

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS

SISTEMA ADAPTATIVO DE INSPEÇÃO

"PLANOS DE AMOSTRAGEM SIMPLES PARA A INSPEÇÃO

DA QUALIDADE DE LOTES, POR ATRIBUTOS."

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA A UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA

INGEBORG SELL

FLORIANÓPOLIS

SANTA CATARINA - BRASIL

MARÇO DE 1982

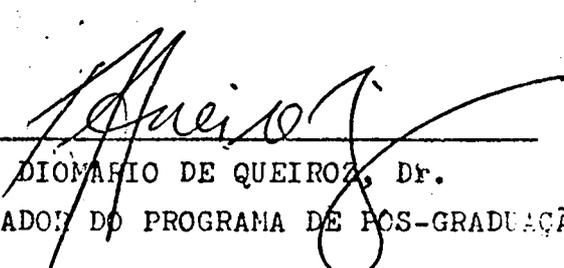
SISTEMA ADAPTATIVO DE INSPEÇÃO
 "PLANOS DE AMOSTRAGEM SIMPLES PARA A INSPEÇÃO
 DA QUALIDADE DE LOTES, POR ATRIBUTOS"

INGEBORG SELL

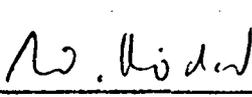
ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

"MESTRE EM ENGENHARIA"

ESPECIALIDADE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E APROVADA EM SUA FORMA FINAL
 PELO PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO.

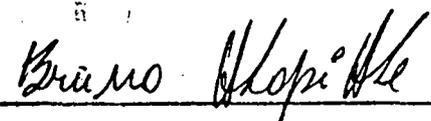

 ANTONIO DIOMAFIO DE QUEIROZ, Dr.
 COORDENADOR DO PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO

BANCA EXAMINADORA:


 WILHELM RÖDDER, Dr.

PRESIDENTE

CARLOS ALBERTO SCHNEIDER, Dr.-Ing.


 BRUNO HARTMUT KOPITTKÉ, M. Sc.



0.255.887-6

UFSC-8U

O temor do Senhor
é o princípio da sabedoria;
e, o confiar nele
é o entendimento.

(Bíblia Sagrada - Jô 28:28)

Aos meus pais

e

irmãos

AGRADECIMENTOS:

Ao Dr. Wilhelm Rüdger, pela eficiente e motivadora orientação no decorrer deste trabalho.

Aos Professores, membros da Banca Examinadora, pelos seus comentários e sugestões, enriquecendo o trabalho.

A Consul S. A., especialmente à Divisão de Controle de Qualidade, por permitir acesso à informações sobre a qualidade de lotes recebidos de fornecedores, bem como dos custos associados à inspeção de qualidade de alguns dos itens comprados.

A minha irmã Elisabeth, por sua considerável colaboração com a feitura de todas as figuras e algumas tabelas deste trabalho.

Ao CNPQ, pelo apoio financeiro.

Aos meus pais, irmãos e amigos, por toda espécie de estímulo e apoio recebido.

Aos professores, funcionários e colegas de curso do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, pelo apoio e colaboração que prestaram.

Ao CPD da FURB (Fundação Educacional da Região de Blumenau), por permitir testes do programa em suas instalações.

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi desenvolver um sistema de inspeção de qualidade, capaz de competir com os existentes. O sistema deverá ser aplicado numa empresa do estado.

O trabalho iniciou com a tomada de conhecimento da situação real, na Inspeção de Qualidade no Recebimento de Materiais de uma empresa, produtora de eletro-domésticos.

Estudada a situação vigente, foi desenvolvido o modelo dos custos associados à inspeção de qualidade; informações "a priori" sobre a qualidade média do processo e a segurança do produtor contra a rejeição de lotes bons, também foram consideradas. Na literatura não foram encontrados trabalhos que aliassem essas duas considerações.

Desenvolvido o modelo, foi escrito um programa em FORTRAN IV, para, num computador digital, fazer a aplicação numérica do mesmo. Foi determinado o plano ótimo de inspeção de qualidade, para alguns lotes, de alguns itens, dos que a empresa, onde foi feita a aplicação, compra.

Os custos dos planos ótimos obtidos foram comparados com os custos dos planos usados pela empresa. Verificou-se que no sistema proposto estes são consideravelmente mais baixos que no sistema vigente.

Portanto, o sistema desenvolvido é uma alternativa vantajosa para empresas e divisões governamentais procederem a aceitação de lotes.

ABSTRACT

The aim of the present study is to develop an improved system of quality inspection in relation to existing ones for use in a company in Santa Catarina.

The study began with a survey of the existing situation of Quality Control Inspection in the Department of Material Reception in the company, which produces electro-domestic products.

As a result of this survey a cost model associated with quality inspection was devised. In drawing up this model, "a priori" information regarding the average quality of the production process and the protection of the producer against the rejection of good lots, was considered. In the already existing literature no studies which bring together these two considerations, were found.

The model was written in FORTRAN IV for numerical application on a digital computer. An optimal quality inspection plan was then determined for lots of some items purchased by the company involved in the study.

On comparing the cost of the optimum plans obtained in this study with that of the plans in current use by the company, the proposed system proved to be considerably more economical.

In conclusion, the system developed in this study was found to be an advantageous alternative for the quality acceptance of lots by private enterprises and government agencies.

SUMARIO

	pag
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABELAS.....	xii
CAPÍTULO I	
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Origens e Objetivos do Trabalho.....	1
1.2. Limitações do Trabalho.....	3
1.3. Descrição e Organização dos Capítulos.....	3
CAPÍTULO II	
2. INSPEÇÃO DE QUALIDADE POR ATRIBUTOS.....	5
2.1. Introdução.....	5
2.2. Planos de Inspeção por Amostragem Lote por Lote.....	7
2.2.1. Planos de Amostragem Simples.....	7
2.2.2. Planos de Amostragem Múltipla.....	10
2.2.3. Planos de Inspeção por Amostragem Lote por Lote Conhecidos.....	11
2.2.4. Comparação entre os Planos de Inspeção por Amostragem.....	21
2.3. Planos de Inspeção por Amostragem Contínua.....	25
2.4. Aspectos Econômicos das Decisões sobre o Tipo e a Quantidade de Inspeção.....	27
2.5. Estabelecimento dos Parâmetros a Integrar no Modelo a ser Desenvolvido.....	30

CAPITULO III

3. DETERMINAÇÃO DO PLANO ÓTIMO DE INSPEÇÃO DE QUALIDADE POR ATRIBUTOS..... 33

3.1. Introdução..... 33

3.2. Seguranças do Plano de Amostragem..... 35

3.3. Custos Associados à Inspeção de Qualidade..... 37

3.4. Modelo de Custos para as Diversas Alternativas..... 41

3.4.1. Custo da Aceitação de um Lote com Inspeção por Amostragem. 43

3.4.2. Custo da Rejeição de um Lote com Inspeção por Amostragem.. 45

3.4.3. Custos Totais das Alternativas..... 49

3.5. Função Densidade de Probabilidade de p: f(p)..... 51

3.6. Algoritmo para a Determinação do Plano Ótimo de Inspeção.. 53

CAPITULO IV

4. A EMPRESA..... 57

4.1. Introdução..... 57

4.2. Fluxograma de Fabricação..... 61

4.3. A Divisão de Controle de Qualidade..... 67

4.3.1. Departamento de Desenvolvimento do Controle de Qualidade.. 67

4.3.2. Departamento de Inspeção de Recebimento de Materiais..... 71

4.3.3. Departamento de Inspeção de Fabricação..... 73

4.3.4. Departamento de Inspeção de Montagem..... 75

4.3.5. Departamento Laboratório Químico..... 77

CAPITULO V

5. APLICAÇÃO DO SISTEMA..... 81

5.1.	Preparo das Equações de Custos.....	76
5.2.	Determinação de c	78
5.3.	Determinação do Plano Ótimo e Comparação com o Plano sob MIL - STD - 105D.....	80
5.4.	Descrição dos Itens Selecionados para a Aplicação do Sistema.....	80
5.5.	Análise e Comentários sobre os Resultados Obtidos.....	93
5.6.	Possibilidade de Implantação do Sistema.....	94
CAPÍTULO VI		
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	96
BIBLIOGRAFIA.....		98
APENDICE I	- Prova de que a Distribuição de x em n é Binomial com Parâmetros n e p	102
APENDICE II	- Comprovação Numérica de que a Função de Custos não é Convexa.....	104
APENDICE III	- Programa Utilizado para a Aplicação do Modelo....	109
APENDICE IV	- Resultados da Aplicação com $d = 10$	114
ANEXO	- Desenhos e Especificações de Alguns Itens para Fornecedores da Empresa.....	115

LISTA DE FIGURAS

	página
FIG. 2.1. CURVA CARACTERÍSTICA DE OPERAÇÃO (CCO).....	4
FIG. 2.2. CURVA CARACTERÍSTICA DE OPERAÇÃO IDEAL.....	6
FIG. 2.3. EFEITO DA VARIAÇÃO DE n NA CCO.....	10
FIG. 2.4. EFEITO DA VARIAÇÃO DE c NA CCO.....	13
FIG. 2.5. CCO PARA PLANOS DE AMOSTRAGEM SIMPLES.....	21
FIG. 2.6. CURVA PARA DETERMINAR f E i PARA UM DADO VALOR DE QMRL NO PLANO CSP - 1 DE DODGE PARA PRODUÇÃO CONTÍNUA.	24
FIG. 2.7. CURVAS PARA A DETERMINAÇÃO DOS VALORES DE f E i PARA UM DADO VALOR DE QMRL (dois, três e quatro níveis)....	25
FIG. 3.1. ARVORE DE DECISÃO.....	45
FIG. 3.2. DISTRIBUIÇÃO BETA PARA DIFERENTES VALORES DOS PARAMETROS s E r	52
FIG. 3.3. FLUXOGRAMA DO ALGORITMO DO PROGRAMA QUE DETERMINA O PLANO ÓTIMO DE INSPEÇÃO.....	53
FIG. 4.1. ORGANOGRAMA DA EMPRESA.....	61
FIG. 4.2. FLUXOGRAMA DE FABRICAÇÃO DO REFRIGERADOR COM SISTEMA DE ABSORÇÃO.....	65
FIG. 4.3. FLUXOGRAMA DE FABRICAÇÃO DO REFRIGERADOR COM EVAPORADOR.....	66
FIG. 4.4. FLUXOGRAMA DE FABRICAÇÃO DO CONDICIONADOR DE AR.....	68
FIG. 4.5. FLUXOGRAMA DE FABRICAÇÃO DA SECADOURA DE ROUPA.....	71
FIG. 4.6. ORGANOGRAMA DA DIVISÃO DE CONTROLE DE QUALIDADE.....	68

LISTA DE TABELAS

TAB. 2.1.	LETRAS CÓDIGO (MIL - STD - 105D).....	115
TAB. 2.2.	PLANOS DE AMOSTRAGEM SIMPLES PARA INSPEÇÃO NORMAL (MIL - STD - 105D).....	121
TAB. 2.3.	PLANOS DE AMOSTRAGEM DUPLA PARA INSPEÇÃO NORMAL (MIL - STD - 105D).....	127
TAB. 2.4.	EXEMPLOS DE PLANOS DE AMOSTRAGEM SIMPLES - DODGE-ROMIG - CLASSIFICAÇÃO POR FDT.....	139
TAB. 2.5.	EXEMPLOS DE PLANOS DE AMOSTRAGEM SIMPLES - DODGE-ROMIG - CLASSIFICAÇÃO POR QMRL.....	142
TAB. 5.1.	DADOS COLETADOS SOBRE OS ITENS SELECIONADOS.....	155

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

1.1. Origens e Objetivos do Trabalho

As empresas e divisões governamentais compram produtos de diversos fornecedores; no ato da compra é estabelecida a qualidade desejada e aceitável, que o produtor deve submeter.

Quando os lotes são transferidos do produtor para o consumidor, este faz uma inspeção da qualidade das peças do lote recebido, confrontando os resultados com o nível de qualidade combinado. Para bem proceder a aceitação de lotes o consumidor dispõe de uma série de sistemas de inspeção, já consagrados pelo uso, como o MIL - STD - 105D, o SSS da Philips e os planos de Dodge e Romig.⁽¹⁾

No mundo ocidental predomina o sistema MIL - STD - 105D. Os planos (n , c) deste sistema foram determinados transformando-se o conhecimento "a priori" sobre a qualidade média do processo produtivo e os cus

(1) Estes sistemas são descritos no capítulo II.

tos associados à inspeção de qualidade em valores α - risco do produtor - e β - risco do consumidor - de maneira arbitrária.

Como parece ser mais coerente explicitar os custos associados à inspeção de qualidade e o conhecimento "a priori" sobre a qualidade média do processo, ao invés de transformá-los em α e β arbitrariamente, neste trabalho será desenvolvido um sistema de inspeção de qualidade que explicita esses fatores. Além disso, a segurança $(1 - \alpha)$ do produtor, pré-fixada, contra a rejeição de lotes bons⁽²⁾, será respeitada. Os planos que daí resultam devem acarretar menores custos para a inspeção de qualidade que os sistemas tradicionais. O sistema será aplicado na inspeção de recebimento de materiais de uma empresa do estado de Santa Catarina.

A idéia não é absolutamente nova. Na literatura encontram-se diversos trabalhos que explicitam custos e informações "a priori" sobre a qualidade média do processo, sem contudo garantir a segurança do produtor. Possivelmente, por se considerar também essa segurança neste modelo, a função de custos não será convexa. Assim, é necessário avaliar os custos de planos para todo tamanho possível de amostra, e depois escolher o ótimo.

Basicamente, este trabalho tem um único objetivo: desenvolver um sistema de inspeção de qualidade, por atributos, que considera explicitamente os custos associados à esta atividade e as informações "a priori" sobre a qualidade média do processo, e que garante uma segurança para o produtor. Esse sistema deverá ter condições de competir com os já consagrados, como o MIL - STD - 105D.

(2) Lote bom - vide seção 2.1.

1.2. Limitações do Trabalho

O sistema a ser desenvolvido deverá aplicar-se somente à inspeção de qualidade lote por lote, para atributos. Porém, deverá ser adequado para a aplicação a dois casos: quando lotes rejeitados na inspeção por amostragem são peneirados, e, quando estes são devolvidos ao fornecedor. A diferença entre as duas políticas, no modelo, deverá estar na função de custos a ser minimizada.

1.3. Descrição e Organização dos Capítulos

O presente trabalho se compõe de seis capítulos.

O primeiro capítulo apresenta o trabalho.

No segundo capítulo é descrita, sucintamente, a inspeção de qualidade por atributos, e os planos mais comumente usados no meio industrial são apresentados.

No terceiro capítulo está desenvolvido o modelo, objeto deste trabalho, e um algoritmo para a sua aplicação.

No quarto capítulo é apresentada a empresa onde foi feita a aplicação do sistema; nesta apresentação deu-se mais ênfase à Divisão de Controle de Qualidade.

O quinto capítulo trata da aplicação do sistema a itens comprados pela empresa apresentada no capítulo quatro. Os resultados obtidos estão também aí listados. No final foram feitos alguns comentários sobre estes resultados, e considerações sobre a possibilidade de implantação do sistema em empresas.

O sexto capítulo traz as conclusões gerais do trabalho, e algu-

mas sugestões para futuras pesquisas.

As figuras, tabelas e equações mais importantes são numeradas na ordem em que aparecem no texto, precedidas do número do capítulo, em que foram apresentadas.

CAPÍTULO II

2. INSPEÇÃO DE QUALIDADE POR ATRIBUTOS

2.1. Introdução ⁽¹⁾

Inspeção de qualidade é o processo de medição, examinação e testagem ou outra forma de comparação de uma unidade de um produto (peça) com o requerido, estabelecido como padrão, ⁽²⁾ e o tratamento estatístico dos resultados dessa comparação, objetivando uma tomada de decisão criteriosa.

Para inspecionar a qualidade de produtos dispõe-se de duas alternativas: inspecionar todas as peças ou inspecionar uma amostra da remessa ou lote em questão. No primeiro caso tem-se a inspeção a 100% ou peneiragem do lote, e no segundo, a inspeção por amostragem. Ambas são inspeções para a aceitação, isto é, objetivam a aceitação do lote.

A inspeção a 100% é relativamente pouco usada, pois o custo é

(1) As idéias básicas das seções 2.1., 2.2. e 2.3. foram extraídas de BOWKER, Albert H. ; LIEFERMAN, Gerald J. Engineering Statistics. pp. 503-527 e 550-560.

(2) DUNCAN, A. J. Quality Control and Industrial Statistics. p. 199.

sistema é, normalmente, muito elevado; além disso, ela não garante que o lote esteja livre de defeituosas. Na prática, as possíveis causas da presença de defeituosas em lotes peneirados e aceitos são o cansaço, a monotonia e a inconstância de critério do inspetor.

A inspeção por amostragem tenta amenizar esses problemas, reduzindo consideravelmente os custos da inspeção, sem contudo garantir que os lotes aceitos tenham a qualidade desejada. É a única alternativa para testes destrutivos. Há duas espécies de inspeção por amostragem: inspeção lote por lote e inspeção contínua. Na inspeção lote por lote cada item é agrupado em lotes, dos quais uma amostra é tomada, e o mesmo é aceito ou rejeitado dependendo da qualidade dessa amostra. Na inspeção por amostragem contínua se determina em cada inspeção se o próximo lote é inspecionado por amostragem ou se a 100%. Os planos de inspeção por amostragem são ainda classificados em planos de inspeção por amostragem para atributos e planos de inspeção por amostragem para variáveis, dependendo da característica a ser controlada. Uma grande vantagem do sistema de inspeção por amostragem é que ele exerce uma pressão sobre o produtor para a melhoria da qualidade e como consequência resultam fornecimentos de melhor qualidade. (3)

Os planos de inspeção lote por lote têm como objetivo primário aceitar lotes bons e rejeitar lotes ruins. Para o consumidor um lote é bom se ele não contém peças defeituosas; para o produtor, é necessário considerar que no processo, inevitavelmente, são produzidas peças defeituosas, as quais deveriam ser aceitas pelo consumidor. Dessa forma, é necessário que haja um acordo entre consumidor e produtor sobre o que é um

(3) BOWKER, A. H. ; LIEBERMAN, G. J. Engineering Statistics. p. 505.

lote bom. Assim, se os lotes submetidos à inspeção para aceitação têm uma qualidade melhor ou igual à combinada, estes são aceitos; caso contrário, não. Com a inspeção para aceitação de lotes estão associados diversos custos, os quais, se minimizados constituem um aperfeiçoamento do sistema.

Os lotes devem ser formados pela produção de uma máquina ou processo durante um intervalo de tempo, de tal maneira que todas as peças que estão no lote tenham sido produzidas sob as mesmas condições. Se praticável, peças de diferentes origens não devem ser misturadas. O poder de discriminação dos planos de inspeção por amostragem entre lotes bons e ruins depende das variações da qualidade de lote a lote, razão porque se deve procurar manter a uniformidade entre os mesmos.

Uma amostra extraída de cada lote gera a informação, a partir da qual se toma a decisão de aceitar ou rejeitar o lote. Daí a necessidade de tomar a amostra da forma mais aleatória possível. Uma amostra é aleatória se todas as peças do lote têm a mesma chance de serem escolhidas. Para aleatorizar amostras pode-se usar uma tabela de números aleatórios, ou qualquer outro meio que assegure igual chance de extração para cada peça, como por exemplo a divisão imaginária, em regiões, dos volumes que contêm os lotes.

2.2. Planos de Inspeção por Amostragem Lote por Lote

2.2.1. Planos de Amostragem Simples

Um procedimento de amostragem simples pode ser caracterizado pelo seguinte: uma amostra de n peças é tomada de um lote que contém N ; o lote é aceito se o número de defeituosas x , na amostra não exceder c , o número de aceitação.

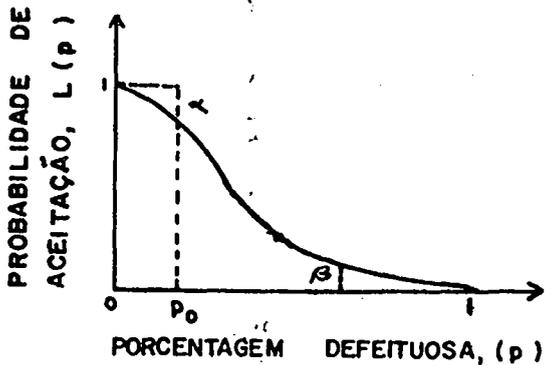


FIG. 2.1 - CURVA CARACTERÍSTICA DE OPERAÇÃO.

Fonte - BOWKER, Albert H. e LIEBERMANN, Gerald J. Engineering Statistics. 2ª ed. New Jersey. Prentice - Hall, Inc. 1972. p. 505.

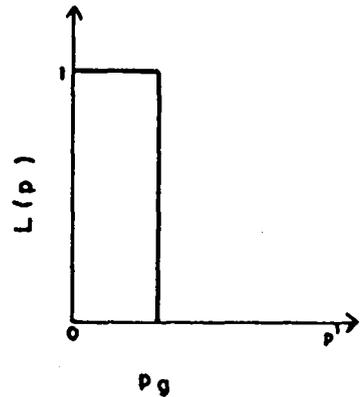


FIG. 2.2 - CURVA CARACTERÍSTICA DE OPERAÇÃO IDEAL.

A inspeção por amostragem estão associados certos riscos. Um gráfico desses riscos, em função da qualidade de entrada p , é conhecido como Curva Característica de Operação (CCO)⁽⁴⁾ e é ilustrado na figura 2.1.

Se o lote é de boa qualidade, é desejável que tenha probabilidade de aceitação $L(p)$ elevada. Por outro lado, se o lote é de má qualidade é desejável que tenha probabilidade de aceitação baixa. Se p é 0, o lote não contém defeituosas e $L(p) = 1$; se p é 1, o lote inteiro é defeituoso e $L(p) = 0$.

Assuma-se que uma qualidade padrão p_g é estabelecida e que todos os lotes com qualidade melhor ou igual a esse padrão são considerados

(4) Existem dois tipos de CCO(s): tipo A e tipo B. A CCO tipo A fornece a probabilidade de aceitação de um lote isolado. Isso pode ser interpretado como a proporção de lotes que seriam aceitos, numa série infinita, todos idênticos a este em questão. A CCO tipo B fornece a probabilidade de aceitação de um lote proveniente de um processo operando de maneira aleatória, produzindo produtos de qualidade média p . Neste trabalho tratar-se-á somente da CCO tipo B.

bons, e todos com qualidade pior que p_g , ruins. A CCO ideal seria a curva mostrada na figura 2.2. Obviamente nenhum plano de amostragem pode ter uma CCO desse tipo. O quanto a verdadeira CCO se aproxima da curva ideal depende de n e de c . Nas figuras 2.3. e 2.4. é ilustrado o efeito sobre a CCO da variação de n , e de c , respectivamente.

Se o tamanho do lote N , é grande, comparado com o tamanho da amostra n , a CCO é essencialmente independente do tamanho do lote. Assim, a proteção obtida de um plano de amostragem depende mais do tamanho absoluto da amostra do que do seu tamanho relativo; e, consequentemente, um plano de amostragem simples pode ser definido por somente dois números: n e c . Então, a probabilidade de ocorrerem x defeituosas em n será dada pela distribuição binomial, como aproximação da hipergeométrica. Neste trabalho porém, pretende-se fazer inferências sobre a qualidade do processo, que pode ser considerado infinito, e portanto, toda amostra de lote será sub-amostra do processo, e a probabilidade de nela existirem peças defeituosas será dada pela distribuição binomial, independente do seu tamanho em relação ao tamanho do lote. Para maior detalhamento vide seção 3.5 e apêndice 1.

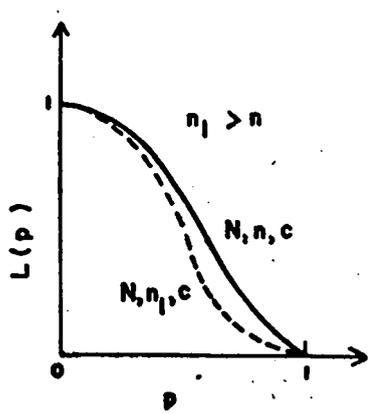


FIG. 2.3 - EFEITO DA VARIAÇÃO DE n NA CCO.

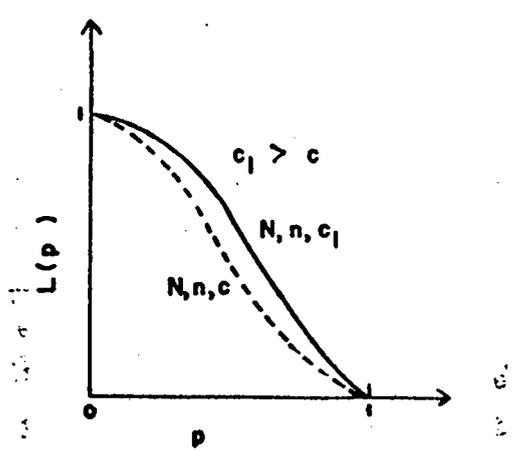


FIG. 2.4 - EFEITO DA VARIAÇÃO DE c NA CCO.

Fonte - BOWKER, Albert H. e LIEBERMANN, Gerald J. Engineering Statistics. 2ª ed. New Jersey. Prentice - Hall, Inc. 1972. p. 506.

O conceito de CCO descrito é idêntico ao conceito de teste de significância. Inspeção por amostragem pode ser vista como o teste da hipótese $p \leq p_g$ contra a alternativa $p > p_g$.

Na escolha do plano de amostragem o consumidor pode escolher uma dentre as muitas CCO(s). Sua escolha refletirá seu ponto de vista com respeito aos custos da tomada de decisões. Variando n e c é possível achar a CCO que passa próximo a dois pontos pré-determinados. Assim, pela especificação dos pontos $(p_1, L(p_1))$ e $(p_2, L(p_2))$ pode-se achar tais que a CCO passa próximo a esses dois pontos. Antes de usar a inspeção por amostragem, o consumidor determina esses pontos tais que, se a qualidade de um lote for melhor ou igual a p_1 , ele será aceito com probabilidade maior ou igual a $L(p_1) = 1 - \alpha$; se a qualidade do lote é pior ou igual a p_2 , será aceito com probabilidade menor ou igual a $L(p_2) = \beta$. Aqui, α é considerado o risco do produtor e β o risco do consumidor. (5) A média da qualidade submetida à inspeção, ao longo do tempo, é a média do processo.

