ 43/6, Carl Hanser Verlag, München, 1998.
- /35/ Steinbeis-Transferzentrum Qualität und Umwelt: Werkzeuge für Simultaneous Engineering; Seminarunterlagen. Steinbeis-Transferzentrum Qualität und Umwelt, 3. Ausgabe, Ulm, 1995.
- /36/ IQA - Instituto da Qualidade Automotiva: Análise de Modo de Falha e Efeitos de Falha Potencial – Manual de Referência. São Paulo, 1997.
- /37/ Steinbeis-Transferzentrum Qualität und Umwelt: FMEA – Failure Mode and Effects Analysis; Seminarunterlagen. Steinbeis-Transferzentrum Qualität und Umwelt, 4. Ausgabe, Ulm, 05/1995.
- /38/ Herb, R.; Herb, T.; Kratzer, M.: Potentielle Fehler vollständig Erfassen. Revista "Qualität und Zuverlässigkeit" - QZ 43/2, Carl Hanser Verlag, München, 1998.
- /39/ Probst, R.: Dem Fehler keine Chance. Revista "Qualität und Zuverlässigkeit" - QZ 43/5, Carl Hanser Verlag, München, 1998.
- /40/ Anghel, C.: Meßgeräteeignung: Ermittlung der Meßgeräteeignung in der Automobilindustrie ein Vergleich. Revista "Qualität und Zuverlässigkeit" - QZ 42/4, Carl Hanser Verlag, München, 1997.
- /41/ Hernla, M.: Prüfmittelfähigkeit ist unzureichend: eine Diskussion von Verfahren zur Fähigkeitsuntersuchung. Revista "Qualität und Zuverlässigkeit" - QZ 43/2, Carl Hanser Verlag, München, 1998.
- /42/ DGQ - Deutsche Gesellschaft für Qualität e.V.: Prüfmittelmanagement – DGQ-Band 13-61. Beuth Verlag, Berlin, 1998.

- /43/ Albertazzi Gonçalves Jr., A.: Metrologia - Parte 1. Apostila do Curso de Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial da Universidade Federal de Santa Catarina. UFSC-Labmetro, 1997(1).
- /44/ Anderl, R.; Polly, A.; Staub, G.: Produktqualität durch Konstruktionsqualität. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1997.
- /45/ Rakowsky, U. K.; Mahnen, J.: Kenngrößen der Zuverlässigkeit: Einheitliche Definitionen dienen als Kommunikationsbasis. Revista "Qualität und Zuverlässigkeit" - QZ, 43/5, Carl Hanser Verlag, München, 1998.
- /46/ ProSTEP Produktdatentechnologie: Produktdatentechnologie und STEP: Umfassende Normen sind die Voraussetzung für eine effiziente Produkt- und Prozeßentwicklung. Publicação Home Page, <http://www.prostep.de/WIS.THM>
- /47/ Eversheim, W.: Marktspiegel CAQ-Systeme. Verlag TÜV Rheinland GmbH, Köln, 1995.
- /48/ Dutschke, W.: Prüfplanung in der Fertigung; Buchreihe Produktionstechnik heute. Otto Krausskopf-Verlag GmbH, Mainz, 1975.
- /49/ Dietzsch, M.; Lunze, U.: Toleranzverständnis für eine wirtschaftliche Fertigung. Revista "Qualität und Zuverlässigkeit" - QZ, 39/4, Carl Hanser Verlag, München, 1994.
- /50/ DIN e.V. (Herausgeber): GPS'99 Geometrische Produktspezifikation und -prüfung. Referatensammlung der DIN-Tagung Mainz 1999. Beuth-Verlag GmbH, Berlin, 1999.
- /51/ Wänke, M.; Paasch, P.: SPC – Aufgabe für das ganze Unternehmen: QS-9000 und VDA 6.1 stellen hohe Forderungen an die Prozeßregelung. Revista "Qualität und Zuverlässigkeit" - QZ 43/4, Carl Hanser Verlag, München, 1998.
- /52/ Mittag, H. J.: Measurement error effects on the performance of process capability indices. Statistical quality control, Vol. 5. Physica, Heidelberg, 1997.

- /53/ Neumann, H. J.: Der Einfluß der Meßunsicherheit auf die Toleranzausnutzung in der Fertigung. Revista "Qualität und Zuverlässigkeit" - QZ, 30/5, München, 1985.
- /54/ Hernla, M.: Meßunsicherheit und Fähigkeit. Revista "Qualität und Zuverlässigkeit" - QZ 43/2, Carl Hanser Verlag, München, 1996.
- /55/ Weckenmann, A.: Causes and consequences of measurement uncertainty in production metrology. Anais do 6th International Symposium on Metrology for Quality Control – IMEKO, Vienna, 1998.
- /56/ Donatelli, G. D.; Barp, A. M.; Schneider, C. A.: The influence of measurement errors on the values of process capability indices. Anais do 6th Int. Symp. on Metrology for Quality Control – IMEKO, Vienna, 1998.
- /57/ Stahlmann, H. D.; Net, A.: Einsatz von Prozeßmodellen in der Produktion. Revista Industrie Management 2/97, GITO-Verlag, Berlin, 1998.
- /58/ Gausemeier, J.; Grasmann, M.; Pusch, R.; Siebe, A.: Von semantischen Geschäftsprozeßmodellen zu Prozeßspezifikationen für EDM-Systeme. Revista ZWF, Nr. 93, Carl Hanser Verlag, München, 1998.
- /59/ Gronau, N.: Marktuntersuchung: Integrationsansätze von EDM-Systeme. Revista Engineering Datenmanagement 97, GITO-Verlag, Berlin, 1996.
- /60/ Pfeifer, T.: Wissenbasierte Systeme in der Qualitätssicherung: Methoden zur Nutzung verteilten Wissens. Springer-Verlag, Berlin, 1996.
- /61/ VDI-Gemeinschaftsausschuß CIM: Rechnerintegrierte Konstruktion und Produktion. Band 1: CIM-Management. VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1990.