2.2.2. Planos de Amostragem Múltipla

Na amostragem múltipla é tomada uma amostra de tamanho n_1 . O lote é aceito se o número de peças defeituosas for menor ou igual a c_1 , e é rejeitado se esse número for maior ou igual a r_1 . Caso o número de defeituosas estiver entre c_1 e r_1 , é tomada a segunda amostra de tamanho n_2 . O lote é aceito se em $n_1 + n_2$ peças não houver mais de c_2 defeituosas; se houver r_2 ou mais peças defeituosas o lote é rejeitado.

(5) Risco do produtor é a probabilidade de lotes bons serem rejeitados na inspeção para aceitação; risco do consumidor é a probabilidade deste aceitar lotes ruins, fora do especificado.

Se, o número de peças defeituosas em $n_1 + n_2$ estiver entre c_2 e r_2 , toma-se a terceira amostra de tamanho n_3 . Esse procedimento segue com esse critério até que finalmente o lote é aceito ou rejeitado. O número máximo de amostras examinadas é igual a ordem de multiplicidade do plano.

Quando há elevados custos de inspeção dos itens é recomendável usar amostragem múltipla por proporcionar uma média total inspecionada menor que os planos de amostragem simples.

Se o lote é de muito boa qualidade será aceito com a primeira amostragem; se, de qualidade muito ruim, será logo rejeitado. Planos de amostragem múltipla têm efeitos psicológicos por darem mais uma chance ao fornecedor. Por outro lado, têm também desvantagens: a administração do sistema é mais complexa; os inspetores têm uma carga de atividades muito variada, e destes se exige mais treinamento, do que no caso de se usar o sistema de amostragem simples.

2.2.3. Planos de Inspeção por Amostragem Lote por Lote Conhecidos

Os planos de inspeção por amostragem tabelados e publicados têm sido classificados em quatro categorias: pelo nível de qualidade aceitável (NQA), pela fração defeituosa tolerável (FDT), pelo ponto de controle e pela qualidade média resultante limite (QMRL).⁽⁶⁾

a) Classificação por NQA - Os procedimentos de inspeção baseados no nível de qualidade aceitável (NQA) usam geralmente a média do processo para determinar o plano de amostragem. O NQA pode ser interpretado como

(6) NQA ou AQL - (Acceptable Quality Level)

FDT ou LTPD - (Lot Tolerance Percent Defective)

QMRL ou AOQL - (Average Outgoing Quality Limit)

sendo a percentagem defeituosa mais elevada que é aceitável como média de processo. Um lote submetido à aceitação com qualidade maior ou igual ao NQA tem alta probabilidade de aceitação, maior ou igual a $1 - \alpha$, onde α é o risco do produtor. Os planos mais comumente usados, indexados pelo NQA são os chamados Military Standard 105D (MIL - STD - 105D). O MIL - STD - 105D é uma classe de sistemas de amostragem. Sistema de amostragem é uma coleção de planos de amostragem juntamente com regras para a sua operação. Seus propósitos são proteger o consumidor da aceitação de lotes ruins, proteger o produtor contra a rejeição de lotes bons e encorajar o produtor a submeter boa qualidade. Isso é geralmente efetuado pelo controle da quantidade a inspecionar e do critério de aceitação, em conformidade com regras de operação específicas, formuladas no sistema de amostragem.

O sistema MIL - STD - 105D se compõe de três tipos de inspeção : inspeção normal, severa e reduzida. Usa-se inspeção normal quando a qualidade submetida é melhor ou igual ao NQA. Usa-se inspeção severa se a qualidade submetida é inferior ao NQA. O sistema provê regras para mudar de inspeção normal a severa e vice-versa. Inspeção severa é instituída se dois dentre cinco lotes consecutivos têm sido rejeitados. Inspeção normal é reinstituída quando cinco lotes consecutivos têm sido aceitos. Além disso, se para dez lotes consecutivos tiver que ser usada a inspeção severa é descontinuada a inspeção por amostragem sob MIL - STD - 105D.

Na inspeção severa o risco do produtor é aumentado e o do consumidor diminuído, pois a probabilidade de lotes ruins serem aceitos é diminuída.

Da inspeção normal para a severa, o que normalmente muda é o número de aceitação, mantendo-se constante a amostra.

A inspeção reduzida é instituída quando a qualidade submetida é substancialmente melhor que o NQA. A grande vantagem em se usar a inspeção reduzida é o decréscimo dos custos de inspeção. Pode-se instituir a inspeção reduzida quando todas as condições seguintes forem satisfeitas:

- (1) Para os dez ou mais lotes precedentes tem sido usada inspeção normal e nenhum foi rejeitado.
- (2) O número total de defeitos ou defeituosos nas amostras dos dez ou mais lotes precedentes é menor ou igual a um número tabelado no sistema. Esse número limite é $N(NQA) - 2\sqrt{N(NQA)}$, onde N é a soma do tamanho das amostras. Se se usar amostragem múltipla, N é a soma do tamanho de todas as amostras inspecionadas.
- (3) A produção é contínua ou constante.
- (4) Inspeção reduzida é considerada desejável pela autoridade responsável.

A inspeção normal é novamente instituída se uma das seguintes condições ocorrer na inspeção original (primeira amostra):

- (1) Um lote é rejeitado.
- (2) O lote é considerado aceitável, mas o número de itens defeituosos é muito grande. Esse "muito grande" é definido para cada plano de amostragem.
- (3) A produção se torna irregular.
- (4) Outras condições justificam a reinstituição da inspeção normal.

Sob inspeção reduzida o tamanho da amostra decresce para cerca de 40% do tamanho da amostra na inspeção normal. Isso é acompanhado pelo aumento do risco do consumidor e decréscimo do risco do produtor.

Com o uso correto das inspeções normal, reduzida e severa o con-

sumidor tem maior garantia de estar aceitando lotes de boa qualidade e ainda tem menores custos totais de inspeção do que se usasse sempre inspeção normal.

Se muitos lotes de um processo produzindo uma fração defeituosa são submetidos a tal sistema de inspeção, alguns estarão sujeitos à inspeção normal, alguns à reduzida e outros à severa. A probabilidade de aceitação do lote vai depender da inspeção: $P_{a,R} > P_{a,N} > P_{a,S}$, ou seja, a probabilidade de aceitação do lote decresce da inspeção reduzida para a normal e desta para a severa. (7)

No MIL - STD - 105D as amostras são designadas por letras código de A a S (omitindo I e O), que dependem do nível de inspeção e do tamanho do lote. Para uso geral o sistema prevê três níveis de inspeção: I, II e III. Usa-se normalmente o nível II. Como níveis especiais o sistema apresenta S-1, S-2, S-3 e S-4 que são usados quando a amostra necessária é relativamente pequena e grandes riscos devem ser tolerados. A tabela 2.1. fornece as letras código do tamanho das amostras.

Entrando na tabela 2.1. com o tamanho do lote e o nível de inspeção uma letra código é selecionada. Essa letra código, juntamente com o NQA, resultam num plano de amostragem quando o tipo desta estiver especificado - (simples ou múltipla), com a entrada com estes valores na tabela adequada. Os planos de amostragem simples e dupla para inspeção normal são apresentados nas tabelas 2.2. e 2.3.

O plano de amostragem simples para inspeção normal consiste de

(7) BROWN, Gerald G. ; RUTEMILLER, Herbert C. Tables for Determining Expected Cost per Unit under MIL - STD - 105D Single Sampling Schemes. p. 136.

TABELA 2.1. LETRAS CODIGO (MIL - STD - 105D)

TAMANHO DO LOTE	NIVEIS ESPECIAIS DE INSPEÇÃO				NIVEIS GERAIS DE INSPEÇÃO		
	S-1	S-2	S-3	S-4	I	II	III
	2	A	A	A	A	A	A
9	A	A	A	A	A	B	C
16	A	A	B	B	B	C	D
26	A	B	B	C	C	D	E
51	B	B	C	C	C	E	F
91	B	B	C	D	D	F	G
151	B	C	D	E	E	G	H
281	B	C	D	E	F	H	J
501	C	C	E	F	G	J	K
1201	C	D	E	G	H	K	L
3201	C	D	F	G	J	L	M
10001	C	D	F	H	K	M	N
35001	D	E	G	J	L	N	P
150000	D	E	G	J	M	P	Q
500000	D	E	H	K	N	Q	R
500001 e acima	D	E	H	K	N	Q	R

TABELA 2.2. PLANOS DE AMOSTRAGEM SIMPLES PARA INSPEÇÃO NORMAL (MIL - STD - 105D)

LETRA CODIGO	TAMANHO DA AMOSTRA	NÍVEL DE QUALIDADE ACEITAVEL (inspeção normal)																											
		0.010	0.015	0.025	0.040	0.065	0.10	0.15	0.25	0.40	0.65	1.0	1.5	2.5	4.0	6.5	10	15	25	40	65	100	150	250	400	650	1000		
		Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re
A	2	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
B	3	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
C	5	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
D	8	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
E	13	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
F	20	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
G	32	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
H	50	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
I	80	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
J	125	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
K	200	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
L	315	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
M	500	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
N	800	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
O	1250	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
P	2000	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→

↓ = Use plano abaixo
 ← = Use plano acima
 Ac = número de aceitação
 Re = número de rejeição

TABELA 2.3. PLANOS DE AMOSTRAGEM DUPLA PARA INSPEÇÃO NORMAL (MIL - STD - 105D)

LETRA CODIGO	AMOSTRA	TAMANHO AMOSTRA	AMOSTRA ACUMULADA	NIVEL DE QUALIDADE ACEITAVEL (inspeção normal)																									
				0.010	0.015	0.025	0.040	0.065	0.10	0.15	0.25	0.40	0.65	1.0	1.5	2.5	4.0	6.5	10	15	25	40	65	100	150	250	400	650	1000
				Ac	He	Ac	He	Ac	He	Ac	He	Ac	He	Ac	He	Ac	He	Ac	He	Ac	He	Ac	He	Ac	He	Ac	He	Ac	He
A				→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
B	2	2	2	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
C	3	3	3	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
D	5	5	5	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
E	8	8	8	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
F	13	13	13	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
G	20	20	20	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
H	32	32	32	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
J	50	50	50	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
K	80	80	80	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
L	125	125	125	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
M	200	200	200	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
N	315	315	315	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
P	500	500	500	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
Q	800	800	800	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
R	1250	1250	1250	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→

↕ = Use plano abaixo; ↕ = Use plano acima; AC = Número de aceitação;
 ↕ = Número de rejeição; ↕ = Use plano de amostragem simples correspondente.

Fonte: FOWLER, Albert H. e LIEFERMAN, Gerald J. Engineering Statistics. 2ª ed. New Jersey, Prentice-Hall, Inc. 1972. pp 530-531.

um tamanho de amostra n e um número de aceitação c . Na amostragem dupla, o plano consiste de um tamanho de amostra n , um número de aceitação c , e um número de rejeição r . O critério de decisão é o já descrito: o lote é aceito somente se x , o número de peças defeituosas em n , for menor ou igual a c ; na amostragem dupla, se x estiver entre c e r , é extraída a segunda amostra de tamanho n , e o número de aceitação na amostra total passa a ser r .

O usuário do sistema MIL - STD - 105D deve conservar a história da qualidade dos lotes inspecionados pois esses dados são necessários para fazer uso dos critérios de mudança de uma inspeção a outra.

O sistema MIL - STD - 105D foi normalizado pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) com o nome de NB 309.

b) Classificação por FDT - A fração defeituosa tolerável no lote (FDT) se refere a uma qualidade de entrada, e os lotes com qualidade menor ou igual a essa têm pouca chance de serem aceitos. Assim, o consumidor inspeciona lotes provenientes de processos que dão qualidade igual ou pior que a FDT, e esses lotes têm baixa probabilidade de aceitação. Essa probabilidade chama-se risco do consumidor. Neste tipo de classificação nada é especificado sobre a proteção que o produtor tem contra a rejeição de lotes melhores que a FDT. Os planos classificados pela FDT mais usados são os tabelados por H. F. Dodge e H. G. Romig, nos quais são considerados os custos da inspeção por amostragem e da peneiragem de lotes rejeitados. Em particular, se essas tabelas forem usadas propriamente, proveem planos que minimizam a quantidade de inspeção total esperada.

Nos planos de Dodge e Romig há tabelas para amostragem simples e amostragem dupla. Esses planos são indexados para diferentes FDT(s) com o risco do consumidor igual a 0,10. A tabela 2.4. é um extrato dos planos de Dodge e Romig. Todos os planos desta tabela têm a mesma FDT. Além

TABELA 2.4. EXEMPLOS DE PLANOS DE AMOSTRAGEM SIMPLES DODGE - ROMIG - CLASSIFICAÇÃO POR FDT
(FDT = 4,0%; risco do consumidor = 0,10)

Tamanho do lote	Média do Processo 0 a 0,04%		Média do Processo 0,05 a 0,40%		Média do Processo 0,41 a 0,80%		Média do Processo 0,81 a 1,20%		Média do Processo 1,21 a 1,60%		Média do Processo 1,61 a 2,00%	
	n	c	n	c	n	c	n	c	n	c	n	c
1	*	0	*	0	*	0	*	0	*	0	*	0
35	34	0,35	34	0,35	34	0,35	34	0,35	34	0,35	34	0,35
50	44	0,47	44	0,47	44	0,47	44	0,47	44	0,47	44	0,47
100	50	0,55	50	0,55	50	0,55	50	0,55	50	0,55	50	0,55
200	55	0,57	55	0,57	85	0,71	85	0,71	85	0,71	85	0,71
300	55	0,58	55	0,58	90	0,72	120	0,80	120	0,80	145	0,86
400	55	0,60	55	0,60	90	0,77	120	0,87	150	0,91	185	0,91
500	55	0,61	95	0,76	125	0,87	160	0,97	190	1,0	220	1,0
600	55	0,62	95	0,78	125	0,93	165	0,98	220	1,1	255	1,1
800	55	0,63	95	0,80	130	0,92	165	1,1	220	1,1	255	1,1
1,000	55	0,65	95	0,84	165	1,1	195	1,2	255	1,3	315	1,4
2,000	95	0,85	130	1,0	165	1,1	230	1,4	320	1,5	405	1,6
3,000	95	0,86	130	1,0	195	1,2	260	1,4	350	1,5	465	1,6
4,000	95	0,87	130	1,0	195	1,2	290	1,4	380	1,6	520	1,7
5,000	95	0,87	130	1,0	200	1,2	290	1,5	410	1,7	575	1,8
7,000	95	0,88	130	1,1	230	1,4	325	1,5	440	1,7	645	1,9
10,000	95	0,88	165	1,2	265	1,4	355	1,6	500	1,8	730	2,0
20,000	95	0,88	165	1,2	295	1,5	380	1,7	590	2,0	870	2,1
50,000	95	0,88	200	1,3	325	1,6	410	1,8	620	2,0	925	2,2
100,000	95	0,88	200	1,3	325	1,6	410	1,8	620	2,0	925	2,2

Fonte: BOKER, Albert H. e LIEBERMANN, Gerald J. Engineering Statistics. 29 ed. New Jersey, Prentice - Hall, Inc. 1972. p. 515.

disso, se lotes rejeitados são peneirados a tabela dá a qualidade média resultante limite (QMRL) associada com o plano de amostragem.

Um plano é escolhido de uma coluna encabeçada por um intervalo de possíveis médias de processo, que são estimadas a partir de dados passados. Entrando nas tabelas para amostragem simples com o tamanho do lote e a média do processo obtêm-se três valores: n , o tamanho da amostra, c , o número de aceitação e a QMRL, a qualidade média resultante limite. O critério de decisão é: se em n peças houver c ou menos defeituosas o lote é aceito; se mais do que c , este é rejeitado. Nas tabelas para amostragem dupla constam o tamanho da primeira amostra n_1 , o primeiro número de aceitação c_1 , o tamanho da segunda amostra n_2 , a soma das duas amostras $n_1 + n_2$, o segundo número de aceitação c_2 , e a qualidade média resultante limite QMRL. O critério de decisão é idêntico ao usado no MIL - STD - 105D.

c) Classificação por Ponto de Controle - O ponto de controle é a qualidade do lote para a qual a probabilidade de aceitação é 0,50. A idéia aqui é dividir os riscos entre o produtor e o consumidor. Lotes provenientes de processos cuja qualidade é melhor que o ponto de controle têm probabilidade de aceitação maior que 0,50; lotes com qualidade pior que o ponto de controle têm probabilidade de aceitação menor que 0,50.

Um conjunto de planos indexados pelo ponto de controle foi desenvolvido por H. Hamaker e é conhecido como Philips Standard Sampling System. Os planos são selecionados de acordo com o tamanho do lote e os diferentes pontos de controle. Para lotes com até 1.000 peças são usados os planos de amostragem simples e para lotes maiores usam-se planos de amostragem dupla.

d) Classificação por QMRL - A qualidade média resultante limite não

se refere a um ponto da CCO, mas ao limite superior da qualidade de entrada que pode ser esperada ao longo do tempo, quando todos os lotes rejeitados são peneirados e as peças defeituosas substituídas por boas.

As tabelas classificadas pela QMRL mais usadas foram preparadas por Dodge e Romig. Para cada QMRL há uma tabela. A tabela 2.5. é a tabela de Dodge e Romig para amostragem simples, para QMRL igual a 0,01. Para a escolha de planos deve-se entrar na tabela com a média do processo (intervalo) e o tamanho do lote. Um plano consiste do tamanho da amostra n , do número de aceitação c e da porcentagem defeituosa tolerável no lote. O critério de decisão sobre a aceitação do lote é idêntico ao usado nos planos classificados pela FDT.

2.2.4. Comparação entre os Planos de Inspeção por Amostragem

Na figura 2.5. estão mostradas as CCO(s) para um lote com 1.000 peças para os quatro métodos de indexação de planos de amostragem. Nota-se que os planos mais severos são os indexados pela FDT e os menos severos são os indexados pelo NQA.

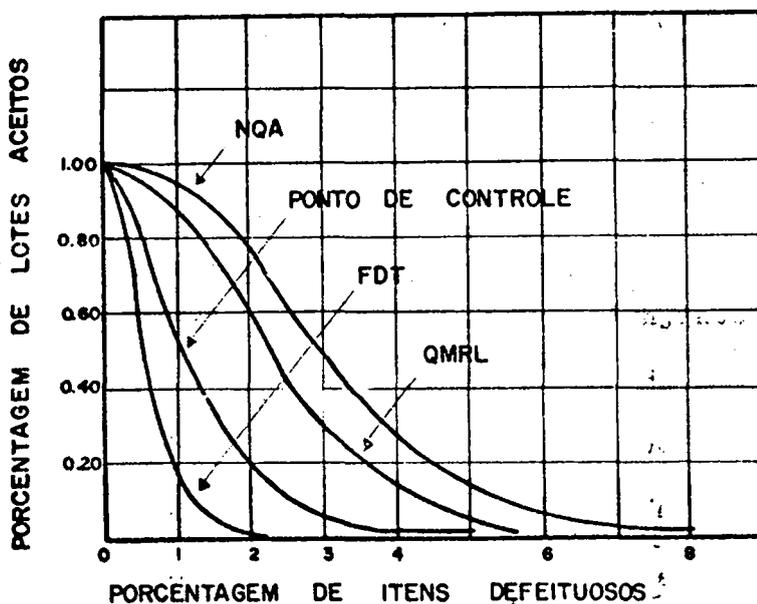


FIG. 2.5 - CURVA CARACTERÍSTICA DE OPERAÇÃO PARA PLANOS DE AMOSTRAGEM SIMPLES

Fonte - BOWKER, Albert H. e LIEBERMANN, Gerald J. Engineering Statistics. 2ª ed. New Jersey. Prentice - Hall, Inc. 1972. p. 513

TABELA 2.5. EXEMPLOS DE PLANOS DE AMOSTRAGEM SIMPLES DODGE - ROMIG - CLASSIFICADOS POR QMRL
(QMRL = 1,0%)

Tamanho do lote	Média do Processo C a 0,02%		Média do Processo 0,03 a 0,20%		Média do Processo 0,21 a 0,40%		Média do Processo 0,41 a 0,60%		Média do Processo 0,61 a 0,80%		Média do Processo 0,81 a 1,00%	
	n	c	n	c	n	c	n	c	n	c	n	c
1 - 25	22	0	22	0	22	0	22	0	22	0	22	0
26 - 50	27	0	27	0	27	0	27	0	27	0	27	0
51 - 100	32	0	32	0	32	0	32	0	32	0	32	0
101 - 200	33	0	33	0	33	0	33	0	33	0	33	0
201 - 300	34	0	34	0	34	0	34	0	34	0	34	0
301 - 400	35	0	35	0	35	0	35	0	35	0	35	0
401 - 500	35	0	35	0	35	0	35	0	35	0	35	0
501 - 600	35	0	35	0	35	0	35	0	35	0	35	0
601 - 800	35	0	35	0	35	0	35	0	35	0	35	0
801 - 1,000	35	0	35	0	35	0	35	0	35	0	35	0
1,001 - 2,000	36	0	36	0	36	0	36	0	36	0	36	0
2,001 - 3,000	36	0	36	0	36	0	36	0	36	0	36	0
3,001 - 4,000	36	0	36	0	36	0	36	0	36	0	36	0
4,001 - 5,000	36	0	36	0	36	0	36	0	36	0	36	0
5,001 - 7,000	37	0	37	0	37	0	37	0	37	0	37	0
7,001 - 10,000	37	0	37	0	37	0	37	0	37	0	37	0
10,001 - 20,000	38	0	38	0	38	0	38	0	38	0	38	0
20,001 - 50,000	38	0	38	0	38	0	38	0	38	0	38	0
50,001 - 100,000	38	0	38	0	38	0	38	0	38	0	38	0
100,001 - 1,000,000	38	0	38	0	38	0	38	0	38	0	38	0

Ponte: BOWLER, Albert H. e LIEBERMANN, Gerald J. Engineering Statistics. 2ª ed. New Jersey, Prentice - Hall, Inc. 1970. p. 513.

Exemplos de Planos de Amostragem Simples Dodge - Romig

2.3. Planos de Inspeção por Amostragem Contínua

Os planos de inspeção por amostragem contínua são usados quando a formação de lotes de inspeção é impraticável ou artificial, tipicamente dos casos de produção em linha. Essa inspeção é executada alternando sequências de inspeção de peças consecutivas e sequências de produção das quais são tiradas amostras para serem inspecionadas. Nesses planos as peças inspecionadas são classificadas em defeituosas e não defeituosas. Comumente é assumido que as peças defeituosas achadas são substituídas por boas.

O plano de amostragem contínua mais simples foi proposto por H. F. Dodge em 1943. Esse procedimento, chamado de CSP-1 consiste do seguinte: inicia-se com inspeção a 100% das peças produzidas consecutivamente e continua-se até que i unidades sucessivas estiverem livres de defeitos. Quando isso ocorre, troca-se a inspeção a 100% por inspeção por amostragem, ou seja, somente uma fração f das unidades produzidas é selecionada de maneira aleatória, de cada segmento de $1/f$ itens. Se se encontrar um defeito, volta-se a inspeção a 100% e continua-se até que i unidades livres de defeitos forem achados. O objetivo desse plano é prover segurança de que a porcentagem de unidades defeituosas nos produtos aceitos seja menor que um limite prescrito, a qualidade média resultante limite, QMRL, que é definida como a pior média de qualidade resultante do uso da inspeção contínua. A figura 2.6. apresenta o gráfico para a seleção do plano apropriado, em função de f e i , para processos sob controle. (8)

(8) Diz-se que um processo está sob controle se sua qualidade oscila em torno de um valor especificado de maneira aleatória. Se a causa de defeitos for detectável o processo não está sob controle.

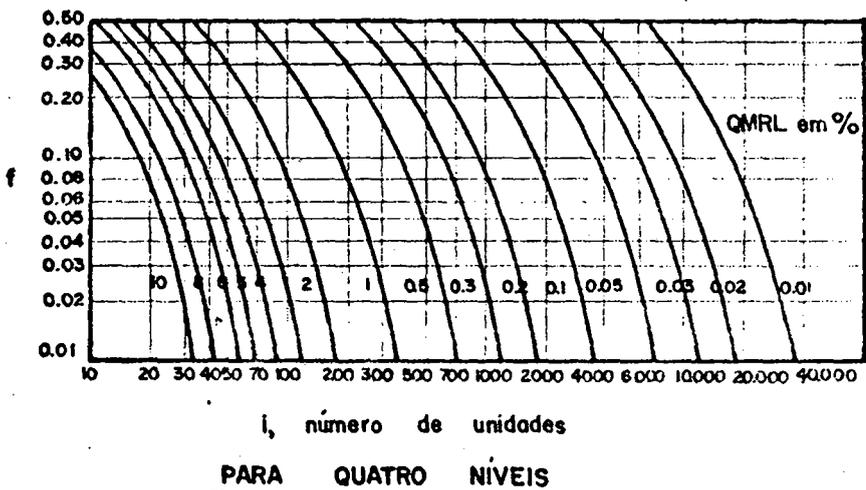
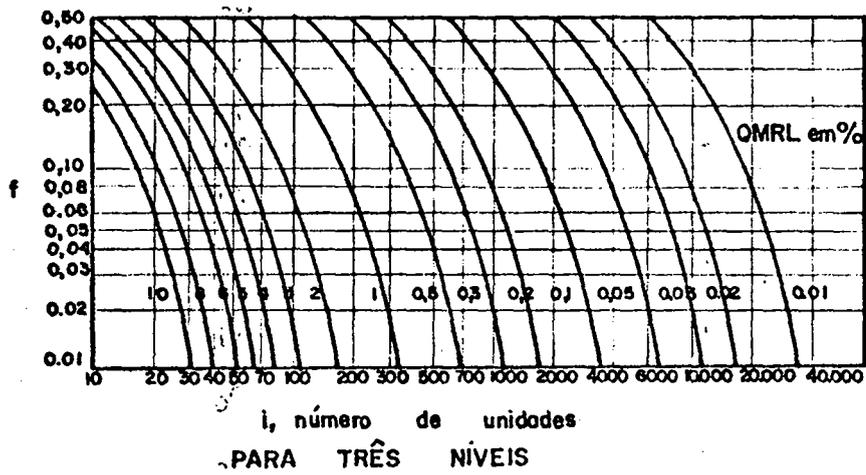
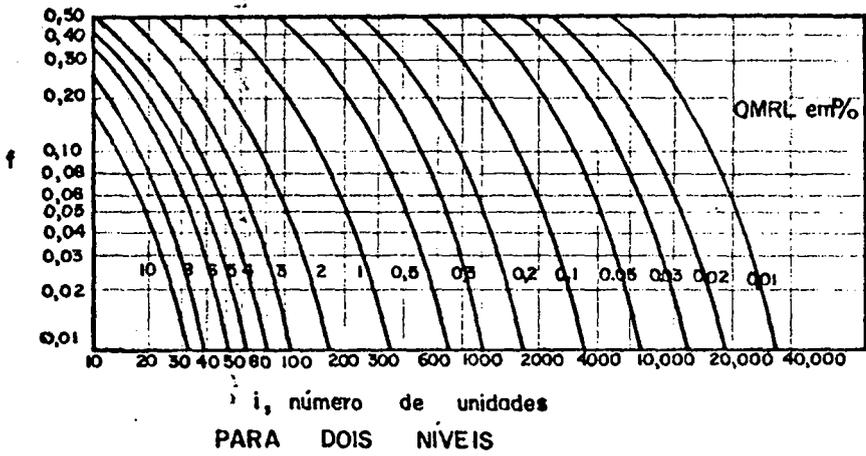


FIG. 2.7 - CURVAS PARA DETERMINAÇÃO DOS VALORES DE f E i PARA UM DADO VALOR DE QMRL.

Fonte - BOWKER, Albert H. e LIEBERMANN, Gerald J. Engineering Statistics. 2ª ed. New Jersey. Prentice - Hall, Inc. 1972. pp. 554 - 555.

Wald e Wolfowitz propuseram uma classe de planos para amostragem contínua, que podem ser chamados de planos sequenciais unilaterais. Um tipo particular dessa classe de planos gerais é o seguinte: inicia-se com inspeção parcial, escolhendo-se aleatoriamente uma peça de cada segmento sucessivo de l/f peças. Seja d_n o número total de defeituosas achadas após a inspeção do n -ésimo estágio. Continua-se com inspeção parcial enquanto d_n for menor que $h + sn$, onde h e s são constantes fixas. Se para algum n , $d_n \geq h + sn$, termina-se a inspeção parcial e inspeciona-se h/s segmentos a 100%. Repete-se o procedimento. Para esse plano a QMRL é aproximadamente igual a $(1 - f)s$.

Considerando custos de inspeção esse plano é ótimo, porém não pode ser recomendado para os casos em que a variabilidade da QMRL do produto é um fator muito importante.

Se poucas peças defeituosas forem achadas durante a inspeção parcial pode ocorrer que o ponto (d_j, j) , que representa o número total de defeituosas achadas até o j -ésimo estágio de inspeção parcial, fique aquém da linha $Y = h + sj$, e muito material inaceitável pode passar até que se percebe que a qualidade do mesmo deixa a desejar. Essa situação pode ser remediada utilizando-se um plano sequencial de inspeção bilateral, cuja região de aceitação é definida por $Y = h_2 + sj$ e $Y = -h_1 + sj$, onde h_1 e h_2 são constantes positivas.

Um outro tipo de plano sequencial para amostragem contínua foi apresentado por M. A. Girshick. Esse é definido por três constantes: m , N e f . As unidades de produtos na produção são divididas em segmentos de tamanho l/f . As peças são inspecionadas em sequência e o número de defeituosas achadas, bem como o número de peças inspecionadas são acumuladas. Esse procedimento continua até que o número acumulado de defeituosas atinja m . Então, n o tamanho da amostra é comparado com o inte

ro N . Se $n \leq N$, o produto inspecionado é considerado aceitável e o procedimento segue. Se $n > N$, os $N - n$ segmentos seguintes são inspecionados a 100% e após isso o procedimento de inspeção é repetido. Esse procedimento garante que a QMRL não pode exceder $(1 - f)m/N$, independente se o processo está ou não sob controle.

Cada um desses planos para amostragem contínua tem seus pontos positivos e também seus defeitos. Para a aplicação de um desses planos deve-se ser muito criterioso.

2.4. Aspectos Econômicos das Decisões sobre o Tipo e a Quantidade de Inspeção (9)

Lotes provenientes de fornecedores, ao darem entrada nos depósitos do consumidor, podem ser aceitos sem inspeção de qualidade, ou inspecionados a 100%, ou o que é mais comum, pode-se extrair uma amostra dos mesmos, inspecionar sua qualidade e então decidir sobre a aceitação de cada lote. Para cada tipo de produto a decisão ótima sobre o tipo de inspeção bem como a quantidade a ser inspecionada (amostra), se for o caso, vai depender dos custos associados à inspeção de qualidade, da qualidade média submetida e da segurança que se pretende ter.

Quando a qualidade dos lotes submetidos à aceitação é consistentemente satisfatória para os propósitos intencionados, é provável em alguns casos, que a melhor alternativa é aceitar o lote sem inspeção alguma. A desvantagem desse procedimento é que não exerce pressão sobre o produtor, e provavelmente, dentro de pouco tempo, a qualidade dos lotes

(9) As idéias básicas desta seção foram extraídas de GRANT, Eugene I. Statistical Quality Control. pp. 515-524.

submetidos à aceitação estará muito baixa, além do combinado. Quando a qualidade dos produtos submetidos à aceitação é consistente, porém insatisfatória, a inspeção a 100% pode ser a alternativa mais econômica. Quanto mais alta a percentagem de produtos insatisfatórios submetidos à aceitação, e quanto mais alto o custo decorrente da aceitação de uma peça defeituosa, tanto mais favoráveis são as condições para a inspeção a 100%, comparado com inspeção nenhuma. Quanto mais alto o custo unitário da inspeção, e quanto menor a eficiência da inspeção a 100% na eliminação de produtos insatisfatórios, tanto mais favoráveis as condições para aceitar o lote sem inspeção. Na maioria dos casos, a escolha ótima é a alternativa que está entre as duas: a inspeção por amostragem. Em muitos casos a transição da inspeção a 100% para o plano ótimo de inspeção por amostragem reduz os custos de inspeção de quase 90%.⁽¹⁰⁾ Portanto, a aplicação econômica da inspeção por amostragem está nos casos em que o produto submetido à aceitação é suficientemente bom de modo que não se justifica a inspeção a 100%, e, ao mesmo tempo, suficientemente ruim que não pode ser aceito sem inspeção.

Ao se fazer estudos econômicos com respeito à quantidade de inspeção é necessário considerar que sistemas de inspeção de qualidade podem reduzir os custos decorrentes da aceitação de produtos insatisfatórios de duas maneiras: primeiro pela rejeição ou retificação dos lotes relativamente ruins, fazendo com que a proporção de peças defeituosas aceitas venha a ser menor que a proporção de insatisfatórias submetidas; segundo, a inspeção de qualidade acarreta melhorias na qualidade dos produtos pelo diagnóstico das causas dos defeitos, o que exerce uma influência para a melhoria do processo.

(10) PFANZAGL, J. ; SCHULER, W. The Efficiency of Sequential Sampling Plans Based on Prior Distributions and Costs. p. 302.

Quando se decide sobre a quantidade e o tipo de inspeção é necessário levar em consideração que:

- (1) Nenhuma comparação econômica de planos alternativos de inspeção para aceitação é possível sem se assumir uma certa qualidade para o produto submetido à aceitação. As conclusões de todo estudo econômico dependem dessa premissa. Os custos da inspeção por amostragem são extremamente sensíveis à proporção defeituosa no lote submetido. (11)
- (2) Com o decorrer do tempo, normalmente, a qualidade dos produtos submetidos é melhorada e a constância dessa qualidade de lote a lote também. Assim, pode-se tornar econômico um sistema de inspeção por amostragem em que o tamanho da amostra é diminuído. Daí porque é necessário conservar dados históricos sobre a qualidade dos lotes submetidos e fazer, periodicamente, revisões nos procedimentos de inspeção para aceitação.
- (3) Ao se mudar os procedimentos de inspeção é insuficiente considerar apenas os custos da inspeção de qualidade. É também necessário considerar os custos da aceitação de defeituosas, da rejeição de lotes, da recuperação ou reposição de peças defeituosas.
- (4) O ponto mais favorável à inspeção de qualidade é sua contribuição prospectiva na melhoria da qualidade submetida, em alguns casos, através do diagnóstico das causas de defeitos e em outros, pela efetiva pressão que exerce sobre o produtor. Essa melhoria diminui o número de

(11) BROWN, Gerald G. ; RUTEMILLER, Herbert C. A Cost Analysis of Sampling Inspection Under MIL-STD - 105D. p. 108.

defeituosas aceitas e conseqüentemente os custos totais esperados.

A escolha do sistema ou plano de amostragem deve ser tal que esse ofereça uma segurança $(1 - \alpha)$ contra a rejeição de lotes bons, que custe o mínimo possível, que tenha um poder de discriminação entre lotes bons e ruins adequado, e que resulte na aceitação do menor número possível de peças defeituosas.

Nenhum dos planos apresentados neste capítulo preenche todos esses requisitos. O único sistema que considera uma estrutura de custos é o publicado por Dodge e Romig. Mas, esses planos não alcançaram popularidade. No que diz respeito à amostragem por atributos, o mundo ocidental é dominado pelo conjunto de planos designado MIL - STD - 105D, primeiramente publicado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, em 1963. (12)

Os planos MIL - STD - 105D não são baseados em custos. Como a todas as atividades, a inspeção de qualidade também estão associados custos. Tem-se aqui o custo da inspeção de uma peça, o custo decorrente da aceitação de uma peça defeituosa, o custo decorrente da devolução ou penelagem de lotes rejeitados, além de outros como o custo da reposição ou recuperação de peças defeituosas, quando isso é praticável. Como a inspeção de qualidade é uma atividade de rotina no meio industrial, é importante que se desenvolva e implemente planos de amostragem para aceitação que reduzem os custos associados à inspeção de qualidade.

(12) BROWN, Gerald G. ; RUTEMILLER, Herbert C. Tables for Determining Expected Cost Per Unit Under MIL - STD - 105D Single Sampling Schemes. p. 135.

No MIL - STD - 105D, os planos são indexados pelo tamanho do lote e pelo NQA, especificado pelo consumidor, e que é definido como a porcentagem defeituosa que conduz a uma alta probabilidade de aceitação. Essa probabilidade de aceitação não é constante, mas varia com o tamanho do lote e o NQA, de 0,89 a 0,99.⁽¹³⁾ Isso significa que o risco do produtor chega a 11%, isso é, ele tem 11% de chance de ter lotes bons rejeitados, o que para ele não é interessante. O consumidor também não tem interesse em rejeitar lotes bons, uma vez que esta rejeição, na prática, está parcialmente condicionada à quantidade do item em estoque nesse momento. Além disso, ele fica desarmado diante da possível acusação do produtor de estar rejeitando lotes bons. A única coisa que ele pode garantir, é que não mais de 11% das vezes está errando na rejeição de lotes submetidos à aceitação. Por estes motivos seria interessante se se desenvolvessem planos de inspeção por amostragem com um α (risco do produtor) menor, e, se possível, com menor variação dentro do sistema.

Ao se determinar um plano de amostragem para a inspeção de qualidade, normalmente, já se tem alguma informação sobre a qualidade dos itens nos lotes submetidos pelo fornecedor em questão. Esse conhecimento "a priori" não deve ser desprezado, mas antes utilizado na determinação de n e c . Nos planos de amostragem do MIL - STD - 105D esse conhecimento "a priori", juntamente com alguma noção de custos de decisões erradas é transformado em erros tipo I e tipo II⁽¹⁴⁾ - α e β respectivamente.⁽¹⁵⁾ Se esse conhecimento "a priori" for explicitado resultará na distribui -

(13) Id. (12).

(14) Erro tipo I - risco do produtor;

Erro tipo II - risco do consumidor?

(15) BUENO NETO, Pedro Rodrigues. Teoria da Decisão Aplicada ao Controle de Qualidade. p. 42.

ção de probabilidade da fração defeituosa do processo, p .

2.5. Estabelecimento dos Parâmetros a Integrar no Modelo a ser Desenvolvido

Na seção anterior já foram feitas críticas aos sistemas de inspeção de qualidade por amostragem existentes. São as seguintes:

- (1) Os planos não são baseados numa estrutura de custos adequada;
- (2) Os planos são os mesmos para todo item;
- (3) O conhecimento "a priori" sobre a fração defeituosa do processo, p , é transformado arbitrariamente em parâmetros que servem para estabelecer estes planos.

Contudo, na literatura há trabalhos (veja referências (8-10), (13), (16), e (19-21)), que consideram os custos associados à inspeção de qualidade e as informações "a priori" sobre p , e determinam o plano ótimo, ou seja, o de custo mínimo. Porém, a crítica a esses trabalhos é que não levam em consideração o risco do produtor.

Diante deste quadro, no desenvolvimento do modelo neste trabalho serão considerados os custos associados à inspeção de qualidade; será explicitado o conhecimento "a priori" sobre a fração defeituosa do processo; e, será respeitada a segurança do produtor. Assim, os planos a serem determinados, diferentes para cada item, custarão o mínimo para o usuário (consumidor) e garantirão uma segurança pré-fixada para o produtor.

CAPÍTULO III

3. DETERMINAÇÃO DO PLANO ÓTIMO DE INSPEÇÃO DE QUALIDADEPOR ATRIBUTOS3.1. Introdução

Decisões sobre a aceitação de lotes de produtos são atividades corriqueiras no meio industrial e comercial. Daí a importância de desenvolver e implementar planos de inspeção de qualidade a custo reduzido.

Na inspeção por atributos, a inspeção de uma peça consiste da verificação do aspecto, da forma, da cor, e outras propriedades que podem ser avaliadas pela simples observação da mesma; cada peça inspecionada será ou perfeita ou defeituosa.

Um plano de inspeção de qualidade, com amostragem simples, consiste de dois números: n , o tamanho da amostra e c , o número de aceitação. O plano será ótimo, se for aquela que leva ao menor custo total esperado dentre todos os possíveis ($n = 0, 1, 2, \dots, N$).

Diversos autores têm desenvolvido modelos que determinam planos ótimos de inspeção: Guthrie e Johns (8), Hald (9) e (10), Pfaffen

(16), Smith (21), Schmidt e Bennett (19), (para múltiplos atributos) e Schmidt, Case e Bennett (20) (para variáveis), cada um fazendo algumas considerações especiais, alguns inclusive utilizando informações "a priori" sobre a qualidade do processo produtivo, para tomar a decisão ótima. Além disso, Moskowitz e Berry (13) desenvolveram um algoritmo que determina o plano ótimo de inspeção assumindo que a qualidade do produto tem distribuição discreta e que a equação de custos é função linear ou estritamente convexa do tamanho da amostra.

Nos planos desenvolvidos por esses autores o número de aceitação c é tal que o plano (n, c) seja o de mínimo custo, sem contudo garantir segurança adequada ao produtor contra a rejeição de lotes bons.

Neste trabalho serão determinados planos ótimos de inspeção de qualidade, para atributos, para cada lote submetido à aceitação. Para tanto, o número de aceitação c será determinado de forma a garantir uma segurança para o produtor, pré-determinada, contra a rejeição de lotes bons, e a levar ao menor custo possível. O n , tamanho da amostra é determinado de forma a minimizar o custo do plano, considerando os custos da inspeção da peça, da aceitação, da reposição e reparação de defeituosas, bem como da devolução de lotes rejeitados na inspeção por amostragem. As informações "a priori" que se pode ter sobre a qualidade média do processo de produção são também incorporadas no modelo.

O sistema a ser desenvolvido deve apenas aplicar-se para os casos de amostragem simples, lote por lote. Não será desenvolvido o modelo para amostragem múltipla por esta ser pouco usada no meio industrial, o que ocorre, possivelmente, porque sua administração é mais complexa e os inspetores devem ser melhor treinados, que para a amostragem simples. A amostragem sequencial também não é considerada por não ser a mais adequada na inspeção de recebimento de materiais, e porque, se com

parada com a amostragem simples não oferece vantagens consideráveis. (3)

3.2. Seguranças do Plano de Amostragem

A qualidade média do processo p , é um parâmetro desconhecido. Se as peças são agrupadas em lotes, estes são amostras do processo. Ao se tomar uma amostra de tamanho n , do lote, estar-se-á na verdade tomando uma amostra do processo, cuja qualidade média é p . Dessa forma, a distribuição do número de peças defeituosas em n será binomial com parâmetros n e p (vide seção 3.5. e apêndice 1):

$$P(x=k) = \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, n.$$

Normalmente admite-se o uso da distribuição binomial como distribuição do número de defeituosos em n , como aproximação da hipergeométrica, quando as peças são agrupadas em lotes grandes. Então n pode ser entendido como o número de vezes que o experimento (inspeção de uma peça) é repetido, e p como o parâmetro da distribuição binomial induzida. (4)

Para testar a hipótese $H_0: p' \leq p$ contra $H_1: p' > p$, propõe-se o seguinte teste: rejeitar H_0 sempre que $x > c$, onde c é o número de aceitação. A função CCO (curva característica de operação) é da forma: (5)

$$L(p) = \sum_{k=0}^c \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k}$$

(3) PFANZAGL, J. ; SCHULER, W. The Efficiency of Sequential Sampling Plans Based on Prior Distributions and Costs. p. 302.

(4) BOWKER, Albert H. ; LIEBERMAN, Gerald J. Engineering Statistics. p. 466-4467.

(5) MEYER, Paul L. Probabilidade - Aplicações a Estatística. p. 35.

$L(p)$ é a probabilidade de aceitação de um lote que tem c ou menos defeituosos na amostra de tamanho n , tomada. O nível de significância do teste (α) - o risco do produtor - é igual a $1 - L(p)$. Então,

$$L(p_0) = \sum_{k=0}^c \binom{n}{k} p_0^k (1-p_0)^{n-k} \geq 1 - \alpha \quad (Eq. 3.1)$$

onde:

n é o tamanho da amostra;

c é o número de aceitação;

p_0 é a qualidade média do processo aceitável;

$1 - \alpha$ é a segurança do teste.

Se, para um dado n , se fizer $c = 0, c = 1, c = 2, \dots$, na equação 3.1., obter-se-á o mínimo c tal que o somatório acima será maior ou igual a $1 - \alpha$. O somatório dificilmente será igual, pois c é discreto. Consequentemente ter-se-á c para cada n tal que o risco do produtor será menor ou igual a α - (α normalmente é da ordem de 5%).

A segurança do consumidor, β , contra a aceitação de lotes ruins, neste trabalho, ficará implícita no modelo. Ao se minimizar os custos de inspeção de qualidade estão sendo minimizados os custos indesejáveis decorrentes da aceitação de lotes de qualidade pior ao combinado, que são: os custos decorrentes da aceitação, da reposição e do reparo de defeituosas, se for o caso. Para fins práticos, o consumidor estará mais interessado em saber que está utilizando um plano de amostragem que lhe garante custo total esperado mínimo, do que saber exatamente a sua segurança contra a aceitação de lotes ruins.

Para a determinação de c , p_0 é o nível de qualidade aceitável, uma vez que este representa a qualidade do processo. Assim, na transição de MIL - STD - 105D para o sistema aqui desenvolvido o conceito de AQL per-

manece inalterado.

Variando n , consegue-se determinar os valores de n para os quais ocorre a mudança de c para $c + 1$. Assim, c será constante dentro de um intervalo de variação de n . E, se n for determinado para cada N , tal que os custos totais da inspeção são mínimos, o plano (n, c) garantirá uma segurança de $(1 - \alpha)$ contra a rejeição de lotes bons, e será ótimo, desde que c também é tal que, aceitar mais um defeituoso encarece o plano (vide seção 5.2.).

3.3. Custos Associados à Inspeção de Qualidade

Como já foi mencionado em outra seção à inspeção de qualidade estão associados diversos custos.⁽⁶⁾ São os seguintes:

- (1) Custo Fixo - O custo fixo C_f se compõe dos custos de todos os encargos resultantes da existência da inspeção de qualidade no recebimento de materiais, independente da quantidade inspecionada.
- (2) Custo de Inspeção - Inspeccionar uma peça custa C_I . C_I inclui todos os custos atribuíveis à inspeção de uma peça individual, tais como mão-de-obra, desgaste de instrumentação, de dispositivos, energia consumida pelos equipamentos de teste, área ocupada para a inspeção. Se a inspeção é destrutiva, C_I inclui o custo da peça.
- (3) Custo de Aceitação - Quando um lote é aceito, considera-se

(6) SCHMIDT, J. W. ; BENNETT, G. K. Economic Multiattribute Acceptance Sampling. p. 195-196.

e _____ ; CASE, K. E. The Choice of Variables Sampling Plans Using Cost Effective Criteria. p. 197-200.

se que todas as N peças do mesmo tem qualidade suficiente para serem usadas para os propósitos a que se destinam. Contudo, sabe-se que o lote não está livre de peças defeituosas. Uma peça defeituosa aceita, pode acarretar diversos transtornos no processo onde é usada, bem como causar produto final de má qualidade. A soma do custo do item, dos custos dos transtornos e dos produtos defeituosos no final da linha, bem como outros que possam ocorrer, é o chamado custo de aceitação C_a .

- (4) Custo de Rejeição (Peneiragem) - A rejeição de um lote na inspeção por amostragem segue a devolução ou peneiragem (inspeção a 100%) do mesmo. Quando o lote é peneirado cada peça é inspecionada a um custo C_I . As peças defeituosas achadas podem ser substituídas por boas pelo fornecedor.
- (5) Custo de Rejeição (Devolução) - A simples devolução de lotes rejeitados acarreta um custo C_S para o consumidor. C_S compõe-se dos custos de despacho do lote, de aquisição e aceitação de outro lote, de comunicações e contatos com o fornecedor, além do custo da espera por outro lote, que pode ser bastante alto quando a demora é tal que causa a parada de linhas por falta do item no estoque. C_S é função do tamanho do lote.
- (6) Custo de Reposição - Quando peças defeituosas achadas na amostra e/ou na peneiragem do lote são substituídas pelo fornecedor por peças boas, o consumidor terá um custo de reposição C_R que inclui todos os ônus associados com a aquisição e aceitação de peças boas e despacho das defeituosas.
- (7) Custo de Reparação - Nos lotes aceitos $N - n$ peças não foram inspecionadas, e, muito provavelmente, por todas

perfeitas. Em alguns casos, as defeituosas existentes nos lotes aceitos podem ser consertadas a um custo unitário C_q . C_q então se compõe dos ônus para equipamentos, mão-de-obra e materiais necessários para o conserto das peças. Para os itens que têm conserto, o custo de aceitação não deve incluir o custo do item.

A composição destes custos não é rígida. Para cada caso, estes custos podem ser diferentemente constituídos. Tudo depende do que se tem combinado com o fornecedor. Se por exemplo, o contrato entre consumidor e fornecedor provê que lotes rejeitados são peneirados pelo fornecedor, ou por conta deste, o custo de rejeição com peneiragem já é diferente do apresentado aqui. Pode haver também o caso em que todas as defeituosas achadas no processo antes de serem usadas ou sofrerem algum tratamento são substituídas pelo fornecedor, mesmo as provenientes de lotes aceitos na inspeção para aceitação. Então, o custo de aceitação não deve incluir o custo do item. Assim, tudo depende do que se tem combinado com o fornecedor. E, para cada caso específico deve ser feito um levantamento minucioso de todos os custos que o consumidor tem com a inspeção de qualidade. Deve também ter ficado claro que estes custos variam de item a item.

Como sempre há três alternativas à escolha do usuário, para proceder a aceitação de lotes, o custo esperado de cada uma deve ser avaliado para então se poder optar pela que evidenciar menor custo futuro. As alternativas são: aceitar o lote sem inspeção, peneirar o lote, ou fazer uma inspeção por amostragem.

Aceitar o lote sem inspeção - Ao se aceitar um lote sem inspeção incorre-se nos seguintes custos:

- (1) Custo fixo C_i ;

- (2) Custo da aceitação de defeituosas - $C_a E$ (número de peças defeituosas no lote); (*)
- (3) Custo da reparação dos defeituosas no lote - $C_q E$ (número de defeituosas no lote).

Inspeção a 100% ou peneiragem do lote - Com a aceitação dos lotes com inspeção a 100% dos mesmos tem-se os seguintes custos:

- (1) Custo fixo C_i ;
- (2) Custo da inspeção do lote - C_I (tamanho do lote);
- (3) Custo de reposição das peças defeituosas no lote - $C_r E$ (número de peças defeituosas no lote).

Inspeção por amostragem - A inspeção por amostragem estão associados os seguintes custos:

- (1) Custo fixo C_i ;
- (2) Custo da inspeção da amostra - C_I (tamanho da amostra);
- (3) Custo da aceitação de defeituosas - $C_a E$ (número de peças defeituosas na parte não inspecionada do lote);
- (4) Custo de reposição das defeituosas na amostra - $C_r E$ (número de peças defeituosas na amostra);
- (5) Custo de reparação de defeituosas - $C_q E$ (número de peças defeituosas na parte não inspecionada do lote);
- (6) Custo de rejeição quando o lote é devolvido - $C_s(N)$;
- (7) Custo de rejeição quando o lote é rejeitado - C_I (tamanho do lote - tamanho da amostra);
- (8) Custo de reposição de defeituosas na parte não inspecionada do lote - $C_r E$ (número de defeituosas na parte não inspecionada do lote).

Os custos associados à inspeção por amostragem mencionados nos i

(*) E (número de defeituosas) - número esperado de defeituosas = Np .

tens 3 e 5 se referem exclusivamente ao caso da aceitação do lote; os de números 6, 7 e 8 à rejeição dos mesmos, sendo que, se o lote é devolvido ocorre apenas o custo $C_g(N)$, mas, se peneirado ocorrem os outros dois. Os custos apresentados nos itens 1 e 2 são chamados custos de inspeção e ocorrem independentemente da aceitação ou rejeição do lote. O custo mencionado no item 4 também ocorre sempre.

Como foi frisado acima, os custos aqui mencionados podem, em alguns casos, não ocorrer, ou serem compostos de outra forma; pode acontecer também que ocorrem outros custos ao invés ou além dos aqui citados. Em qualquer caso, é necessário fazer uma análise cuidadosa para avaliar a melhor forma possível todos os custos que se tem com a inspeção de qualidade. O sucesso na aplicação do sistema que se propõe neste trabalho, depende muito da cuidadosa avaliação dos custos associados à inspeção de qualidade.

3.4. Modelo de Custos para as Diversas Alternativas

Os custos totais esperados das três alternativas, mencionadas na seção anterior, de que dispõe o consumidor para proceder a aceitação de lotes, serão determinados nesta seção. Para tanto, usar-se-á a seguinte notação e far-se-á as seguintes considerações:

Notação:

- C_i - custo fixo resultante da existência da inspeção de lotes; C_i independe de n ;
- C_I - Custo da inspeção do item;
- C_a - Custo da aceitação do item defeituoso;
- C_s - Custo da devolução de lotes rejeitados;
- C_r - Custo da reposição do item;
- C_q - Custo da reparação do item;
- N - Tamanho do lote;

- n - Tamanho da amostra;
 c - Número de aceitação;
 x - Número de defeituosas na amostra;
 p - Fração defeituosa no lote, $0 \leq p \leq 1$;
 $f(p)$ - Função densidade de probabilidade de p ;
 $P(x/n, p)$ - Probabilidade de existirem x defeituosas numa amostra de tamanho n , dado que essa foi tomada de um lote cuja fração defeituosa é p ;
 $f(p/n, x)$ - Função densidade de probabilidade de p , dado que foi tomada uma amostra de tamanho n , na qual foram achados x defeituosas, onde:

$$f(p/n, x) = \frac{f(p) P(x/n, p)}{\int_0^1 f(p) P(x/n, p)}$$

Considerações:

- (1) Supor-se-á neste trabalho que a inspeção da amostra e a peneiragem são eficientes, ou seja, eliminam todas as defeituosas;
- (2) As peças defeituosas achadas na amostra e peneiragem do lote são substituídas por peças perfeitas pelo produtor; se os custos dessa reposição correrem por conta do produtor, então C_r será nulo;
- (3) Peças defeituosas encontradas após a aceitação do lote não podem ser devolvidas ao produtor. A única solução pode ser a recuperação destas peças por parte do consumidor; o custo dessa recuperação é C_q ;
- (4) O custo da devolução de um lote depende de N , mas não é necessariamente proporcional a N ;
- (5) A decisão de peneirar um lote rejeitado ocorre depois da

inspeção da amostra. Então, o custo da peneiragem do lote rejeitado é proporcional a $(N - n)$.

3.4.1. Custo da Aceitação de um Lote com Inspeção por Amostragem

$E(\text{custo/aceitação}, p) = \text{custo da aceitação de defeituosos. } E(\text{número de defeituosos/aceitação}, p) + \text{custo de reposição. } E(\text{número de defeituosos na amostra/aceitação}, p) + \text{custo de reparação. } E(\text{número de defeituosos na fração não inspeccionada do lote/aceitação}, p).$

$$E(\text{custo/aceitação}, p) = C_a(N-n)p + C_r np + C_q(N-n)p$$

$$E(\text{custo aceitação}/p) = ((C_a + C_q)(N-n)p + C_r np) \cdot P(\text{aceitação}/p)$$

$$P(\text{aceitação}/p) = \sum_{x=0}^c P(x/n, p) = \sum_{x=0}^c \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}$$

$$E(\text{custo aceitação}/p) = ((C_a + C_q)(N-n)p + C_r np) \cdot \sum_{x=0}^c \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}$$

E, tomando o valor esperado com respeito a p , dado que depende de n e x , vem:

$$E(\text{custo aceitação}) = \int_0^1 ((C_a + C_q)(N-n)p + C_r np) \cdot$$

$$\sum_{x=0}^c \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \cdot f(p/n, x) dp$$

(Eq. 3.2)

3.4.2. Custo da Rejeição de um Lote com Inspeção por Amostragem

(1) Lotes rejeitados são devolvidos:

$E(\text{custo/rejeição}, p) = \text{custo da devolução do lote.}$

$$E(\text{custo rejeição}/p) = C_S(N) \cdot P(\text{rejeição}/p)$$

$$P(\text{rejeição}/p) = 1 - P(\text{aceitação}/p) = 1 - \sum_{x=0}^c \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}$$

Substituindo esse valor na expressão anterior e tomando o valor esperado com respeito a p , dado que depende de n e x , vem:

$$E(\text{custo rejeição}) = \int_0^1 C_S(N) \left(1 - \sum_{x=0}^c \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \right) \cdot f(p/n, x) dp$$

(Eq. 3.3)

(2) Lotes rejeitados são peneirados:

$E(\text{custo/rejeição}, p) = \text{custo da peneiragem} + \text{custo de reposição.}$

$E(\text{número de defeituosas no lote/rejeição}, p).$

$$E(\text{custo/rejeição}, p) = C_I(N-n) + C_R Np$$

$$E(\text{custo rejeição}/p) = (C_I(N-n) + C_R Np) \cdot P(\text{rejeição}/p)$$

$$E(\text{custo rejeição}/p) = (C_I(N-n) + C_R Np) \left(1 - \sum_{x=0}^c \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \right)$$

E, tomando o valor esperado com respeito a p , dado que depende de n e x , vem:

$$E(\text{custo rejeição}) = \int_0^1 (C_I(N-n) + C_R Np) \left(1 - \sum_{x=0}^c \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \right) \cdot f(p/n, x) dp$$

(Eq. 3.4)

3.4.3. Custos Totais

Os custos totais para a inspeção por amostragem são:

(1) Com devolução dos lotes rejeitados:

$$E(\text{custo insp. por amost.}) = C_i + C_I n + E(\text{custo de aceitação}) + E(\text{custo de rejeição})$$

$$E(\text{custo insp. por amost.}) = C_i + C_I n + \left[\int_0^1 ((C_a + C_q)(N-n)p + C_r np) \cdot \sum_{x=0}^c \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \cdot f(p/n, x) dp \right] + \int_0^1 C_s(N) \left(1 - \sum_{x=0}^c \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \cdot f(p/n, x) dp \right)$$

$$E(\text{custo insp. por amost.}) = C_i + C_I n + \left[\int_0^1 (((C_a + C_q)(N-n) + C_r n)p - C_s(N)) \sum_{x=0}^c \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \cdot f(p/n, x) dp + \int_0^1 C_s(N) \cdot f(p/n, x) dp \right] \quad (\text{Eq. 3.5})$$

(2) Com peneiragem dos lotes rejeitados:

$$E(\text{custo insp. por amost.}) = C_i + C_I n + E(\text{custo de aceitação}) + E(\text{custo de rejeição})$$

$$E(\text{custo insp. por amost.}) = C_i + C_I n + \int_0^1 ((C_a + C_q)(N-n)p + C_r np) \cdot \sum_{x=0}^c \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \cdot f(p/n, x) dp +$$

$$\left[\int_0^1 (C_I(N-n) + C_R N p) (1 - \sum_{x=0}^c \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \cdot f(p/n, x) dp \right]$$

$$E(\text{custo insp. por amost.}) = C_i + C_I n + \left[\int_0^1 ((C_a + C_q - C_r)(N-n)p - C_I(N-n)) \sum_{x=0}^c \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \cdot f(p/n, x) dp \right] + \int_0^1 (C_I(N-n) + C_R N p) \cdot f(p/n, x) dp.$$

(Eq. 3.6)

O custo da aceitação dos lotes sem inspeção será:

$$E(\text{custo aceit. sem insp./p}) = C_i + C_a N p + C_q N p$$

Tomando o valor esperado com respeito a p dos custos de aceitação e reparação de defeituosas, tem-se o custo total esperado da aceitação de lotes sem inspeção:

$$E(\text{custo aceit. sem insp.}) = C_i + \int_0^1 (C_a + C_q) N p f(p) dp$$

(Eq. 3.7)

Se não for possível recuperar peças defeituosas achadas, e, como não é possível devolvê-las depois de aceito o lote, C_a inclui o custo do item e a equação 3.7. é igual a equação 3.6., com probabilidade de rejeição igual a zero e n nulo.

Com a inspeção a 100% do lote tem-se o seguinte custo:

$$E(\text{custo insp. a 100\%}) = C_i + C_I N + C_r N p$$

Tomando o valor esperado com respeito a p do custo de reposição ,

o custo total esperado da inspeção a 100% dos lotes será:

$$E(\text{custo insp. a 100\%}) = C_i + C_I N + \int_0^1 C_r N p f(p) dp \quad (\text{Eq. 3.8})$$

Nota-se que esse custo é idêntico ao da inspeção por amostragem com peneiragem dos lote rejeitados, para $n=N$.

Nos casos da inspeção a 100% e aceitação do lote sem inspeção, a função densidade de probabilidade de p não depende de n e x , os resultados amostrais.

Depois de determinados os custos totais esperados para cada alternativa escolhe-se aquela que apresentar o mínimo. Para melhor visualizar esse problema, pode-se usar a árvore de decisão apresentada na figura 3.1. No final de cada ramo estão os custos futuros a que cada alternativa leva; no início, os custos independentes de p . Em cada nó de decisão (\square) deve ser escolhida aquela alternativa que custar menos, eliminando-se as outras, até que finalmente a ótima estiver determinada.

Na inspeção de qualidade é feito um teste de hipótese para a tomada de decisões. Bueno Neto (4) mostrou que existe uma equivalência entre as decisões tomadas pelo teste de hipótese clássico e as tomadas pela Teoria da Decisão, e, portanto, neste trabalho, usar-se-á esta última para a tomada de decisões.

Para determinar também o c de forma que o plano (n, c) leve a um custo total esperado mínimo, faz-se: $E(\text{custo de aceitação}) \leq E(\text{custo de rejeição})$. O c que resulta dessa consideração não é necessariamente tal que garante a segurança do produtor, que se pretende ter com o plano de amostragem. Por isso, neste trabalho, c será também determinado de modo que o risco do produtor seja menor ou igual a α , para cada n . Depois,

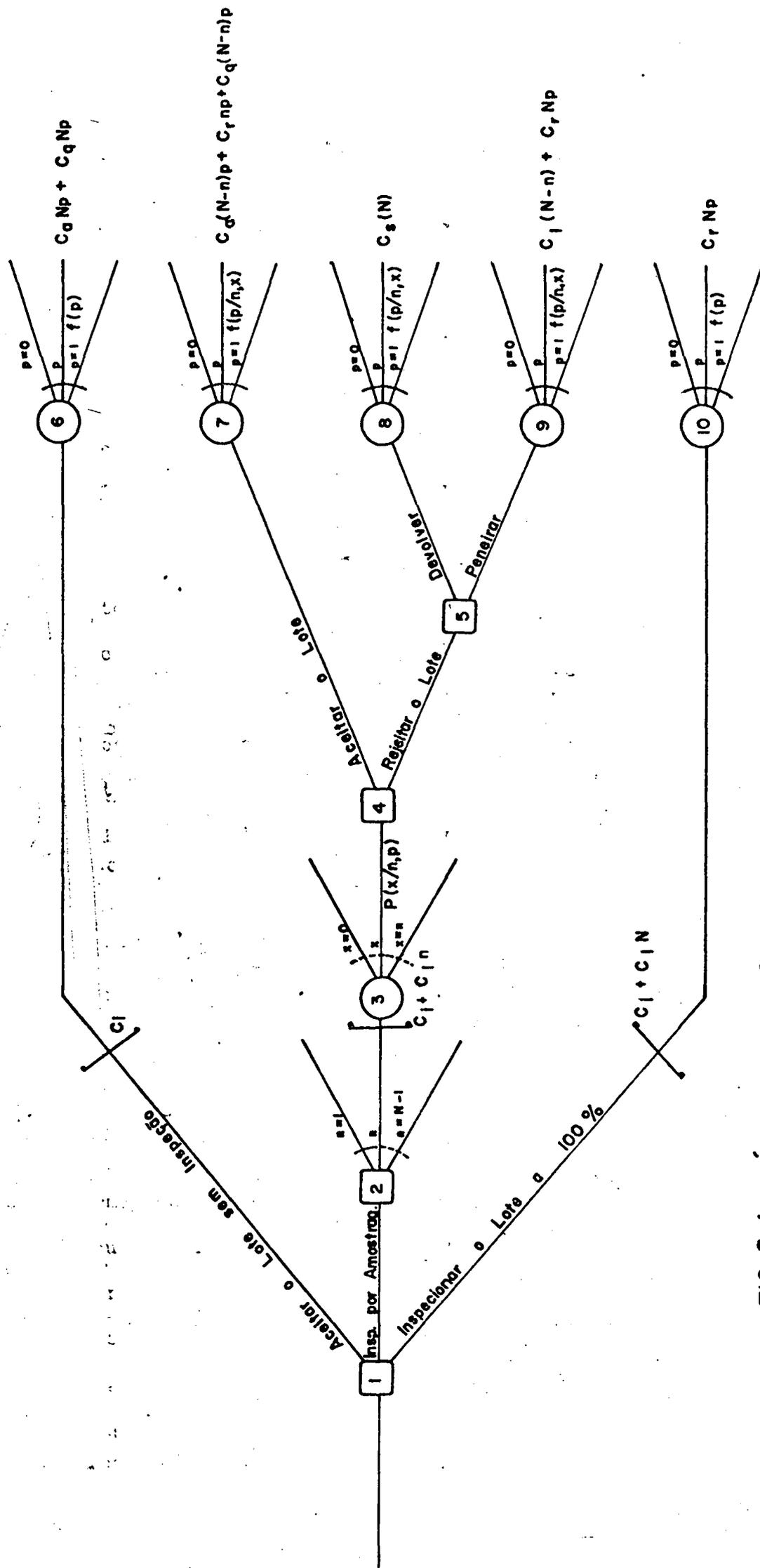


FIG. 3.1 - ÁRVORE DE DECISÃO

escolhe-se o maior dos dois. Assim, atender-se-á a dois critérios: segurança do produtor e custo mínimo. Como n será determinado de modo que o custo total esperado seja mínimo, o plano (n,c) será ótimo.

Pelo descrito acima percebe-se que o uso da árvore de decisão envolve substancial esforço computacional, uma vez que é necessário avaliar todos os ramos que emanam do nó 2. Na literatura é sugerido um método para determinar o n máximo para o qual os custos devem ser avaliados. Baseia-se no valor esperado da informação perfeita (VEIF), definido por:

$$VEIF = \text{Mín} \left[E(\text{custo aceit. sem insp.}), E(\text{custo insp. a } 100\%) \right] - \int_0^1 \text{Mín} \left[E(\text{custo de aceit./p}), E(\text{custo de rej./p}) \right] f(p) dp$$

onde, $E(\text{custo de rej./p})$ pode ser o custo da peneiragem ou da devolução do lote, conforme o que for mais conveniente ao usuário.

Dividindo-se o VEIF pelo custo unitário da inspeção C_I , obtém-se o n máximo para o qual pode ser conveniente fazer inspeção por amostragem. Contudo, os custos da aceitação e rejeição do lote dependem dos resultados amostrais, ou seja, de n e x. A função densidade de probabilidade de p é condicionada a n e a x, e por isso, o n ótimo pode ser maior que o máximo n para o qual os custos serão avaliados, considerando o VEIF, (7) e por isso, e também porque a função de custos não é convexa (vide apêndice 2), os custos devem ser avaliados para todo n possível.

(7) MOSKOWITZ, Herbert ; BERRY, William L. A Bayesian Algorithm for Determining Optimal Single Sample Acceptance Plans for Product Attributes. p. 1240-1241.

3.5. Função Densidade de Probabilidade de p : $f(p)$

No contrato entre consumidor e produtor fixa-se um NQA, que é definido como a pior qualidade aceitável como média do processo de produção. O NQA é igual a p_0 .

Para atender ao NQA combinado o produtor controla seu processo para p_0 , submetendo então lotes à aceitação cuja qualidade reflete que a qualidade do processo é melhor ou igual ao NQA combinado, em média.

O processo de produção (população infinita) gera lotes de tamanho N (população finita). De cada lote é tomada uma amostra de tamanho n , $n \leq N$, sem reposição. A distribuição do número de defeituosas na amostra será então a mesma que a distribuição do número de defeituosas em lotes de tamanho $N=n$, gerados pelo processo, isto é, as inferências sobre o processo podem ser feitas a partir das amostras, como se estas fossem geradas diretamente do processo. (8) Então, como cada lote submetido à aceitação é uma amostra de tamanho N do processo, e o número de peças defeituosas no lote, dado que ele vem de um processo controlado para p_0 , segue distribuição binomial com parâmetros N e p_0 , a distribuição do número de peças defeituosas x , numa amostra de tamanho n , do lote, sub-amostra do processo, segue distribuição binomial com parâmetros n e p . A prova dessa afirmação está no apêndice 1.

Considerando n (população finita) como amostra do lote (população finita), a distribuição do número de peças defeituosas x , em n , seguiria distribuição hipergeométrica, podendo em alguns casos ser aproxima-

(8) HALD, A. The Compound Hypergeometric Distribution and a System of Single Sampling Inspection Plans Based on Prior Distributions and Costs. p. 296.

da pela binomial. Esse seria o raciocínio correto se se pretendesse fazer inferências sobre a qualidade do lote em particular, o que não é o caso deste trabalho. Aqui interessa a qualidade do processo, uma vez que o NQA é definido como sendo a pior qualidade aceitável como média do processo produtivo.

Ao se iniciar o fornecimento de itens o consumidor não tem informações sobre o p - média do processo do produtor. Ele sabe apenas que este se prontificou a fornecer lotes com qualidade superior ou igual ao NQA combinado. Mas, o real valor de p é desconhecido. Esse fato deve ser incorporado no modelo.

A medida que o consumidor recebe lotes e procede a inspeção para aceitação dos mesmos, vai acumulando informações sobre o verdadeiro valor de p . Assim, depois de inspecionar cinco lotes para aceitação, o consumidor já tem alguma informação sobre a média do processo do produtor. Quando o número de lotes tiver aumentado de cinco para dez, por exemplo, a informação que o consumidor tem já é muito melhor do que quando havia inspecionado apenas cinco. Portanto, cada lote inspecionado na hora a informação sobre p - a média do processo de produção; também isso deve ser incorporado no modelo.

Para incorporar no modelo a situação de se ter nenhuma informação no início, e, também o fato desta melhorar à medida que lotes estão sendo inspecionados, utilizar-se-á a família de distribuições beta, com parâmetros s e r , para expressar a função densidade de probabilidade de p : $f(p)$. O fato "nenhuma informação" é representado pela distribuição beta(s, r) = beta(1,1) - total ignorância sobre p - (veja curva (1) na figura 3.2.). Então, a distribuição beta(1,1) será a função densidade de probabilidade de p "a priori", para o primeiro lote. Após a inspeção de uma amostra de tamanho n deste primeiro lote, os parâmetros s e r mudam.

para $s + x$ e $r + n - x$, onde x é o número de peças defeituosas e, $n - x$ é o número de peças perfeitas na amostra. A distribuição beta($s-x, r+n-x$) será então a "a posteriori" para o primeiro lote e a "a priori" para o segundo lote. Dessa forma, após a inspeção de cada lote, as informações colhidas desta, são usadas para alterar os parâmetros s e r da distribuição "a priori", preparando a "a priori" para a aplicação seguinte do modelo. Na seção 5.2. fica claro que a "a posteriori" é beta($s+x, r+n-x$).

A distribuição beta(s, r) é definida por:

$$f(p) = \frac{(s+r-1)!}{(s-1)!(r-1)!} p^{s-1}(1-p)^{r-1}, \text{ e tem valor esperado}$$

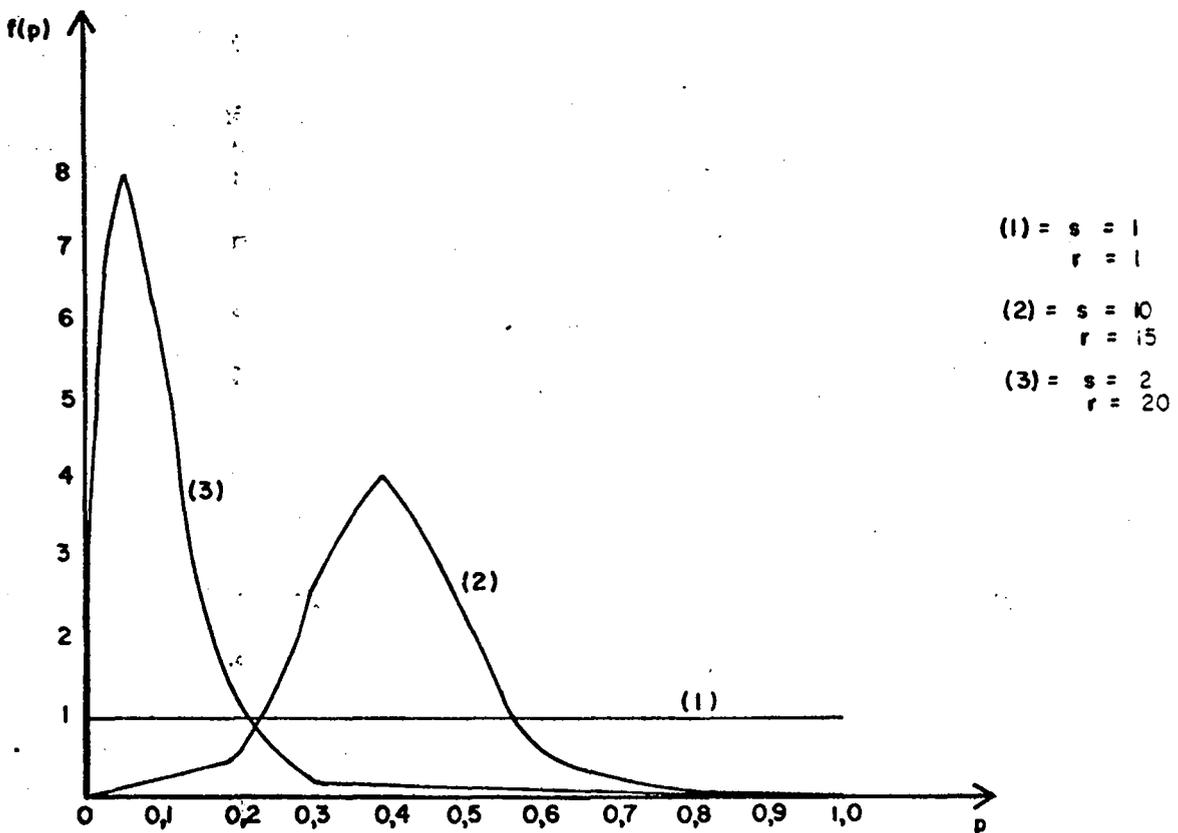


FIG. 3.2 - GRÁFICO DA DISTRIBUIÇÃO BETA PARA DIFERENTES VALORES DOS PARÂMETROS s E r

$$E(p) = \frac{s}{s+r} .$$

A vantagem em utilizar a distribuição beta reside no fato de ela ser conjugada da binomial; assim, a distribuição "a posteriori" também é beta, alterando-se apenas os parâmetros s e r .⁽⁹⁾

Na figura 3.2. está representada a distribuição beta para alguns valores dos parâmetros s e r . Nota-se que quando s é pequeno, o que ocorre quando o número de defeituosas x , achadas nas amostras tomadas dos lotes é pequeno, e portanto a qualidade é boa, a distribuição se adensa próximo a $p=0$. Para grandes valores de s , a distribuição se adensa mais a direita, significando qualidade mais baixa.

Com o decorrer do tempo, o verdadeiro valor de p pode sofrer alterações. Na prática isso ocorre por causa de um controle mais intenso ou menos intenso, por alterações no próprio processo, ou ainda por se ter alterada a matéria-prima. Mudanças no valor de p alteram os custos dos planos de inspeção.

Para o consumidor detectar com rapidez essa alteração no verdadeiro valor de p ele deve ponderar mais as informações mais recentes em detrimento das antigas. Neste trabalho isso será feito considerando-se em cada caso a informação dos d últimos lotes.

A vantagem em detectar com rapidez as alterações no verdadeiro valor de p , reside no fato de que esse conhecimento reduz os custos, embora o procedimento ótimo seja pouco influenciado por pequenas varia-

(9) BUENO NETO, Pedro Rodrigues. Teoria da Decisão Aplicada ao Controle de Qualidade. p. 40.

ções na distribuição "a priori".⁽¹⁰⁾ No caso de p haver piorado, as amostras ótimas tendem a aumentar, e conseqüentemente menos defeituosas são aceitas, reduzindo portanto o custo de aceitação do lote. Se por outro lado, p melhorou, o tamanho ótimo das amostras seguintes tende a diminuir, o que reduz os custos da inspeção. Portanto, é importante detectar rapidamente as alterações de p , pois isso reduz os custos do sistema.

3.6. Algoritmo para a Determinação do Plano Ótimo de Inspeção

A escolha da melhor alternativa para proceder a aceitação de lotes presuppõe a avaliação dos custos de cada uma, isto é, deve ser avaliado o custo total esperado das alternativas aceitar sem inspeção, peneirar o lote e inspecionar uma amostra, para todo tamanho possível da mesma. Como a cada n , amostra, deve estar associado um c , número de aceitação, a determinação do plano ótimo compreende: a determinação de c tal que a segurança do produtor seja maior ou igual a $(1 - \alpha)$, e tal que o custo esperado da aceitação seja menor que o da rejeição, e, o cálculo do custo total esperado para cada n possível, com o devido c , e a pesquisa do plano de custo mínimo.

É possível que, para $c = c_{\min}$ (onde c_{\min} é o menor valor de c que garante a segurança do produtor), o custo esperado da aceitação seja maior que o custo esperado da rejeição. Mas, como se pretende garantir segurança para o produtor, esse será o c ótimo (c_{ot}), embora não seja o c que leva ao menor custo esperado do plano.

(10) PFANZAGL, J. Sampling Procedures Based on Prior Distributions and Costs. p. 47.

Se o custo da aceitação for menor que o da rejeição para $c = c_{\min}$, c_{ot} pode ser maior que c_{\min} . Assim, o c_{ot} que resulta dessas considerações é o c que garante a segurança para o produtor, e é tal que aceitar o lote com $x = c$ custa menos que aceitá-lo com $x = c + 1$.

O c_{\min} depende de n , da segurança $(1 - \alpha)$ pretendida e do nível de qualidade aceitável. Assim, para um dado α e um dado NQA, c_{\min} será determinado para cada n .

Para determinar c_{\min} usa-se a curva característica de operação do plano (CCO), que dá a probabilidade de aceitação do lote quando p é igual ao NQA, e que nada mais é do que a segurança $(1 - \alpha)$ do plano:

$$L(p) = \sum_{x=0}^c \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \geq 1 - \alpha$$

O número c é o mínimo de peças defeituosas que se deve tolerar numa amostra de tamanho n , para garantir que o risco do produtor seja no máximo igual a α .

Os passos computacionais para a determinação de c_{\min} , para cada n , são os seguintes:

- (1) Determinar a segurança para $x = 0$;
- (2) Comparar a segurança com $(1 - \alpha)$:
 - (a) se menor, incrementar x de uma unidade, calcular a segurança para esse novo x e somar o resultado a segurança anteriormente obtida. Repetir o passo 2.
 - (b) se maior ou igual, $c_{\min} = x$. Parar.

Quando n , o tamanho da amostra é grande, c pode ser determinado mais facilmente utilizando-se a distribuição normal como aproximação da

binomial. Então, c será o inteiro maior ou igual a $np + z \cdot \sqrt{npq}$, onde $P(X \leq z) = 1 - \alpha$, e $q = 1 - p$.

Como se pretende também minimizar os custos, deve-se determinar c tal que seja no mínimo igual a c_{\min} , e que acarrete os menores custos possíveis. Os passos computacionais são:

- (1) Calcular o custo esperado da aceitação e o da rejeição com $c = c_{\min} + 1$;
- (2) Comparar $E(\text{custo aceitação})$ com $E(\text{custo rejeição})$:
 - (a) se maior, $c = c - 1$. Parar.
 - (b) se igual, $c = c$. Parar.
 - (c) se menor, incrementar c de uma unidade, calcular $E(\text{custo aceitação})$ e $E(\text{custo rejeição})$ para esse novo c e voltar ao passo 2.

Desta fase obtêm-se então o c ótimo para o plano de amostragem.

A determinação do n ótimo depende dos custos associados à inspeção de qualidade, do tamanho do lote, do número de aceitação, e da função densidade de probabilidade de p : $f(p)$. Os passos computacionais para a determinação do n ótimo são os seguintes:

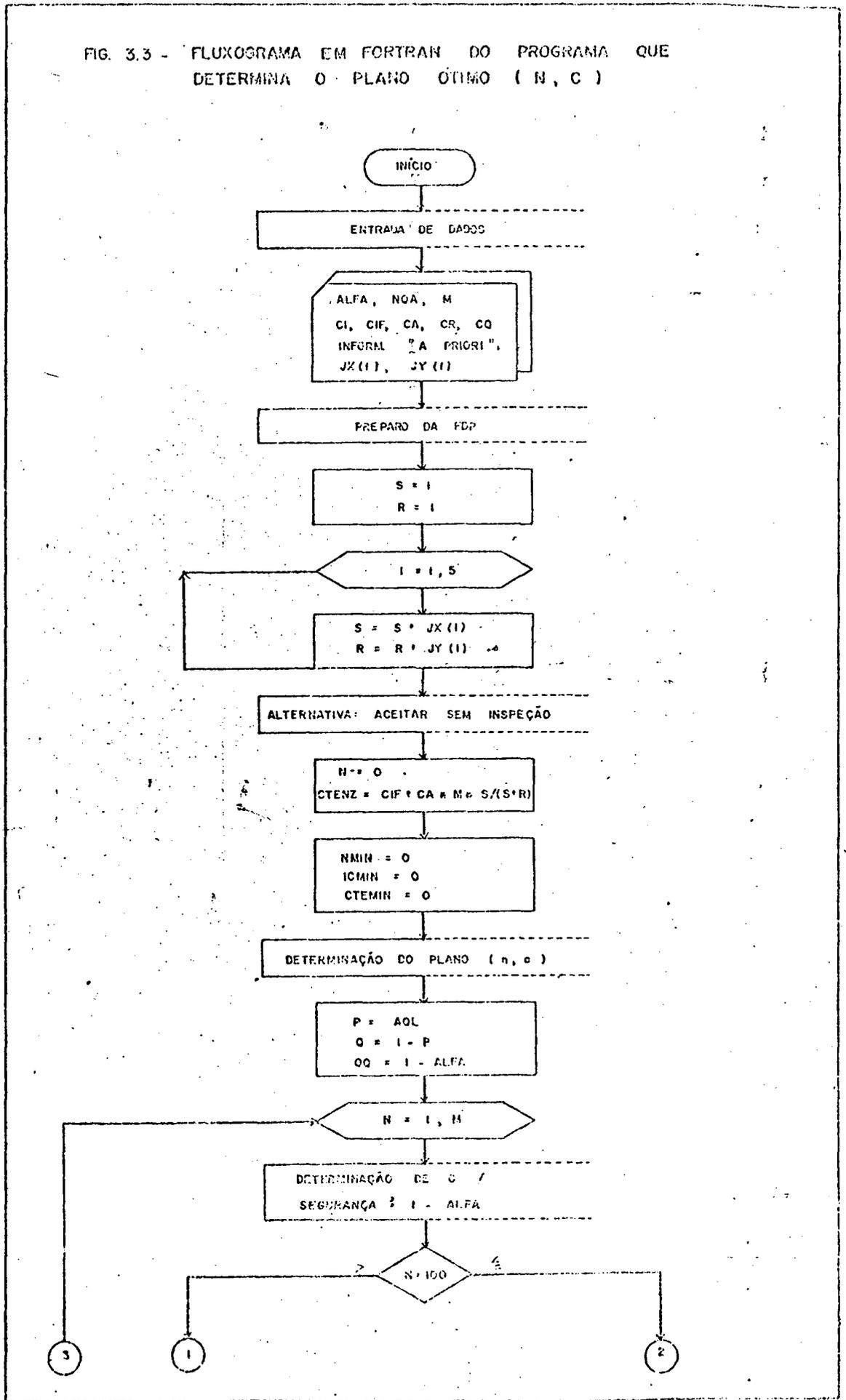
- (1) Calcular $E(\text{custo aceit. sem insp.})$. Fazer $n_{\min} = 0$, $i_{\min} = 0$ e $c_{\min} = E(\text{custo aceit. sem insp.})$;
- (2) Calcular $E(\text{custo insp. por amost.})$, para $n = (n = 1, 2, 3, 4, \dots, N)$;
- (3) Comparar c_{\min} com $c_e(n)$, o custo esperado para cada n :
 - (a) se menor ou igual, incrementar n de uma unidade e voltar ao passo 2;
 - (b) se maior, $n_{\min} = n$, $i_{\min} = c(n)$, $c_{\min} = c_e(n)$; incrementar n de uma unidade e voltar ao passo 2.

É necessário avaliar o custo total esperado de todo plano de ins

peção possível (para $n = 0, 1, 2, \dots, N$), para proceder a pesquisa do mínimo, uma vez que a função de custos não é convexa. No apêndice 2 está a comprovação numérica dessa afirmação.

Na figura 3.3. está representado o algoritmo do programa que determina o plano ótimo (n, c), dentro das considerações feitas no desenvolvimento do modelo.

FIG. 3.3 - FLUXOGRAMA EM FORTRAN DO PROGRAMA QUE DETERMINA O PLANO ÓTIMO (N, C)



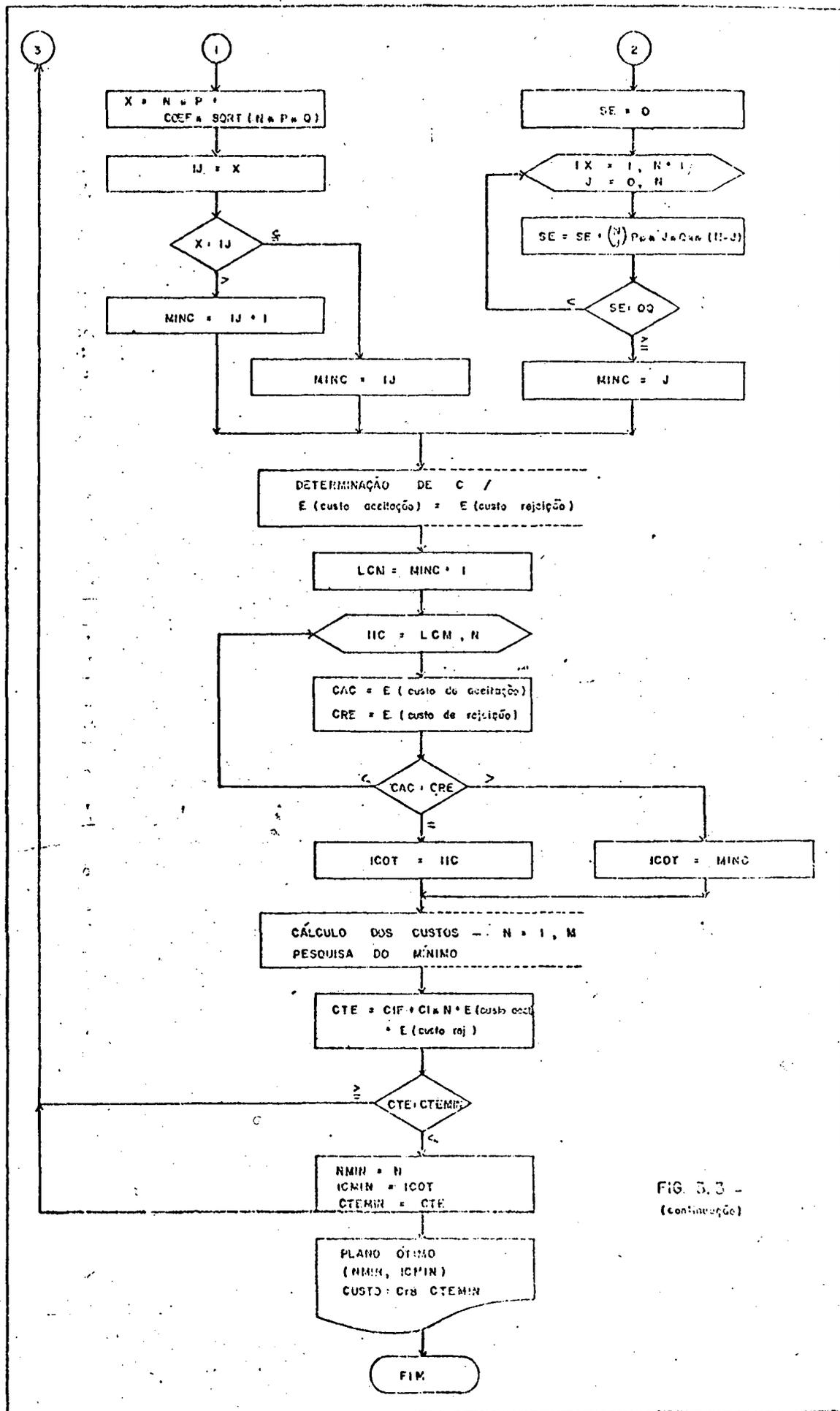


FIG. 3.3 -
(continuação)

CAPÍTULO IV

4. A EMPRESA

4.1. Introdução

A 'Consul S. A.' é uma indústria do ramo mecânico, produzindo eletrodomésticos.

A empresa foi constituída a 15 de julho de 1950. Seu organograma aparece na figura 4.1.

Atualmente a empresa possui duas fábricas em Joinville, estado de Santa Catarina, e em diversos pontos do país mantém representantes e oficinas autorizadas prestando serviço de assistência técnica.

Numa das fábricas, em Joinville, com 17.000 m² de área construída, são produzidos os sistemas de absorção, que são utilizados na fabricação de refrigeradores acionados a gás e a querosene. Na outra, também em Joinville, com 87.824 m² de área construída, são fabricados refrigeradores de diversos modelos, acionados a energia elétrica, a gás ou energia elétrica e a querosene ou energia elétrica, condicionadores de ar e secadoras de roupa.

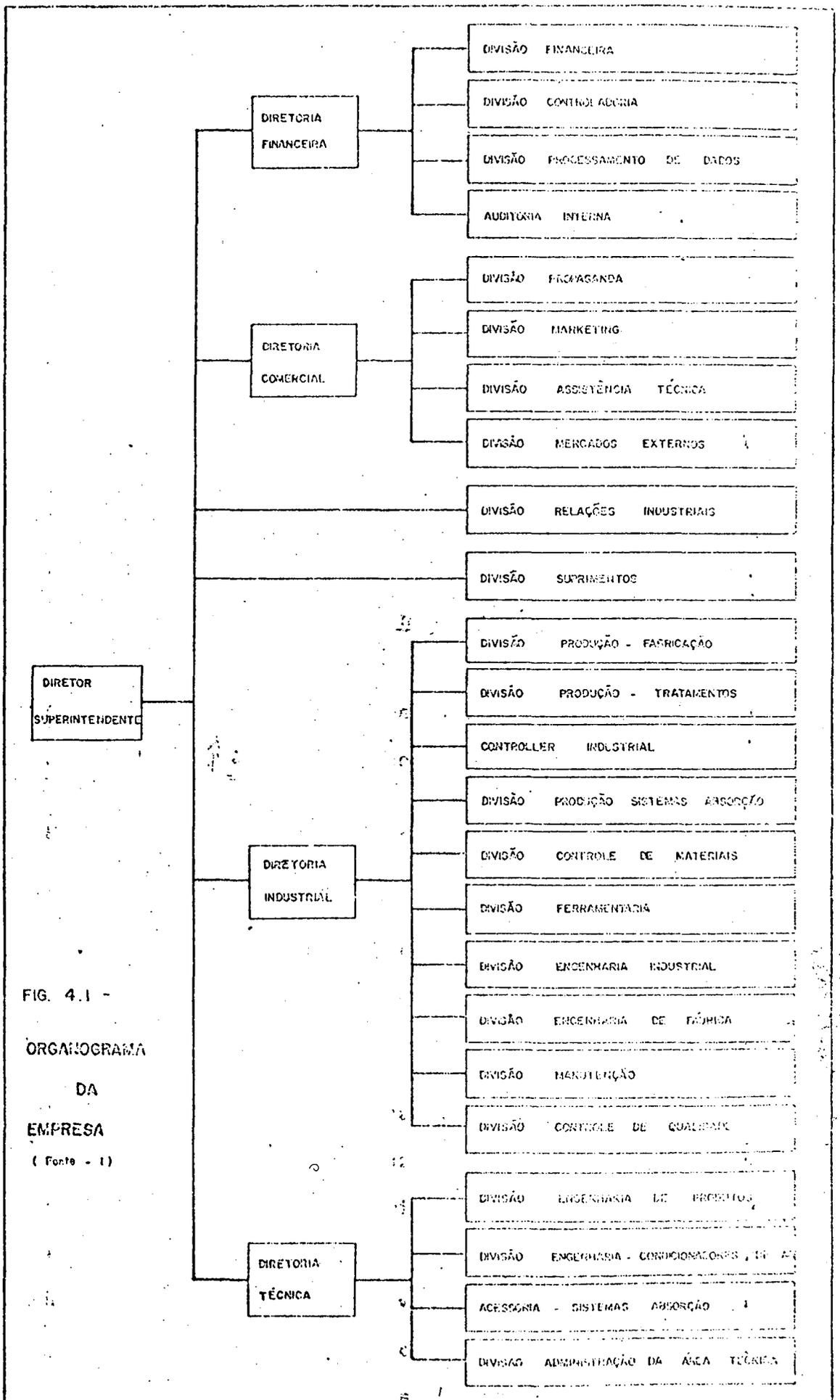


FIG. 4.1 -
ORGANOGRAMA
DA
EMPRESA
(Fonte - 1)

As matérias-primas utilizadas na fábrica são:

- (1) aço - principalmente chapas;
- (2) alumínio - chapas e tubos;
- (3) cobre - principalmente tubos;
- (4) plástico - chapas e granulados.

Atualmente a empresa conta com 5.114 colaboradores diretos, distribuídos em três turnos de trabalho.

A empresa lança no mercado, mensalmente, uma produção de 82.000 refrigeradores, 9.500 condicionadores de ar e 3.200 secadoras de roupa. Dessa produção, aproximadamente 10% é exportado para os mais diversos países; para os modelos com sistema de absorção a proporção exportada é maior que para os demais modelos.

4.2. Fluxograma de Fabricação

A empresa fabrica diversos itens que compõe os produtos. Outros, tais como motores, compressores, relés, termostatos e peças para acabamento são comprados de diversos fornecedores.

As peças compradas, bem como as matérias-primas têm sua qualidade controlada ao darem entrada nos estoques. As peças fabricadas também são controladas.

Nas figuras 4.2., 4.3., 4.4., e 4.5. estão representados os fluxogramas de fabricação do refrigerador com sistema de absorção, do refrigerador com evaporador, do condicionador de ar e da secadora de roupa, respectivamente.

A diferença entre os refrigeradores acionados a energia elétrica e os acionados a gás ou querosene está no sistema de refrigeração: en-

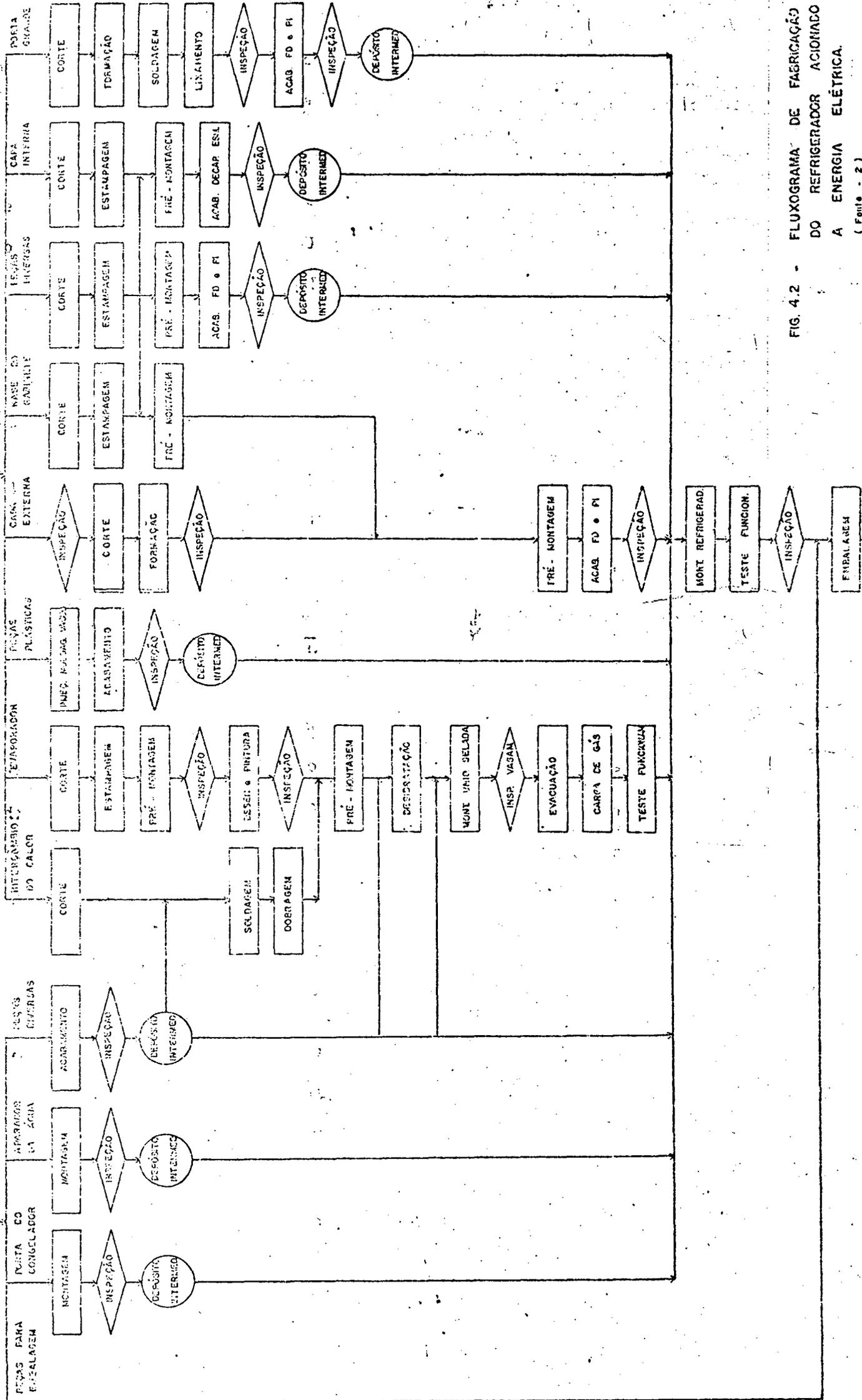


FIG. 4.2 - FLUXOGRAMA DE FABRICAÇÃO DO REFRIGERADOR ACIONADO A ENERGIA ELÉTRICA. (Fonte - 2)

ALMOXARIFADO DE MATÉRIA - PRIMA I

ALMOXARIFADO DE MATÉRIA - PRIMA II

ALMOXARIFADO DE PEÇAS COMARCAS

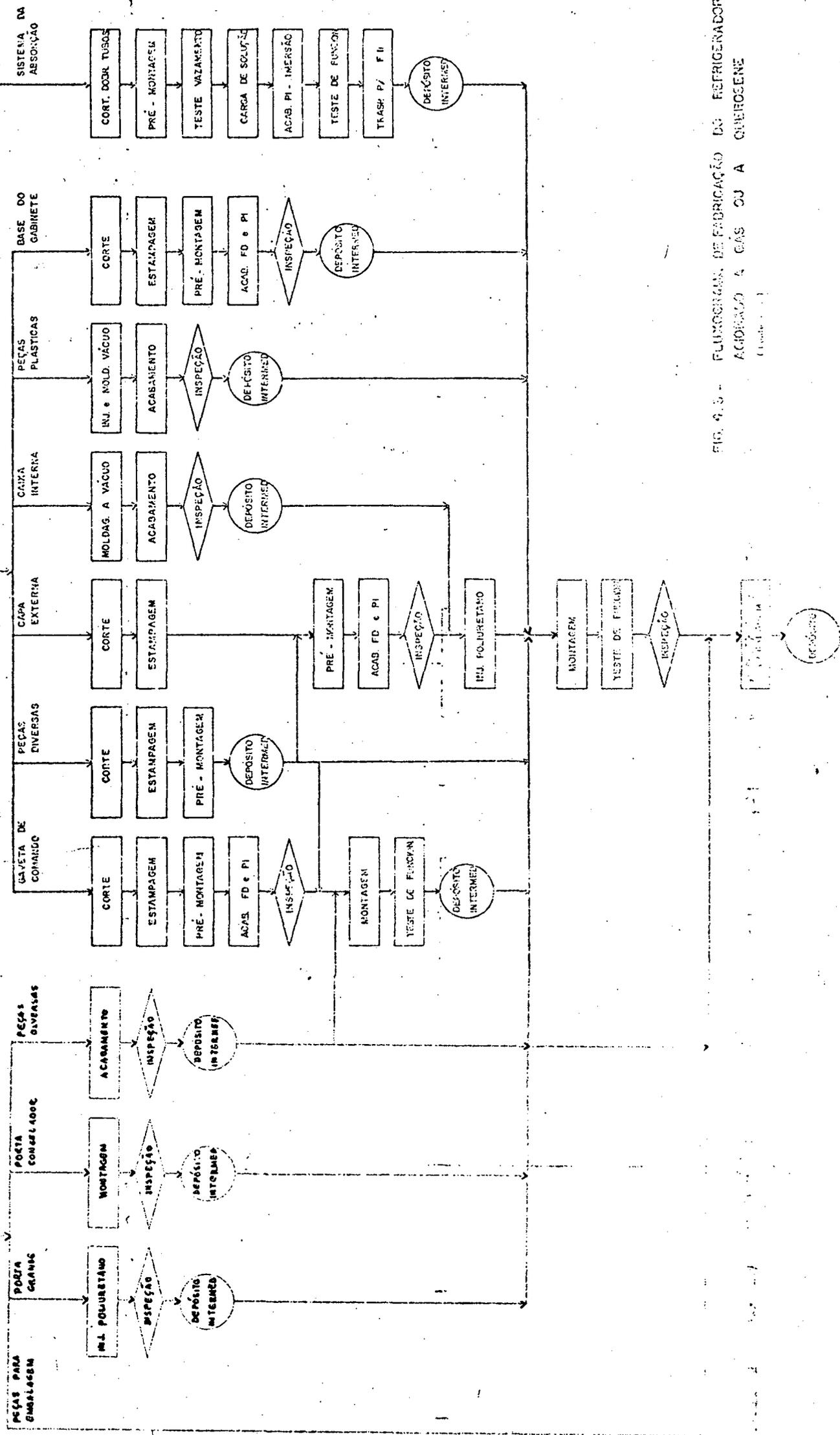


FIG. 9.3 - FLUXOGRAMA DE FABRICAÇÃO DO REFRIGERADOR ACIONADO A GÁS OU A QUEROSENE

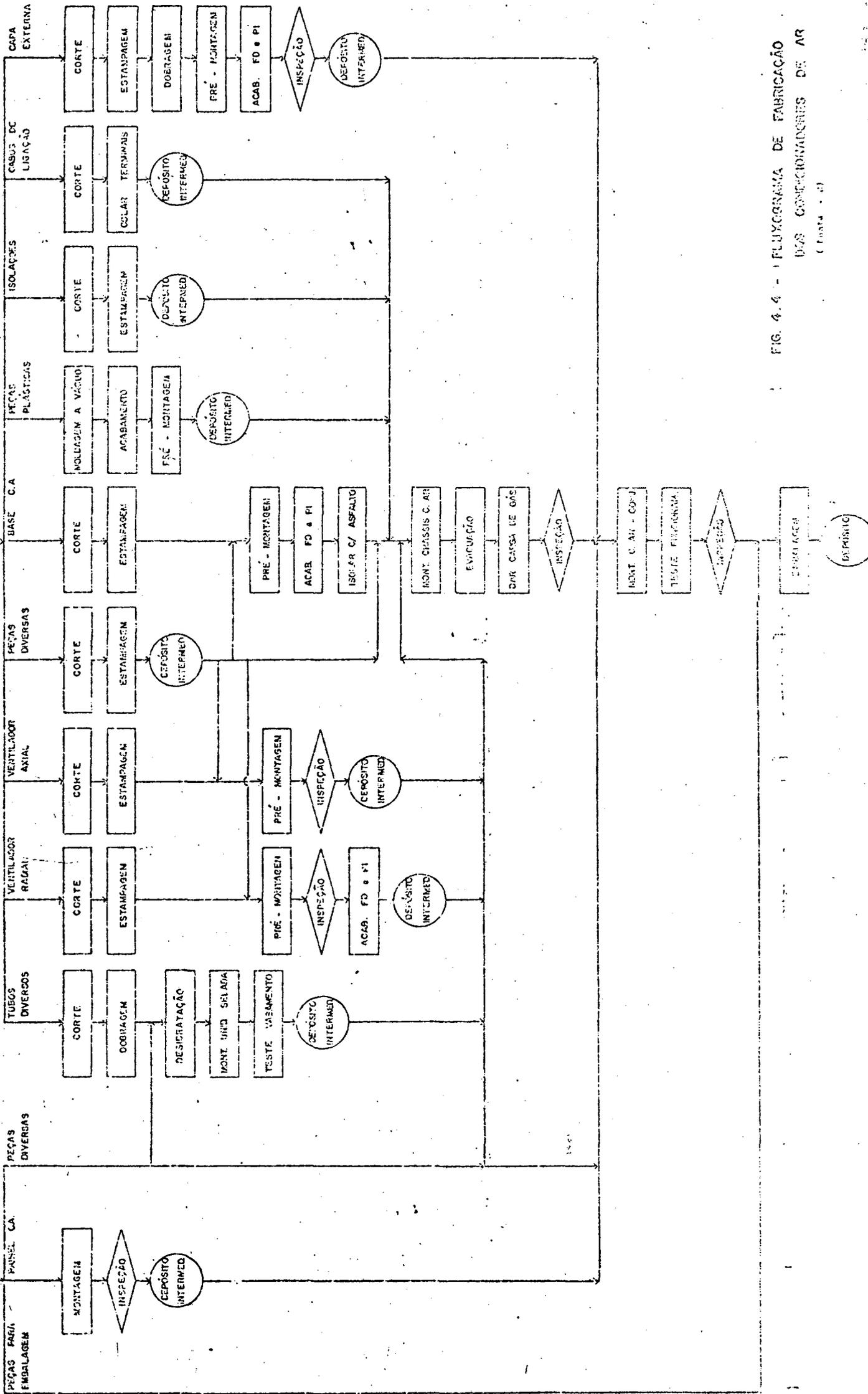


FIG. 4.4 - FLUXOGRAMA DE FABRICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE AR (Cont'd)

quanto o primeiro possui um evaporador, o segundo possui um sistema de absorção do calor. Na montagem dos refrigeradores acionados a querosene são colocados um reservatório de combustível e um queimador; nos refrigeradores acionados a gás é apenas instalado um queimador, pois a estes é ligado o butijão convencional de gás liquefeito de petróleo. Em ambos os modelos com sistema de absorção, é instalada uma resistência e o refrigerador pode também funcionar a energia elétrica.

4.3. A Divisão de Controle de Qualidade na Empresa

A Divisão de Controle de Qualidade na Consul responde à Diretoria Industrial, em mesmo nível que a Produção e a Engenharia Industrial.

O organograma da Divisão de Controle de Qualidade é apresentado na figura 4.6. Atualmente a Divisão conta com 289 colaboradores.

A Divisão de Controle de Qualidade divide-se em cinco departamentos, que são: Desenvolvimento do Controle de Qualidade, Inspeção de Recebimento de Materiais, Inspeção de Fabricação, Inspeção de Montagem e Laboratório Químico. Cada um destes departamentos tem suas atribuições específicas e em conjunto são responsáveis pelo controle da qualidade dos produtos Consul. A seguir serão descritas as atribuições de cada um destes departamentos.

4.3.1. Departamento de Desenvolvimento do Controle de Qualidade

O Departamento de Desenvolvimento do Controle de Qualidade assessoria os demais departamentos da divisão e se compõe de três seções, que são: Confiabilidade do Produto, Estatística e Acompanhamento de Novos Produtos, e Análise e Constatação de Refugos e Metrologia.

A seção de Confiabilidade do Produto é uma seção de apoio aos de

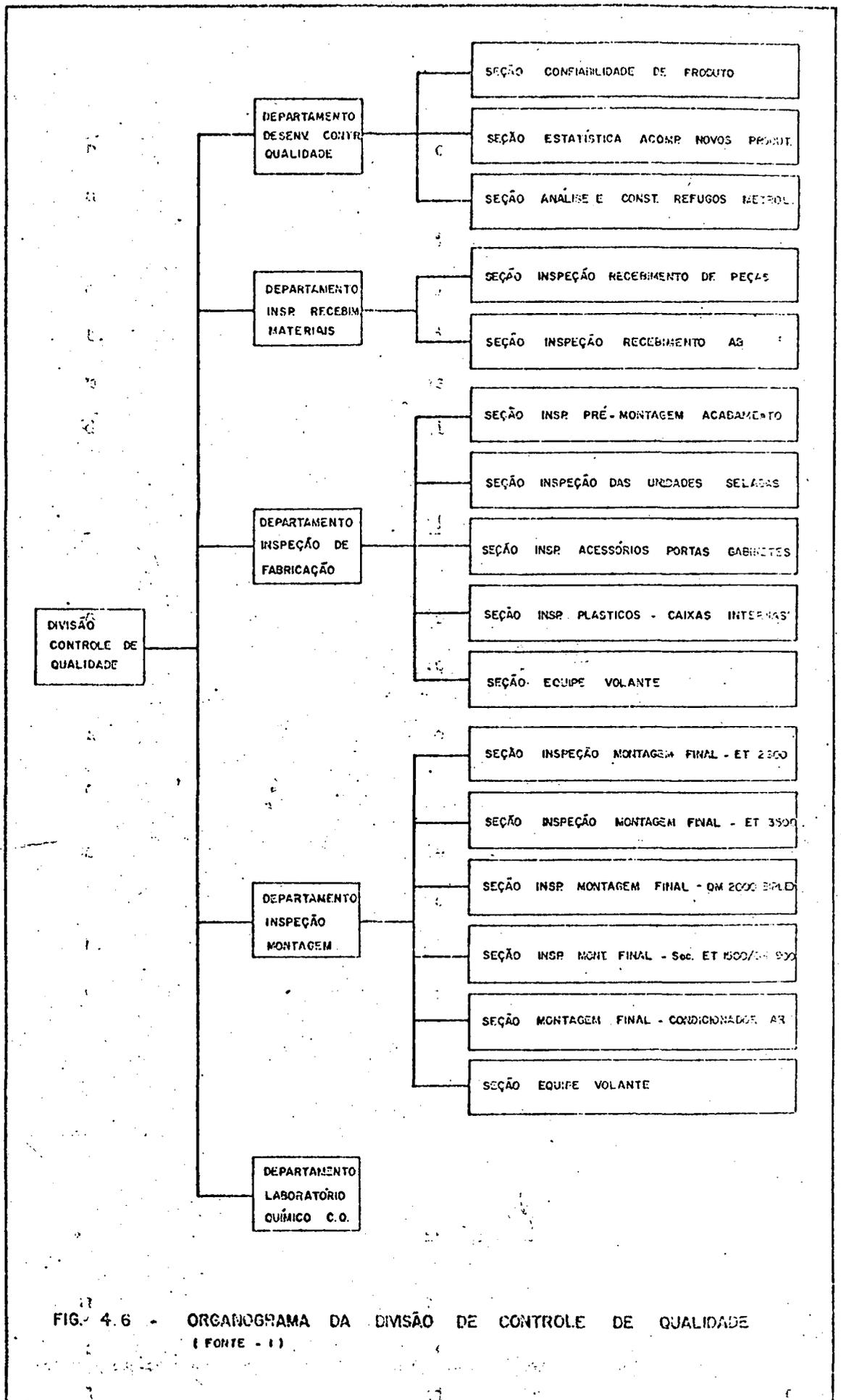


FIG. 4.6 - ORGANOGAMA DA DIVISÃO DE CONTROLE DE QUALIDADE
(FONTE - I)

partamentos de inspeção do controle de qualidade na empresa. Visa desenvolver métodos práticos e eficientes de controles e testes, selecionando equipamentos e fazendo arranjos adequados para melhor controlar a qualidade dos produtos fabricados, de acordo com as especificações expedidas pela Engenharia de Produtos. Além disso, faz manutenções e calibrações na maioria dos instrumentos usados no controle da qualidade.

A vigilância sobre o cumprimento dos procedimentos de teste estabelecidos é também uma atribuição da seção de Confiabilidade do Produto.

A performance dos produtos produzidos é testada regularmente. As eventuais irregularidades são analisadas e os setores responsáveis alertados.

A seção de Confiabilidade do Produto faz auditorias de qualidade nos produtos periodicamente. A equipe se mantém alerta ao índice de reclamações no "campo".

A seção de Estatística e Acompanhamento de Novos Produtos é responsável pela compilação dos dados referentes a defeitos e defeituosos provenientes da Fabricação e Linha de Montagem. Os inspetores na Fabricação e Linha de Montagem anotam os defeitos detectados no produto em fichas próprias; nessa seção estes dados são compilados e relatados em formulários próprios, e cópias destes são entregues aos diretores, gerentes e chefes dos departamentos em que os defeitos ocorreram. O objetivo do envio semanal destes relatórios ao pessoal da Produção envolvido é informar os índices de qualidade. No dia seguinte à entrega destes relatórios são feitas reuniões entre o pessoal da Produção e Controle de Qualidade, com o objetivo de discutir os índices de qualidade, as possíveis causas dos defeitos mais críticos e as providências capazes de prevenir a ocorrência dos mesmos. Além disso, são feitos gráficos de acompanhamento da qualidade semanais, mensais e anuais.

As modificações nos produtos e processos são também acompanhadas. A seção de Estatística e Acompanhamento de Novos Produtos tem a função de acompanhar o processo no período após a modificação, e dar o seu parecer sobre a viabilidade da mesma, sempre tendo em mente a qualidade dos produtos Consul.

Os procedimentos de inspeção, os formulários e os postos de inspeção nas linhas são também da responsabilidade da seção de Estatística e Acompanhamento de Novos Produtos.

A partir dos dados de refugos ocorridos na Fabricação e Linha de Montagem a seção de Análise e Constatação de Refugos e Metrologia tem a função de analisar as causas dos mesmos, identificando as seções onde ocorreram, e os custos decorrentes destes refugos são contabilizados para as seções onde ocorreu o defeito.

No que diz respeito à Metrologia a seção tem a função de fazer o controle dimensional das amostras enviadas pelos fornecedores novos ou dos que fizeram modificações em seus processos. Sobre as peças fabricadas na empresa também é feito o controle dimensional; em casos de alterações as primeiras peças são analisadas. Em paralelo com o controle dimensional da peça analisa-se a estética da mesma, considerando a função e a localização dela no produto final. Com os dados colhidos neste controle faz-se o Relatório de Avaliação de Amostras.

4.3.2. Departamento de Inspeção de Recebimento de Materiais

A qualidade das matérias-primas e insumos de produção é controlada pelo Departamento de Inspeção de Recebimento de Materiais.

Todos os itens que dão entrada nos estoques são controlados; alguns são controlados a 100% e outros por amostragem. Justifica-se o con

controle a 100% de diversos itens pelo fato de vários fornecedores da Consu ainda não possuírem um controle de qualidade adequado em suas instalações fabris, e portanto a qualidade dos produtos por estes submetidos à aceitação não é uniforme. Tão logo for possível estabelecer um NQA com os fornecedores, estes itens também serão inspecionados por amostragem. Outros ainda são controlados a 100% por serem itens críticos, e os defeituosos aceitos causam grandes danos futuros.

A inspeção por amostragem para aceitação dos outros itens é feita segundo planos de amostragem simples, inspeção normal, nível II, do MIL - STD -105D, padronizados pela ABNT. Para cada item foi definido um NQA (nível de qualidade aceitável) de comum acordo com o fornecedor e de acordo com as necessidades do comprador.

Nos itens inspecionados é feito o controle dimensional (conforme desenhos e especificações), o controle visual (aparência da peça) e o controle funcional. Para cada item o valor relativo da aparência, funcionalidade e dimensões é diferente, dependendo da sua função no produto final.

Terminada a inspeção de um item são feitos os registros dos resultados. São anotados os defeitos encontrados com a respectiva frequência, e outros dados que dependem da inspeção, se por amostragem ou se a 100%.

A partir dos resultados da inspeção o lote ou remessa é aceito ou rejeitado. Se aceito, o material segue ao Almoxarifado; se rejeitado, a Divisão de Suprimentos é comunicada e deverá fazer os contatos com o fornecedor. O que se faz com lotes rejeitados depende do que se estabeleceu com o fornecedor. Alguns fornecedores, cujas sedes são próximas da Consu, mandam um inspetor de qualidade, que faz a seleção do refugo e depois, o fornecedor repõe as peças rejeitadas. Em outros ca-

sos, há concessão de descontos por parte do fornecedor, ou seleção a 100% do lote por parte da Consul e envio das peças defeituosas ao fornecedor que deve repô-las e as despesas dessa inspeção correm por conta do fornecedor. Uma outra opção é simplesmente devolver os lotes rejeitados na inspeção da amostra.

Os fornecedores da Consul são também selecionados considerando-se capacidade produtiva, prazos de entrega, preço e qualidade. Todo fabricante interessado em ser um fornecedor da Consul deve enviar amostras de seu produto e a Divisão de Controle de Qualidade procederá aos testes e controles necessários para avaliar a qualidade destas e a adequabilidade das mesmas para os propósitos a que se destinam. As amostras são na verdade comparadas com as especificações de projeto, cabendo ao Controle de Qualidade a aprovação final das mesmas. De forma análoga devem proceder os fornecedores que fazem modificações em seus processos, ou que passam a fornecer um produto novo. Dessa forma procura-se garantir a qualidade das matérias-primas e em parte também a qualidade dos produtos Consul.

Na empresa está sendo implantado um sistema de avaliação de fornecedores ao longo do tempo. Todos os meses serão emitidos relatórios classificando os fornecedores quanto à qualidade, aos prazos de entrega e à assistência que ele dá a Consul. As categorias de classificação são: excelente, satisfatório, regular e insatisfatório.

4.3.3. Departamento de Inspeção de Fabricação

O Departamento de Inspeção de Fabricação é responsável pelo controle da qualidade das partes e peças dos produtos fabricados pela própria Consul. São feitos controles sobre os gabinetes, as portas e caixas internas e as unidades seladas dos refrigeradores, as peças de plás

tico, tais como gaveta de legumes, pinos, canaletas de fixação, etc, a capa externa e a base do condicionador de ar, o painel frontal, os painéis laterais e a tampa da secadora, dentre outros itens.

Na Inspeção de Fabricação cada parte ou peça é controlada na seção em que é fabricada e as características controladas dependem da função da mesma no produto final. Na unidade selada o defeito mais crítico que pode aparecer é vazamento de gás em algum ponto de solda; as portas e o gabinete não podem ter amassamentos, ranhuras, defeitos de pintura; as peças de plástico (em sua maioria acessórios) também devem preencher requisitos de qualidade, tais como resistência, ausência de rebarbas, dimensões especificadas, etc.

Todos os defeitos detectados são marcados e em seguida consertados; caso não for possível consertar uma peça ela é refugada.

O controle das peças fabricadas segue um plano de inspeção, específico para cada item, de acordo com a função do mesmo no produto final. Neste plano de inspeção são também indicadas as cotas mais críticas da peça (controle dimensional), bem como as cotas que podem variar no processo, para que sejam controladas.

Todos os dados coletados na Linha de Fabricação são tratados estatisticamente e discutidos em reuniões com os chefes de seções e gerentes responsáveis. Assim, todos terão consciência dos índices de refugo e defeitos encontrados e corrigidos semanalmente. Cabe então aos responsáveis pelas seções em que ocorreram os defeitos tomar as devidas providências.

4.3.4. Departamento de Inspeção de Montagem

Nas Linhas de Montagem dos produtos o Controle de Qualidade tem

diversos pontos de controle. Conforme o grau de acabamento do produto nestes pontos são controladas diferentes características visando a aprovação do produto quanto à estética, funcionalidade e rendimento. Antes da embalagem do mesmo são também verificadas a existência e a fixação dos componentes internos, e os cuidados e requisitos para uma embalagem segura dos produtos.

Qualquer defeito detectado na Linha de Montagem é anotado na ficha que acompanha o produto e logo em seguida deve ser corrigido. Caso o defeito não for de fácil correção a unidade segue para uma seção especial de consertos. Nos pontos seguintes do Controle de Qualidade é feita a cobrança destes consertos: o controlador verifica se os defeitos detectados nos postos anteriores foram consertados. Além disso, esse controlador deve verificar a existência de defeitos que podem ter ocorrido na seção de consertos ou no transporte.

Os dados sobre a qualidade são tratados estatisticamente e também relatados e discutidos em reuniões com os responsáveis pela montagem, que, se da competência deles, devem prevenir a ocorrência futura destes defeitos.

4.3.5. Departamento Laboratório Químico

No Laboratório Químico são feitas diversas análises de rotina, das quais nem todas são específicas de Controle de Qualidade. Assim, são controladas diariamente, as águas do rio, das caldeiras, das torres de resfriamento e dos poços artesianos.

A principal função do Laboratório Químico é assessorar o Departamento de Recebimento de Materiais e os Departamentos de Inspeção de Fabricação e de Montagem.

Para o Departamento de Inspeção de Recebimento de Materiais o Laboratório Químico faz análise das tintas, do dessecante (molecular sílvico), das varetas de solda, dos solventes, do querosene, do ácido sulfúrico, do asfalto, do polipropileno, da soda cáustica, da frita, do óxido de zinco, da bentonita, da argila, do caulim e de outros produtos usados, de menor importância ou frequência. Além disso, é verificado o tempo de vida do tubo de neoprene, a presença de fungos na gaxeta de vedação da porta e a presença de resíduo interno no capilar, no condensador, no evaporador, na placa secundária e no filtro secador. Cada item desses é analisado segundo um plano de amostragem próprio para o tipo de produto e as condições de estocagem do mesmo. No caso das varetas de solda, como o Laboratório não tem todos os equipamentos necessários para fazer uma análise completa da composição da liga, elas são testadas no processo. Caso se detecta alguma irregularidade, são enviadas amostras a um Laboratório externo que analisa a composição química da liga da vareta.

Os relatórios sobre a qualidade dos materiais comprados e analisados são enviados ao Departamento de Inspeção de Recebimento de Materiais, que juntamente com a Divisão de Suprimentos contacta com os fornecedores notificando as irregularidades encontradas.

Os Departamentos de Inspeção de Fabricação e Montagem são assessorados pelo Laboratório Químico no controle da umidade e resíduo interno nos componentes de refrigeração (tubo capilar, linha de sucção, condensador, evaporador e filtro secador), na unidade selada e no condicionador de ar. A abrasividade do dessecante também é controlada. Para a seção de Pintura o Laboratório Químico analisa a qualidade e a quantidade de deposição de fosfato sobre a chapa.

Análises de tintas são feitas a pedido da Engenharia de Processos.

CAPÍTULO V

5. APLICAÇÃO DO SISTEMA5.1. Preparo das Equações de Custos

O sistema desenvolvido no capítulo 3 é aplicado a dados reais coletados na empresa descrita no capítulo 4. Nesta, a política é tal que lotes rejeitados na inspeção por amostragem são peneirados, e por isso, as equações dos custos são preparadas aqui, e somente para este caso.

(1) Inspeção por amostragem com peneiragem dos lotes rejeitados:

$$E(\text{custo insp. por amost.}) = C_I + C_I n + \int_0^1 ((C_a + C_q - C_r)(N-n)p - C_I(N-n)) \sum_{x=0}^c \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \cdot f(p/n, x) dp$$

$$+ \int_0^1 (C_I(N-n) + C_r np) \cdot f(p/n, x) dp$$

$$f(p/n, x) = \frac{f(p) \cdot P_{x/n, p}}{\int_0^1 f(p) \cdot P_{x/n, p} dp}$$

$$f(p/n, x) = \frac{\frac{(s+r-1)!}{(s-1)!(r-1)!} \binom{n}{x} p^{x+s-1} (1-p)^{n-x+r-1}}{\frac{(s+r-1)!}{(s-1)!(r-1)!} \binom{n}{x} \int_0^1 p^{x+s-1} (1-p)^{n-x+r-1} dp}$$

Integrando o denominador resulta:

$$f(p/n, x) = \frac{(s+n+r-1)!}{(x+s-1)!(n+r-x-1)!} p^{x+s-1} (1-p)^{n+r-x-1}$$

Substituindo esse resultado na equação de custos acima, e, lembrando que a segunda integral independe de n e x , e portanto $f(p/n, x) = f(p)$, e integrando, vem:

$$E(\text{custo insp por amost.}) = C_i + C_I n + (N-n) \cdot$$

$$\sum_{x=0}^c \binom{n}{x} \frac{(s+n+r-1)!(2x+s-1)!(2n-2x+r-1)!}{(x+s-1)!(n+r-x-1)!(s+2n+r-1)!} \cdot$$

$$\left[(C_a + C_q - C_r) \frac{2x+s}{s+2n+r} - C_I \right]$$

$$+ C_I (N-n) + C_r N \frac{s}{s+r}$$

Escrevendo os fatoriais sob forma de combinações resulta:

$$E(\text{custo insp. por amost.}) = C_i + C_I n + (N-n) \sum_{x=0}^c \binom{n}{x} \cdot \left[\right.$$

$$\left. \left[\frac{\binom{s+n+r-1}{x+s-1} (n+r-x)}{\binom{s+r+2n-1}{2x+s-1} (2n+r-2x)} \right] \cdot \right.$$

$$\left[(C_a + C_q - C_r) \frac{2x+s}{s+2n+r} - C_I \right] +$$

$$C_I(N-n) + C_r N \frac{s}{s+r} \quad (\text{Eq. 5.1})$$

(2) Aceitar o lote sem inspeção:

$$E(\text{custo aceit. sem insp.}) = C_i + \int_0^1 (C_a + C_q) N p \cdot f(p) dp$$

$$\int_0^1 p \cdot f(p) dp = E(p) = \frac{s}{s+r}$$

$$E(\text{custo aceit. sem insp.}) = C_i + (C_a + C_q) N \frac{s}{s+r} \quad (\text{Eq. 5.2})$$

(3) Peneiragem dos lotes:

$$E(\text{custo insp. a 100\%}) = C_i + C_I N + \int_0^1 C_r N p \cdot f(p) dp$$

$$E(\text{custo insp. a 100\%}) = C_i + C_I N + C_r N \frac{s}{s+r} \quad (\text{Eq. 5.3})$$

5.2. Determinação de c

Para determinar c_{min} , o c tal que a segurança do produtor seja maior ou igual $(1 - \alpha)$, α é usado como sendo 5%, e p , a média do processo é igual ao NQA utilizado na inspeção do item sob MIL - STD-105D.

A determinação de c_{ot} será tal que o custo da aceitação do lote com $x = c$ seja menor ou no máximo igual ao custo da rejeição com o mesmo x , respeitando a condição de c_{ot} ser no mínimo igual a c_{min} . Como x é uma variável discreta, ao invés de calcular cada vez os dois custos citados acima, pode-se verificar o que acontece com a função dos custos totais quando c muda para $c + 1$, para um n fixo:

Para $x = c$ a função dos custos totais será:

$$E(\text{custo insp. por amost.}) = C_i + C_I n + \int_0^1 ((C_a + C_q)(N-n) + C_r n) \cdot$$

$$\sum_{x=0}^c \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} p \cdot f(p/n, x) dp +$$

$$\int_0^1 (C_I(N-n) + C_R N p) \sum_{x=c+1}^n \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \cdot$$

$$f(p/n, x) dp.$$

Para $x = c + 1$, a função dos custos totais será:

$$E(\text{custo insp por amost.}) = C_I + C_I n + \int_0^1 ((C_a + C_q)(N-n) + C_r n)$$

$$\sum_{x=0}^{c+1} \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} p \cdot f(p/n, x) dp +$$

$$\int_0^1 (C_I(N-n) + C_r n p) \sum_{x=c+2}^n \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \cdot$$

$$f(p/n, x) dp.$$

A diferença entre o segundo custo e o primeiro será:

$$\int_0^1 ((C_a + C_q)(N-n) + C_r n) \binom{n}{c+1} p^{c+1} (1-p)^{n-c-1} p \cdot f(p/n, c+1) dp -$$

$$\int_0^1 C_I(N-n) + C_r N p \binom{n}{c+1} p^{c+1} (1-p)^{n-c-1} \cdot f(p/n, c+1) dp$$

Integrando e simplificando a expressão fica:

$$DIF = (C_a + C_q - C_r) \frac{(2c+s+2)}{(2n+r+s)} - C_I \quad (\text{Eq. 5.4})$$

Verifica-se que o custo de aceitação aumenta de uma parcela, para $x = c + 1$; o custo da rejeição diminui também de uma parcela, para

$x = c + 1$. Então, se, o quanto o custo de aceitação aumenta for menor ou igual ao quanto o de rejeição diminui, cot será igual a $c + 1$. Se a diferença entre os dois custos for positiva, cot é menor que $c + 1$. É claro que, para respeitar a condição do risco do produtor ser menor ou igual a α , ter-se-á planos cujo cot é tal que a diferença entre os dois custos é positiva, e portanto não é o c que resulta em custos mínimos. Dessas considerações resulta então o c , número de aceitação do plano de inspeção de qualidade.

5.3. Determinação do Plano Ótimo e Comparação com o Plano

sob MIL -STD - 105D

A alternativa aceitar o lote sem inspeção é a primeira a ser avaliada. Em seguida, como a função de custos não é convexa, o custo da aceitação com inspeção por amostragem deve ser avaliado para cada n . Por fim, o custo da alternativa peneirar o lote é também calculado. Todos esses custos, para $n = 0, 1, 2, \dots, N$, devem ser comparados entre si, para que o plano ótimo seja identificado.

Com o intuito de comparar o sistema proposto com o usado na empresa, o MIL - STD - 105D, é feita uma avaliação do custo total esperado do plano (n, c) deste sistema, para o N , tamanho do lote em questão. Esse custo é comparado com o custo total esperado do plano ótimo determinado pelo sistema proposto.

5.4. Descrição dos Itens Seleccionados para a Aplicação do Sistema

Para efeito de aplicação do sistema foram seleccionados cinco i-

Itens dos que a empresa compra. Estes itens são controlados no recebimento de materiais segundo os planos de inspeção por amostragem da NZ 309, amostragem simples, por atributos. A inspeção é normal, nível II.

Como a recuperação de um item sempre depende do defeito que apresentar, será desconsiderada essa possibilidade nesta aplicação.

Os itens selecionados são: relé de partida, termostato, placa do evaporador, aparador d'água e porta do congelador. A seguir são tecidas considerações sobre esses itens.

a) Relé de partida - A função do relé de partida é ligar e desligar o motor do compressor sob comando do termostato, bem como protegê-lo contra correntes excessivas através do protetor térmico.

Na inspeção de recebimento do relé de partida são feitos os seguintes controles:

- (1) Controle dimensional, conforme desenhos e especificações;
- (2) Controle visual, observando-se a presença de danos na carcaça, a presença de oxidação nos terminais e a sua fixação;
- (3) Controle funcional, onde se verifica a corrente de ligação e desligamento, o isolamento elétrico e o tempo de atuação do protetor térmico com uma corrente pré-estabelecida.

Após a citação o relé é montado no compressor, na unidade selada, e em caso de apresentar defeito ele é trocado, e devolvido ao fornecedor. O defeito que comumente aparece é a amperagem de abertura da peça bimetálica (protetor térmico) estar fora da especificada.

b) Termostato - A função do termostato é comandar o relé, que liga e desliga o refrigerador quando são atingidas as temperaturas máxima e mínima especificadas, respectivamente.

Na inspeção de recebimento do termostato são feitos os seguintes controles:

- (1) Controle dimensional, conforme desenhos e especificações; os pontos mais críticos são o comprimento do bulbo, e o diâmetro, entalhe e comprimento da haste;
- (2) Controle visual, onde se observa a presença de danos e a identificação da carcaça, a fixação e a presença de oxidação nos terminais e a presença de danificações no bulbo;
- (3) Controle funcional, onde se verifica a momento torsor da haste, a rigidez dielétrica, a calibração;
- (4) Ensaio do tempo de vida.

A constatação de defeitos no termostato, não liga, não desliga, ou outro, ocorre quase no final da Linha de Montagem, mas mesmo assim a substituição do mesmo não oferece maiores problemas, embora seja necessário desviar o refrigerador para a linha de consertos. O termostato defeituoso encontrado é refugado e devolvido ao fornecedor.

c) Placa do evaporador - A placa do evaporador é uma placa de alumínio, já com tubos, por onde deve circular o gás refrigerante. Antes de formar o congelador do refrigerador a placa passa por diversos processos.

Na inspeção de recebimento da placa do evaporador são feitos as seguintes controles:

- (1) Controle dimensional, conforme desenhos e especificações; as características mais críticas são a abertura do capilar e o posicionamento da serpentina;
- (2) Controle visual, onde se observa o acabamento da peça;
- (3) Controle funcional, onde é verificado o resíduo interno e determinado o volume interno.

Os defeitos que ocorrem com mais frequência na placa do evaporador são amassamentos, furos e obstrução dos tubos. Se a placa apresentar

tar algum defeito e este for constatado antes da mesma ter sofrido algum processo de fabricação ela é devolvida ao fornecedor; caso contrário, é refugada e vendida como sucata.

d) Aparador d'agua - A função do aparador d'agua é coletar a água que se liquefaz na parte externa do refrigerador. A peça é de plástico, e recebe alguns acabamentos, antes de ser colocada na refrigerador.

Na inspeção de recebimento do aparador d'agua são feitos os seguintes controles:

- (1) Controle dimensional, conforme desenhos e especificações;
- (2) Controle visual, onde se observa a presença de trincas, rebarbas, quebras, empenamentos, manchas, rechupes, marcas de extrator, sovamento, riscos, furos obstruídos, encaixes e solda fria; a flexibilidade e a tonalidade são também controladas;
- (3) Controle funcional, onde se verificam as condições de montagem da peça, ou seja, as condições de encaixe no refrigerador.

Na Linha de Montagem a aparador d'agua é uma das últimas peças a serem colocadas no refrigerador. Se houver algum defeituoso, é substituído por outro na própria Linha de Montagem, e refugado, exceto em casos raros, quando a sua recuperação é possível.

e) Porta do congelador - A porta do congelador tem a função de fechar o congelador. Deve ter requisitos mínimos de estética, uma vez que é um item bem visível no produto. Antes de ser montada no refrigerador, o item passa por diversos processos de acabamento, como fixação do puxador e pintura ou colocação de faixa ornamental.

Na inspeção de recebimento da porta do congelador são feitos os mesmos controles que no recebimento do aparador d'agua.

Os defeitos que podem aparecer numa porta já montada no refrigerador são os mais diversos. Caso seja detectado algum, a porta é substituída por outra na própria Linha de montagem. Se possível, a peça defeituosa é recuperada, e, se não, é sucateada.

No anexo estão os desenhos e especificações fornecidos pela Engenharia de Produtos da empresa aos fornecedores, de alguns destes itens.

Os dados numéricos sobre estes itens, tais como o nível de qualidade aceitável, os custos e informações sobre a qualidade dos lotes já inspecionados estão na tabela 5.1., onde, N representa o tamanho do lote recebido, n a amostra extraída e c o número de aceitação sob NB 309 (MIL - STD - 105D), e, x o número de peças defeituosas encontradas.

Considera-se no início que se tem nenhuma informação, e, portanto, a $f(p)$ "a priori" será $\text{beta}(s,r) = \text{beta}(1,1)$. Os lotes inspecionados para aceitação relacionados nos dados levantados são considerados no modelo como segue: Para cada N é determinado o plano ótimo (n,c) . A amostra inspecionada n , e o número de peças defeituosas encontradas x , são usados para estimar o número de defeituosas existentes na amostra ótima, determinada pelo sistema proposto, da seguinte maneira: $x_0 = (x \cdot n_0)/n$, onde, n_0 é a amostra ótima e x_0 , o inteiro igual ou maior que esse cociente, é a estimativa do número de peças defeituosas na amostra de tamanho n_0 . Contudo, sabe-se que essa estimativa não é muito adequada, pois, se, por exemplo, em 80 peças foram encontradas 4 defeituosas, não significa necessariamente que em 5 uma defeituosa é encontrada. Para ter o real valor do número de peças defeituosas seria necessário testar o sistema na prática. Os valores de x_0 e $n_0 - x_0$ são depois usados para determinar os parâmetros s e r da distribuição "a priori", resultando daí a "a priori" para a aplicação seguinte. Utiliza-se "sem-

TABELA 5.1. DADOS COLETADOS SOBRE OS ITENS SELECIONADOS

DADOS REFERENTES AO ITEM: <u>RELE DE PARTIDA</u>			
CODIGO:	101207	NQA:	0,65 %
CUSTOS Cr\$:			
ci = 2,277	CI = 0,084	Ca = 267,894	Cr = 0,003

INFORMAÇÕES DE LOTES INSPECIONADOS PARA ACEITAÇÃO

N	n	c	x	N	n	c	x
4.080	200	3	0	5.520	200	3	0
3.000	125	2	2	2.280	125	2	0
2.940	125	2	0	5.040	200	3	2
840	80	1	1	2.520	125	2	0
5.760	200	3	0	480	50	1	0
5.040	200	3	0	960	80	1	0
1.920	125	2	0	840	80	1	1
840	80	1	0	840	80	1	0
3.720	200	3	0	840	80	1	0
1.680	125	2	0	260	32	0	0

DADOS REFERENTES AO ITEM: TERMOSTATO

CODIGO: 100301 NQA: 1,00 %

CUSTOS Cr\$:

ci = 1,211	CI = 0,924	Ca = 164,686	Cr = 4,27
------------	------------	--------------	-----------

INFORMAÇÕES DE LOTES INSPECIONADOS PARA ACEITAÇÃO

N	n	c	x	N	n	c	x
2.423	125	3	2	2.300	125	3	2
1.750	125	3	1	2.432	125	3	0
700	80	2	0	1.062	80	2	2
1.500	125	3	2	2.097	125	3	1
306	50	1	0	3.000	125	3	0
2.016	125	3	0	2.850	125	3	0
3.354	125	3	0	150	20	0	0
145	20	0	2	5.000	125	3	1
1.098	80	2	1	3.000	200	5	0
3.791	200	5	2	2.301	125	3	0

TABELA 5.1. (continuação)

07

DADOS REFERENTES AO ITEM: PLACA DO EVAPORADOR

CÓDIGO: 100607 NQA: 1,00 %

CUSTOS Cr\$:

CI = 3,996	CI = 0,650	Ca = 512,509	Cr = 14,105
------------	------------	--------------	-------------

INFORMAÇÕES DE LOTES INSPECIONADOS PARA ACEITAÇÃO

N	n	c	x	N	n	c	x
2.200	125	3	0	3.600	125	3	0
1.300	125	3	3	1.600	125	3	0
1.500	125	3	8	2.700	125	3	0
700	80	2	0	3.200	125	3	0
2.500	200	5	0	2.000	125	3	0
1.700	125	3	0	2.200	125	3	0
1.500	125	3	8	1.500	125	3	0
2.300	125	3	1	2.000	125	3	0
800	80	2	0	1.900	125	3	0
3.300	125	3	1	1.500	125	3	0

DADOS REFERENTES AO ITEM: APARADOR D'AGUA

CÓDIGO: 300493 NQA: 2,50 %

CUSTOS Cr\$:

CI = 1,704	CI = 0,748	Ca = 214,908	Cr = 0,000
------------	------------	--------------	------------

INFORMAÇÕES DE LOTES INSPECIONADOS PARA ACEITAÇÃO

N	n	c	x	N	n	c	x
260	32	2	0	770	80	5	0
1.100	80	5	0	770	80	5	0
1.100	80	5	0	1.430	125	7	12
1.100	80	5	0	770	80	5	0
650	80	5	1	550	80	5	0
1.300	125	7	0	666	80	5	0
550	80	5	0	1.430	125	7	0
182	32	2	0	547	80	5	0
832	80	5	0	1.540	125	7	0
550	80	5	0	1.980	125	7	0

TABELA 5.1. (continuação)

DADOS REFERENTES AO ITEM: <u>PORTA DO CONGELADOR</u>							
CÓDIGO:	300496	NQA:	2,50 %				
CUSTOS Cr\$:							
ci = 0,768	CI = 0,664	Ca = 92,563	Cr = 0,000				
INFORMAÇÕES DE LOTES INSPECIONADOS PARA ACEITAÇÃO							
N	n	c	x	N	n	c	x
146	80	5	0	653	80	5	0
1.042	80	5	0	600	80	5	0
652	80	5	0	300	50	3	10
519	80	5	0	1.085	80	5	0
525	80	5	0	543	80	5	0
664	80	5	0	1.400	125	7	1
450	50	3	0	433	50	3	0
110	20	1	0	1.300	125	7	0
550	80	5	31	1.045	80	5	0
771	80	5	0	550	80	5	0

pre a informação dos cinco últimos lotes, isto é, $d = 5$.

Os custos dos planos (n , c) determinados são depois comparados com os custos dos planos utilizados pela empresa.

Os resultados obtidos nesta aplicação estão nas páginas seguintes e o programa utilizado está listado no apêndice 3.

PLANOS ÓTIMOS DE INSPEÇÃO

ITEM : RELE DE PARTIDA

CÓDIGO: 101207

SEGURANÇA DO PRODUTOR : MAIOR OU IGUAL A 0,95

NÍVEL DE QUALIDADE ACEITÁVEL : 0,0065

Tam. do Lote	Plano Ótimo (n,c)	Custo Cr \$	Plano Usado (n,c)	Custo Cr \$	Economia Cr \$
4080	4080, 35	351,12	200, 3	3889,02	3537,90
3000	7, 0	198,71	125, 2	201,26	2,54
2940	7, 0	194,46	125, 2	197,01	2,55
840	7, 0	57,19	80, 1	58,56	1,37
5760	7, 0	377,40	200, 3	381,81	4,41
5040	7, 0	329,97	200, 3	334,30	4,33
1920	1920, 19	163,71	125, 2	2251,17	2087,45
840	840, 10	72,84	80, 1	112,09	39,24
3720	3720, 33	314,76	200, 3	357,16	42,40
1680	0, 0	71,56	125, 2	76,88	5,33
5520	0, 0	230,17	200, 3	238,66	8,49
2280	0, 0	96,51	125, 2	101,81	5,31
5040	7, 0	297,71	200, 3	303,12	5,41
2520	7, 0	182,78	125, 2	184,61	1,82
480	480, 7	42,69	50, 1	988,50	945,82
960	960, 11	82,92	80, 1	427,11	344,18
840	840, 10	72,84	80, 1	145,81	73,97
840	840, 10	72,85	80, 1	793,51	720,66
840	840, 10	72,84	80, 1	622,92	550,15
260	260, 4	24,12	32, 0	199,12	175,00
Tot:49400	14829	3307,15	2512	11824,80	8517,65

PLANOS ÓTIMOS DE INSPEÇÃO

ITEM : TERMOSTATO

CÓDIGO: 100301

SEGURANÇA DO PRODUTOR : MAIOR OU IGUAL A 0,95

NÍVEL DE QUALIDADE ACEITÁVEL : 0,01

Tam. do Lote	Plano Ótimo (n,c)	Custo Cr \$	Plano usado (n,c)	Custo Cr \$	Economia Cr \$
2423	828, 13	6678,05	125, 3	8007,09	1329,04
1750	1750, 25	1744,37	125, 3	2788,29	1043,92
700	700, 12	680,48	80, 2	996,31	315,85
1500	1500, 22	1441,94	125, 3	1788,33	346,39
306	306, 6	298,18	50, 1	449,37	151,15
2016	2016, 28	1952,10	125, 3	2681,05	728,96
3354	3354, 44	3189,41	125, 3	3316,27	126,85
145	0, 0	76,99	20, 0	88,17	11,15
1098	0, 0	631,00	80, 2	701,02	70,02
3791	0, 0	111,17	200, 5	290,84	179,68
2300	0, 0	71,72	125, 3	183,83	112,11
2432	0, 0	120,55	125, 3	230,63	110,08
1062	524, 9	3063,91	80, 2	3781,44	717,55
2097	2097, 29	2177,39	125, 3	3606,54	1429,15
3000	3000, 39	2919,85	125, 3	4221,12	1301,27
2850	0, 0	2505,33	125, 3	2529,13	23,81
150	0, 0	133,01	20, 0	134,56	1,55
5000	0, 0	4394,40	125, 3	4430,27	35,87
3000	0, 0	1648,39	200, 5	1961,68	313,29
2301	0, 0	127,44	125, 3	236,23	109,79
Tot:41275	16075	33965,68	2230	42422,77	8467,10

PLANOS ÓTIMOS DE INSPEÇÃO

ITEM : APARADOR D'ACUA

CÓDIGO: 300493

SEGURANÇA DO PRODUTOR : MAIOR OU IGUAL A 0,95

NÍVEL DE QUALIDADE ACEITAVEL : 0,025

Tam. do Lote	Plano Ótimo (n,c)	Custo Cr \$	Plano Usado (n,c)	Custo Cr \$	Economia Cr \$
260	260, 11	196,18	32, 2	960,97	764,78
1100	590, 21	756,40	80, 5	871,31	114,91
1100	0, 0	279,17	80, 5	318,67	39,50
1100	0, 0	279,17	80, 5	318,67	39,50
650	0, 0	165,70	80, 5	209,23	39,57
1300	0, 0	329,62	125, 7	391,32	61,71
550	0, 0	201,36	80, 5	231,59	30,23
182	182, 9	137,84	32, 2	640,99	503,15
832	656, 23	611,76	80, 5	874,45	262,69
550	0, 0	142,42	80, 5	181,71	39,29
770	0, 0	198,70	80, 5	237,95	39,25
770	0, 0	198,70	80, 5	237,95	39,25
1430	0, 0	367,56	125, 7	428,76	61,19
770	0, 0	253,19	80, 5	296,38	43,18
550	550, 20	413,10	80, 5	1072,28	659,18
666	2, 0	260,72	80, 5	318,74	58,02
1430	2, 0	555,04	125, 7	608,80	53,76
547	2, 0	213,06	80, 5	241,31	28,25
1540	2, 0	593,33	125, 7	632,40	39,07
1980	2, 0	759,48	125, 7	807,50	48,02
Tot:18077	2248	6912,50	1720	10000,98	3088,48

PLANOS OTIMOS DE INSPEÇÃO

ITEM : PORTA DO CONGELADOR CODIGO:300496

SEGURANÇA DO PRODUTOR : MAIOR OU IGUAL A 0,95

NIVEL DE QUALIDADE ACETTAVEL : 0,025

Tam. do Lote	Plano Ótimo (n,c)	Custo Cr \$	Plano Usado (n,c)	Custo Cr \$	Economia Cr \$
146	146, 7	97,71	80, 5	136,11	38,40
1042	332, 13	510,00	80, 5	591,30	81,29
652	0, 0	126,50	80, 5	163,95	37,45
519	0, 0	100,85	80, 5	138,36	37,51
525	0, 0	102,00	80, 5	139,52	37,51
664	0, 0	128,81	80, 5	166,26	37,45
450	0, 0	125,48	50, 3	143,50	18,03
110	110, 6	73,81	20, 1	211,58	137,77
550	270, 11	313,97	80, 5	372,88	58,91
771	771, 27	512,71	80, 5	512,92	0,21
653	653, 23	434,36	80, 5	681,44	247,08
600	600, 22	399,17	80, 5	809,69	410,53
300	300, 12	199,97	50, 3	505,87	305,90
1085	1085, 36	721,21	80, 5	1575,33	854,13
543	0, 0	15,50	80, 5	66,53	51,03
1400	0, 0	49,85	125, 7	128,74	78,88
433	0, 0	20,94	50, 3	51,91	30,97
1300	0, 0	87,52	125, 7	162,56	75,03
1045	0, 0	89,75	80, 5	136,40	46,65
550	364, 14	341,92	80, 5	639,42	297,51
Tot:13338	4631	4452,03	1540	7334,27	2882,24

5.5. Análise e Comentários sobre os Resultados Obtidos

Em sumário, os resultados, em termos de custos, são:

Item	Custo	Custo	Economia	% de Economia
	MIL-STD-105D	Sist. Prop.		
relê de part.	11824,80	3307,15	8517,63	72,03
termostato	42422,77	33965,68	8457,10	19,94
placa do ev.	89385,61	48998,67	40386,94	45,18
aparador d'a.	10092,98	6912,50	3180,64	31,51
porta do con.	7334,27	4452,03	2882,24	39,30
Totais	161060,43	97636,03	63424,55	39,38

Quanto ao tamanho das amostras a serem tomadas obteve-se:

Item	Amostra	Amostra	Fator de Proporcionalidade
	Tomada	Proposta	
relê de partida	2512	14829	5,90
termostato	2230	16075	7,21
placa do evapor.	2485	23200	9,34
aparador d'agua	1729	2248	1,30
porta do congelad.	1540	4631	3,01
Totais	10496	60983	5,81

Conclui-se destes dados que o sistema proposto é consideravelmente mais econômico. Uma outra vantagem do proposto sobre os demais sistemas é que os planos são determinados em função dos resultados obtidos nas inspeções anteriores. A desvantagem está no fato de exigir, no geral um tamanho de amostra muito maior que o sistema MIL - STD-- 105D. O que certamente contribuiu para elevar tanto este número é o fato de de, por falta de informação real, o número de peças defeituosas em n_c (amos

tra ótima), ter sido extrapolado a partir do número de defeituosas encontradas na amostra extraída sob MIL - STD - 105D. Os custos dos planos MIL - STD - 105D também foram avaliados considerando essa informação extrapolada. Portanto, numa aplicação real do sistema o número de peças a inspecionar de uma série de lotes, provenientes de um processo controlado para p_0 , será menor, e a relação dos custos entre os dois sistemas também será diferente da obtida na aplicação feita.

Quando nenhuma informação estiver disponível, é exigida uma amostra relativamente grande, quando não igual a N . Essa é a situação no início, primeiro lote, e depois de cinco lotes terem sido aceitos sem inspeção. Ao se ter mais informações, o modelo reage de modo diferente: exige amostras grandes quando as informações não forem boas, e amostras pequenas em caso contrário. O modelo reage rapidamente às informações obtidas.

Ao se aceitar um lote sem inspeção nenhuma informação é colhida. O número de informações utilizadas, d , não pode ser muito grande, pois se d lotes são aceitos sem inspeção ocorre a perda de informações, e as antigas de que se dispõe nem sempre são confiáveis. Por outro lado, d não pode ser muito pequeno, pois variações em p podem ocorrer exclusivamente ao acaso, e estas não devem ser detectadas pelo modelo. No apêndice 4 estão os resultados da aplicação do modelo para um item com $d=10$.

5.6. Possibilidade de Implantação do Sistema

Uma vez verificado que o sistema proposto apresenta vantagens sobre o MIL - STD - 105D, convencionalmente usado nas empresas, é imprescindível imaginar e descrever como deveria o mesmo funcionar se fosse implantado numa seção de Recebimento de Materiais, por exemplo, numa empresa ou divisão governamental.

Antes de mais nada é necessário que a seção de Controle de Qualidade no Recebimento de Materiais disponha de um mini-computador, exclusivamente para a determinação dos planos de inspeção para os itens que dão entrada nos estoques. Na palicação real haverá lotes grandes que serão rejeitados a partir da informação de uma amostra relativamente pequena. Por outro lado, haverá também outros dos quais são extraídas amostras relativamente grandes e a decisão sobre a aceitação ou rejeição do mesmo é tomada a partir desta. Desta forma, antes de implantar o sistema é necessário familiarizar o produtor com o mesmo e obter a sua aprovação.

Uma alternativa automatizada para a implantação do sistema seria armazenar no computador as informações dos lotes inspecionados, o α , o NQA, os custos, para cada item com seu respectivo código, bem como o programa, e chamá-los quando necessários. Então, o sistema funcionaria assim: para cada lote que chegar é necessário informar o código do item e o tamanho do lote, para que o plano ótimo (n,c) seja determinado. Determinado o plano deveria ser feita a inspeção e o número de peças defeituosas e o número de peças perfeitas encontradas deveriam ser introduzidas no arquivo do computador, e feita a atualização das informações, para serem usadas na aplicação seguinte. Assim, deveria funcionar na prática o sistema proposto.

A implantação e manutenção do sistema proposto requer consideráveis recursos financeiros, mas, ao se observar a economia obtida na aplicação feita neste trabalho, em comparação com o MIL - STD - 105D, nota-se que o retorno do investimento inicial, bem como dos gastos na manutenção do sistema ocorre em pouco tempo. Assim, o sistema poderia ser operacionalizado.

CAPÍTULO VI

6. Conclusões e Recomendações

O objetivo desse trabalho foi desenvolver um sistema de inspeção de qualidade, capaz de competir com sistemas já consagrados como o MIL - STD - 105D. Pelos resultados obtidos no capítulo 5, conclui-se que o objetivo foi alcançado, pois sobre este sistema o proposto tem algumas vantagens; e, embora não comparado com os demais sistemas, como o SSS da Philips e os planos de Dodge e Romig, pode-se inferir que o proposto tem vantagens sobre estes, uma vez que considera o risco do produtor, e os custos e as informações "a priori" sobre p, explicitamente, o que nenhum outro faz.

Conclui-se portanto que, o sistema proposto é uma alternativa para empresas e divisões governamentais procederem a inspeção de qualidade de produtos comprados e ou produzidos, para aceitação dos lotes, com algumas vantagens, em comparação com os demais sistemas existentes.

No decorrer deste trabalho tornou-se claro que o tema em questão, embora não novo, é vasto, e muito ainda deve ser desenvolvido. Trabalhos futuros, decorrentes deste, poderiam ser:

- (1) Operacionalizar o sistema proposto.
- (2) Desenvolver o modelo análogo para a inspeção de qualidade por variáveis.
- (3) Desenvolver um modelo para determinar planos sequenciais para a inspeção da qualidade no processo.
- (4) Desenvolver um modelo que determina o plano ótimo de inspeção de qualidade para o produtor controlar seus produtos, tendo em vista também os custos e transtornos causados pela devolução de lotes por parte do consumidor. O sistema deveria determinar o plano (n, c) ótimo, considerando todos os custos que o produtor tem, quando submete, ao consumidor, lotes à aceitação.
- (5) Desenvolver um modelo para determinar planos de inspeção de qualidade para múltiplos atributos.

BIBLIOGRAFIA

- (1) BOWKER, Albert H. ; LIEBERMAN, Gerald J. Engineering Statistics. 2^o ed. New Jersey. Prentice Hall, Inc. 1972.
- (2) BROWN, Gerald G. ; RUTEMILLER, Herbert C. Tables for Determining Expected Cost per Unit under MIL - STD - 105D Single Sampling Schemes. AIIE Transactions. v. 6. n. 2. jun. 1974. p. 135-142.
- (3) _____ . A Cost Analysis of Sampling Inspection under Military Standard 105D. Naval Research Logistics Quarterly. v. 20. n. 1. mar. 1973. p. 181-199.
- (4) BUENO NETO, Pedro Rodrigues. Comparação entre Decisões Tomadas com o Teste de Hipótese Clássico e a Estatística Bayesiana. Engenharia de Produção. n. 4. 1978. p. 41-45.
- (5) _____ . Teoria da Decisão Aplicada ao Controle de Qualidade. Engenharia de Produção. n. 5. 1979. p. 38-42.
- (6) DUNCAN, Acheson J. Quality Control and Industrial Statistics. 3^o ed. Maryland. Richard D. Irwin, Inc. 1965.
- (7) GRANT, Eugene L. Statistical Quality Control. 3^o ed. Tc- kio. Mc Graw-Hill Book Company, Inc. 1964.

- (8) GUTHRIE, D. ; JOHNS, M. V. Bayes Acceptance Sampling Procedures for Large Lots. Annals of Mathematical Statistics. n. 30. 1959. p. 896-925.
- (9) HALD, A. The Compound Hypergeometric Distribution and a System of Single Sampling Inspection Plans Based on Prior Distributions and Costs. Technometrics. v. 2. n. 3. ag. 1960. p. 275-340.
- (10) _____. Bayesian Single Sampling Attribute Plans for Continuous Prior Distributions. Technometrics. v. 10. n. 4. nov. 1968. p. 667-683.
- (11) HEHL, Maximilian Emil. Sistema de Programação FORTRAN IV - G-H. São Paulo. Editora Mc Graw-Hill do Brasil. 1972.
- (12) MEYER, Paul L. Probabilidade - Aplicações à Estatística (Introductory Probability and Statistical Applications) Trad. Ruy de C. B. Lourenço Filho. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos Editora. 1974.
- (13) MOSKOWITZ, Herbert ; BERRY, William L. A Bayesian Algorithm for Determining Optimal Single Sample Acceptance Plans for Product Attributes. Management Science. v. 22. n. 11. jul. 1976. p. 1238-1250.
- (14) PACITTI, Tércio. FORTRAN Monitor - Princípios. 3ªed. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos Editora. 1974.
- (15) _____ ; ATKINSON, Cyril P. Programação e Métodos Computacionais. 3ª ed. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos Editora. v. 1. 1978.

- (16) PFANZAGL, J. Sampling Procedures Based on Prior Distributions and Costs. *Technometrics*. v. 5. n. 1. fev. 1963. p. 47-61.
- (17) _____ ; SCHULER, W. The Efficiency of Sequential Sampling Plans based on Prior Distributions and Costs. *Technometrics*. v. 12. n. 2. mai. 1970. p. 299-309.
- (18) RAIFFA, Howard. Teoria da Decisão (Introductory Lectures on Choices under Uncertainty) Trad. Sérgio Ellery Girão Barroso. Petrópolis. Editora Vozes. 1977.
- (19) SCHMIDT, J. W. ; BENNETT, G. K. Economic Multiattribute Acceptance Sampling. *AIIE Transactions*. v. 4. n. 3. set. 1972. p. 194-199.
- (20) _____ ; CASE, K. E. The Choice of Variables Sampling Plans Using Cost Effective Criteria. *AIIE Transactions*. v. 6. n. 3. set. 1974. p. 178-184.
- (21) SMITH, Barnard E. The Economics of Sampling Inspection. *Industrial Quality Control*. v. 21. n. 9. mar. 1965. p. 453-458.
- (22) Fonte 1 - Manual da Divisão de Relações Industriais da Consul S. A.
- (23) Fonte 2 - Manual Da Engenharia Industrial da Consul S. A.

APENDICES

APENDICE I

Prova da Afirmação Feita na Seção 3.5.:

"Se o número de peças defeituosas no lote X , tem distribuição binomial com parâmetros N e p , e a probabilidade de ocorrência de x defeituosas em n , dado que há X no lote, tem distribuição hipergeométrica, então o número de defeituosas x , numa amostra de tamanho n tem distribuição binomial com parâmetros n e p ."

Pelo Teorema da Multiplicação das Probabilidades:

$$P(E) = \sum_{j=1}^k P(E/F_j) \cdot P(F_j)$$

$$P(x \text{ def. em } n) = \sum_{X=0}^N P(x \text{ def. em } n/X \text{ em } N) \cdot P(X \text{ em } N)$$

$$= \sum_{X=0}^N \frac{\binom{X}{x} \binom{N-X}{n-x} \binom{N}{X}}{\binom{N}{n}} p^X (1-p)^{N-X}$$

Desenvolvendo primeiro as combinações vem:

$$\frac{\binom{X}{x} \binom{N-X}{n-x} \binom{N}{X}}{\binom{N}{n}} = \frac{X!(N-X)!N!(N-n)!n!}{x!(X-x)!(n-x)!(N-X-n+x)!X!(N-X)!N!}$$

$$= \binom{N-n}{X-x} \binom{n}{x}$$

Então,

$$P(x \text{ def. em } n) = \sum_{X=0}^N \binom{N-n}{X-x} \binom{n}{x} p^x (1-p)^{N-X}$$

Multiplicando e dividindo por $p^x (1-p)^{n-x}$ vem:

$$P(x \text{ def. em } n) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \sum_{X=x}^{N-n+x} \binom{N-n}{X-x} p^{X-x} (1-p)^{N-X-n+x} \quad (1)$$

Substituindo $X - x$ por Y vem:

$$P(x \text{ def. em } n) = \sum_{Y=0}^{N-n} \binom{N-n}{Y} p^Y (1-p)^{N-n-Y} \cdot \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \quad (2)$$

O primeiro fator dessa expressão é a distribuição acumulada do número de defeituosas na parte não inspecionada do lote, que é igual a 1.

Então,

$$P(x \text{ def. em } n) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}, \text{ que é a expressão da distribuição binomial com parâmetros } n \text{ e } p. \text{ Logo, segue a afirmação acima.}$$

(1) Quando: $X = 0$, $X - x = 0$, então, $X = x$;

$X = N$, $X + n - x = N$, então, $X = N - n + x$.

A interpretação destes limites seria:

- Na parte não inspecionada do lote, $N - n$, pode haver qualquer número de peças defeituosas entre 0 e $N - n$;
- Se há x defeituosas na amostra, então no lote há pelo ao menos x , e no máximo $x + (N - n)$.

(2) Quando: $X = x$, então, $Y = 0$;

$X = N - n + x$, então, $Y = X - x = N - n$.

APPENDICE II

COMPROVAÇÃO NUMÉRICA DE QUE A FUNÇÃO DE CUSTOS NÃO É CONVEXA

ITEX : PORTA DO CONGELADOR

TAMANHO DO LOTE : 534 peças

1	0	C.8422267208910+04
2	0	C.51534452693720+04
3	1	C.533755074580+04
4	1	C.34855770700150+04
5	1	C.24897716205250+04
6	1	C.24715042064660+04
7	1	C.21631585823490+04
8	1	C.19257272305090+04
9	1	C.17370048610160+04
10	1	C.1504403505520+04
11	1	C.1428299212800+04
12	1	C.13522217555540+04
13	1	C.12513743603090+04
14	1	C.11835703624180+04
15	2	C.11355270305890+04
16	2	C.11200209785550+04
17	2	C.10628342578020+04
18	2	C.10112015473500+04
19	2	C.96840072097050+04
20	2	C.92318379182363+03
21	2	C.8829030507780+03
22	2	C.85077365821330+03
23	2	C.81520700544670+03
24	2	C.79023122000000+03
25	2	C.763528508460+03
26	2	C.7308240585130+03
27	2	C.71005102334563+03
28	2	C.6543244320570+03
29	2	C.67507531302250+03
30	2	C.65663421720910+03
31	2	C.63935472752180+03
32	2	C.62321912307450+03
33	2	C.60005806614230+03
34	3	C.60543433937020+03
35	1	C.5726272002070+03
36	3	C.5760002400520+03
37	3	C.56624540134780+03
38	3	C.55420064300703+03
39	3	C.54254151350310+03
40	3	C.53210243007310+03
41	3	C.52150152254340+03
42	3	C.51224074598520+03

Mínimos locais:

- (14 , 1)
- (206 , 9)
- (269 , 11)
- (302 , 12)
- (334 , 13)
- (367 , 14)

Plano ótimo - (269 , 11).

43	C.502530947205383+03	109	C.27547200047700+03	5
44	C.45410703064250+03	110	C.27030905007210+03	5
45	C.4875392352510+03	111	C.2773351518003+03	5
46	C.4777213960740+03	112	C.27630047388430+03	5
47	C.47004527708130+03	113	C.27530000470080+03	5
48	C.462733040056200+03	114	C.2743555304190+03	5
49	C.45367066595020+03	115	C.27100000005090+03	6
50	C.44394507457970+03	116	C.27000919448020+03	6
51	C.44244238006420+03	117	C.26974237075500+03	6
52	C.43630255176720+03	118	C.26804975780190+03	6
53	C.43030000168850+03	119	C.26713404294410+03	6
54	C.42462305146980+03	120	C.26003114332670+03	6
55	C.41916070733120+03	121	C.25950909492300+03	6
56	C.41380090043570+03	122	C.26472503021910+03	6
57	C.41054531222700+03	123	C.2637007285800+03	6
58	C.4034057972200+03	124	C.2632310801000+03	6
59	C.40000642501500+03	125	C.26251250203490+03	6
60	C.39550761752810+03	126	C.2618134928400+03	6
61	C.39137543535480+03	127	C.26113501236340+03	6
62	C.38700274642540+03	128	C.26047112331900+03	6
63	C.3827031277400+03	129	C.25920123191170+03	6
64	C.3787007569710+03	130	C.258325009200+03	6
65	C.37477400603850+03	131	C.2570070802120+03	6
66	C.37057100595040+03	132	C.25680036315060+03	6
67	C.36720019747430+03	133	C.25575758341020+03	6
68	C.3637207740310+03	134	C.2547045777700+03	6
69	C.36030400010790+03	135	C.25383200912400+03	6
70	C.35657730532300+03	136	C.25337752526130+03	6
71	C.35375705003130+03	137	C.25207440607470+03	7
72	C.350033046404290+03	138	C.2513359217400+03	7
73	C.3470150506350+03	139	C.2507010587470+03	7
74	C.34469312343670+03	140	C.24800206106120+03	7
75	C.34180750265700+03	141	C.24800901905020+03	7
76	C.33910000725070+03	142	C.2473920033500+03	7
77	C.33644507507550+03	143	C.24707550780360+03	7
78	C.3338582018000+03	144	C.2468027133400+03	7
79	C.33135124605970+03	145	C.24620094510120+03	7
80	C.32800614255460+03	146	C.24595745015240+03	7
81	C.32500713968700+03	147	C.24517340107010+03	7
82	C.32233300160020+03	148	C.24471774121490+03	7
83	C.32057870550300+03	149	C.2445050504760+03	7
84	C.31877971231070+03	150	C.24425050504760+03	7
85	C.31662404004930+03	151	C.24410252864400+03	7
86	C.31455074259590+03	152	C.2439477740230+03	7
87	C.31245620205000+03	153	C.2438027180000+03	7
88	C.310351903742870+03	154	C.2436000000000+03	7
89	C.30855715050700+03	155	C.2434027180000+03	7
90	C.30682708598500+03	156	C.24320649307590+03	7
91	C.304941275877100+03	157	C.2430027180000+03	7
92	C.30314004157750+03	158	C.2428002374770+03	7
93	C.30142711571720+03	159	C.2426000000000+03	7
94	C.299750002914810+03	160	C.2424027180000+03	7
95	C.29813354047320+03	161	C.24220649307590+03	7
96	C.2965248037220+03	162	C.2420027180000+03	7
97	C.29501409971510+03	163	C.2418000000000+03	7
98	C.29351094108070+03	164	C.2416000000000+03	7
99	C.292002374770+03	165	C.2414027180000+03	7
100	C.2904907479120+03	166	C.24120649307590+03	7
101	C.28892050303170+03	167	C.2410000000000+03	7
102	C.28742702165060+03	168	C.2408000000000+03	7
103	C.2859167020000+03	169	C.2406000000000+03	7
104	C.2844000000000+03	170	C.2404027180000+03	7
105	C.28290114200920+03	171	C.24020649307590+03	7
106	C.2814000000000+03	172	C.2400000000000+03	7
107	C.2800000000000+03	173	C.2398000000000+03	7

175	6	C.24113231298020+03	247	10	C.24461723140070+03
176	8	C.2410140306270+03	242	10	C.2448150089360+03
177	8	C.24050931783670+03	243	10	C.24301303334560+03
178	8	C.24080154081950+03	244	10	C.24321543333450+03
179	8	C.24070576503030+03	245	10	C.24341795023250+03
180	8	C.24061707608740+03	246	10	C.24362732105050+03
181	8	C.24053333060320+03	247	10	C.24383733061160+03
182	8	C.24040621053080+03	248	10	C.24403020131550+03
183	8	C.24037400363130+03	249	10	C.24420537346685+03
184	8	C.24033023550600+03	250	10	C.244403334444020+03
185	8	C.24027452353280+03	251	10	C.244607144455250+03
186	8	C.24022001839350+03	252	10	C.244815442506700+03
187	8	C.24018334051350+03	253	10	C.2450330051760+03
188	8	C.24014702762440+03	254	10	C.24520433307045+03
189	8	C.24011072481770+03	255	10	C.24540133372060+03
190	8	C.24009228792890+03	256	10	C.24560133372060+03
191	8	C.24007370032500+03	257	10	C.24580344470080+03
192	8	C.24000111306570+03	258	10	C.24603444470080+03
193	8	C.24003410615030+03	259	10	C.24620616333040+03
194	8	C.24005200374290+03	260	10	C.24640377516770+03
195	8	C.24000505054170+03	261	10	C.246607144455250+03
196	8	C.24000806107570+03	262	10	C.24680330350000+03
197	8	C.24000152744460+03	263	10	C.24702375000000+03
198	8	C.24001075845340+03	264	10	C.24720333306570+03
199	8	C.24002742513620+03	265	10	C.24740333306570+03
200	8	C.24001578710600+03	266	10	C.24760333306570+03
201	8	C.24001734430880+03	267	10	C.24780333306570+03
202	8	C.24002341600570+03	268	10	C.24800333306570+03
203	8	C.24002735722320+03	269	11	C.24820333306570+03
204	8	C.24003305914570+03	270	11	C.24840333306570+03
205	8	C.24003551287110+03	271	11	C.24860333306570+03
206	9	C.23093060002740+03	272	11	C.24880333306570+03
207	9	C.23076074809000+03	273	11	C.24900333306570+03
208	9	C.23053041543550+03	274	11	C.24920333306570+03
209	9	C.23030430421390+03	275	11	C.24940333306570+03
210	9	C.23013032097630+03	276	11	C.24960333306570+03
211	9	C.23003008080910+03	277	11	C.24980333306570+03
212	9	C.23003373000390+03	278	11	C.25000333306570+03
213	9	C.230034484957010+03	279	11	C.25020333306570+03
214	9	C.23003430050730+03	280	11	C.25040333306570+03
215	9	C.230034152333040+03	281	11	C.25060333306570+03
216	9	C.23003407320330+03	282	11	C.25080333306570+03
217	9	C.23003410041470+03	283	11	C.25100333306570+03
218	9	C.23003406616470+03	284	11	C.25120333306570+03
219	9	C.230034020625080+03	285	11	C.25140333306570+03
220	9	C.2300340005473310+03	286	11	C.25160333306570+03
221	9	C.2300340001094140+03	287	11	C.25180333306570+03
222	9	C.230034000747200+03	288	11	C.25200333306570+03
223	9	C.2300340003243090+03	289	11	C.25220333306570+03
224	9	C.2300340001315120+03	290	11	C.25240333306570+03
225	9	C.230034000746700+03	291	11	C.25260333306570+03
226	9	C.230034000746700+03	292	11	C.25280333306570+03
227	9	C.230034000927780+03	293	11	C.25300333306570+03
228	9	C.23003400035274220+03	294	11	C.25320333306570+03
229	5	C.230034000350800+03	295	11	C.25340333306570+03
230	9	C.230034000307500+03	296	11	C.25360333306570+03
231	9	C.23003400014000220+03	297	11	C.25380333306570+03
232	5	C.230034000170200+03	298	11	C.25400333306570+03
233	9	C.230034000878400+03	299	11	C.25420333306570+03
234	9	C.2300340005404120+03	300	11	C.25440333306570+03
235	9	C.2300340003492020+03	301	11	C.25460333306570+03
236	9	C.2300340003000000+03	302	12	C.25480333306570+03
237	10	C.23003400011330010+03	303	12	C.25500333306570+03
238	10	C.23003400011330010+03	304	12	C.25520333306570+03

307	C.2569348344832J+03	12	14	0.26260226356880+03
308	C.2552719229491D+03	12	14	0.2832105529938J+03
309	C.2598104484891J+03	12	14	0.2836314755230D+03
310	C.255505004324D+03	12	14	0.2840471573880+03
311	C.260291862253D+03	12	14	0.28444055136730D+03
312	C.2606347340388D+03	12	14	0.2848005016025D+03
313	C.260573055905D+03	12	14	0.2852984463103D+03
314	C.261324425040D+03	12	14	0.285717751160D+03
315	0.2616715930763D+03	12	14	0.286137421030D+03
316	0.2620190055162D+03	12	14	0.286557790602D+03
317	0.262369294874D+03	12	14	0.286970055151D+03
318	0.2627202597047D+03	12	14	0.28740055171D+03
319	0.26307255367D+03	12	14	0.287825783605D+03
320	0.263420064143D+03	12	14	0.288247028771D+03
321	C.2637600372664D+03	12	14	0.288671205443D+03
322	0.264137051124D+03	12	14	0.289096147614D+03
323	0.2644943513462D+03	12	14	0.289521755171D+03
324	C.2648350018020D+03	12	14	0.289946154603D+03
325	C.265125285413D+03	12	14	0.290375550309D+03
326	C.265573595538D+03	12	14	0.290803124811D+03
327	C.26593037292D+03	12	14	0.291231606870D+03
328	C.266299911984D+03	12	14	0.291650598912D+03
329	0.26664580500D+03	12	14	0.292079080575D+03
330	0.2670305942984D+03	12	14	0.292508222560D+03
331	C.267376273630D+03	12	14	0.292936790153D+03
332	C.26776575990D+03	12	14	0.293365087240D+03
333	C.268152862215D+03	12	14	0.293793397500D+03
334	0.268540018337D+03	13	15	0.29422170553763D+03
335	C.2689262602605D+03	13	15	0.2946500080575D+03
336	C.269307053316D+03	13	15	0.2950783042347D+03
337	C.269684170400D+03	13	15	0.295506222560D+03
338	0.269916198533D+03	13	15	0.2959345167240D+03
339	C.270157570204D+03	13	15	0.296362711441D+03
340	C.2705304211508D+03	13	15	0.296791005055D+03
341	C.2709322412157D+03	13	15	0.2972193089775D+03
342	C.2713150432236D+03	13	15	0.29764760019544D+03
343	C.2716993225112D+03	13	15	0.2980759147700D+03
344	0.272033556070D+03	13	15	0.2985042015747D+03
345	C.272409409761D+03	13	15	0.298932577587D+03
346	C.2727850793642D+03	13	15	0.299360811430D+03
347	C.27316080801D+03	13	15	0.299789100000D+03
348	C.273535011150D+03	13	15	0.300217396250D+03
349	C.273910000000D+03	13	15	0.300645700000D+03
350	0.274284762359D+03	13	15	0.301074000000D+03
351	C.274659000000D+03	13	15	0.301502300000D+03
352	C.275033000000D+03	13	15	0.301930600000D+03
353	0.275407000000D+03	13	15	0.302358900000D+03
354	C.275781000000D+03	13	15	0.302787200000D+03
355	C.276155000000D+03	13	15	0.303215500000D+03
356	C.276529000000D+03	13	15	0.303643800000D+03
357	C.276903000000D+03	13	15	0.304072100000D+03
358	0.277277000000D+03	13	15	0.304500400000D+03
359	C.277651000000D+03	13	15	0.304928700000D+03
360	C.278025000000D+03	13	15	0.305357000000D+03
361	C.278400000000D+03	13	15	0.305785300000D+03
362	C.278774000000D+03	13	15	0.306213600000D+03
363	C.279148000000D+03	13	15	0.306641900000D+03
364	C.279522000000D+03	13	15	0.307070200000D+03
365	C.279896000000D+03	13	15	0.307498500000D+03
366	0.280270000000D+03	13	15	0.307926800000D+03
367	C.280644000000D+03	14	16	0.308355100000D+03
368	C.281018000000D+03	14	16	0.308783400000D+03
369	C.281392000000D+03	14	16	0.309211700000D+03
370	C.281766000000D+03	14	16	0.309640000000D+03
371	C.282140000000D+03	14	16	0.310068300000D+03
372	C.282514000000D+03	14	16	0.310496600000D+03
373	C.282888000000D+03	14	16	0.310924900000D+03
374	C.283262000000D+03	14	16	0.311353200000D+03
375	C.283636000000D+03	14	16	0.311781500000D+03
376	C.284010000000D+03	14	16	0.312209800000D+03
377	C.284384000000D+03	14	16	0.312638100000D+03
378	C.284758000000D+03	14	16	0.313066400000D+03
379	C.285132000000D+03	14	16	0.313494700000D+03
380	C.285506000000D+03	14	16	0.313923000000D+03
381	0.285880000000D+03	14	16	0.314351300000D+03
382	C.286254000000D+03	14	16	0.314779600000D+03
383	0.286628000000D+03	14	16	0.315207900000D+03
384	C.286992000000D+03	14	16	0.315636200000D+03
385	0.287366000000D+03	14	16	0.316064500000D+03
386	C.287740000000D+03	14	16	0.316492800000D+03
387	0.288114000000D+03	14	16	0.316921100000D+03
388	C.288488000000D+03	14	16	0.317349400000D+03
389	0.288862000000D+03	14	16	0.317777700000D+03
390	C.289236000000D+03	14	16	0.318206000000D+03
391	0.289610000000D+03	14	16	0.318634300000D+03
392	C.289984000000D+03	14	16	0.319062600000D+03
393	0.290358000000D+03	14	16	0.319490900000D+03
394	C.290732000000D+03	14	16	0.320000000000D+03
395	0.291106000000D+03	14	16	0.320500000000D+03
396	C.291480000000D+03	14	16	0.321000000000D+03
397	0.291854000000D+03	14	16	0.321500000000D+03
398	C.292228000000D+03	14	16	0.322000000000D+03
399	0.292602000000D+03	14	16	0.322500000000D+03
400	C.292976000000D+03	14	16	0.323000000000D+03
401	0.293350000000D+03	14	16	0.323500000000D+03
402	C.293724000000D+03	14	16	0.324000000000D+03
403	0.294098000000D+03	14	16	0.324500000000D+03
404	C.294472000000D+03	14	16	0.325000000000D+03
405	0.294846000000D+03	14	16	0.325500000000D+03
406	C.295220000000D+03	14	16	0.326000000000D+03
407	0.295594000000D+03	14	16	0.326500000000D+03
408	C.295968000000D+03	14	16	0.327000000000D+03
409	0.296342000000D+03	14	16	0.327500000000D+03
410	C.296716000000D+03	14	16	0.328000000000D+03
411	0.297090000000D+03	14	16	0.328500000000D+03
412	C.297464000000D+03	14	16	0.329000000000D+03
413	0.297838000000D+03	14	16	0.329500000000D+03
414	C.298212000000D+03	14	16	0.330000000000D+03
415	0.298586000000D+03	14	16	0.330500000000D+03
416	C.298960000000D+03	14	16	0.331000000000D+03
417	0.299334000000D+03	14	16	0.331500000000D+03
418	C.299708000000D+03	14	16	0.332000000000D+03
419	0.300082000000D+03	14	16	0.332500000000D+03
420	C.300456000000D+03	14	16	0.333000000000D+03
421	0.300830000000D+03	14	16	0.333500000000D+03
422	C.301204000000D+03	14	16	0.334000000000D+03
423	0.301578000000D+03	14	16	0.334500000000D+03
424	C.301952000000D+03	14	16	0.335000000000D+03
425	0.302326000000D+03	14	16	0.335500000000D+03
426	C.302700000000D+03	14	16	0.336000000000D+03
427	0.303074000000D+03	14	16	0.336500000000D+03
428	C.303448000000D+03	14	16	0.337000000000D+03
429	0.303822000000D+03	14	16	0.337500000000D+03
430	C.304196000000D+03	14	16	0.338000000000D+03
431	0.304570000000D+03	14	16	0.338500000000D+03
432	C.304944000000D+03	14	16	0.339000000000D+03
433	0.305318000000D+03	14	16	0.339500000000D+03
434	C.305692000000D+03	14	16	0.340000000000D+03
435	0.306066000000D+03	14	16	0.340500000000D+03
436	C.306440000000D+03	14	16	0.341000000000D+03
437	0.306814000000D+03	14	16	0.341500000000D+03

APENDICE III - PROGRAMA

FORTRAN IV G1 RELEASE 2.0 MAIN DATE = 82041 09/14/46 PAGE 0001

```

0001 C PROGRAMA PRINCIPAL
0002 C IMPLICIT REAL*8(A-H,C-Z)
0003 C INTEGER JX(20),JY(20)
0004 C
0005 C ENTRADA DE DADOS
0006 75 READ(5,2)ALFA,AGL,COEF
0007 2 FORMAT(3F12.4)
0008 READ(5,3)CIF,CI,CA,CR
0009 3 FORMAT(4F12.4)
0010 IK=0
0011 READ(5,4)NUM
0012 41 FORMAT(I10)
0013 70 READ(5,4)M
0014 4 FORMAT(I10)
0015 C
0016 C PREPARO DA FDP
0017 S=1.
0018 R=1
0019 IF(IK.EQ.0)GO TO 28
0020 IF(IK.GT.5)GO TO 5
0021 II=1
0022 GO TO 1
0023 5 II=IK-4
0024 DO 6 I=II,IK
0025 S=S+JX(I)
0026 R=R+JY(I)
0027 6 CONTINUE
0028 C
0029 C CALCULO DO CUSTO DA ALTERNATIVA ACEITAR SEM INSPECAO
0030 N=0
0031 CTENZ=CIF+CA*M*S/(S+R)
0032 NMIN=0
0033 ICMIN=0
0034 CTEMIN=CTENZ
0035 C
0036 C PREPARO DE EXPRESSOES
0037 P=AGL
0038 Q=1.-P
0039 QC=1.-ALFA
0040 CRS=CR*M*S/(S+R)
0041 SP=CAR
0042 AR=CA-CR
0043 LLL=S-1
0044 C
0045 C DETERMINACAO DO PLANO (N,C)
0046 DO 23 N=1,M
0047 C
0048 C DETERMINACAO DE C

```

```

0036 IF(N.GT.100)GO TO 16
0037 SE=0
0038 .DO 7 IX=1,N
0039 J=IX-1
0040 CALL COMBI(N,J,COMB)
0041 SE=SE+(COMB*(P**J))*(C**(N-J))
0042 IF(SE.GE.CQ)GO TO 8
0043 CONTINUE
0044 7 MINC=J
0045 GO TO 19
0046 RA=DSORT(N*P*Q)
0047 X=COEF*RA+N*P
0048 IJ=X
0049 IF(X.GT.IJ)GO TO 17
0050 MINC=IJ
0051 GO TO 18
0052 MINC=IJ+1
0053 DL=2*N+SR-1
0054 LCM=MINC+1
0055 DO 82 IIC=LCM,N
0056 DIF=(AR*(2*IIC+S+2))/(DL+1))-CI
0057 IF(DIF)82,83,84
0058 CONTINUE
0059 ICOT=IIC
0060 .DO TO 81
0061 ICOT=MINC

0062 C AVALIACAO DOS CUSTOS PARA N DE 1 A M
0063 MN=M-N
0064 DJ=N+SR-1
0065 DK=N+R
0066 TK=2*N+R
0067 CALL FAT(DJ,LLL,DL,FA)
0068 FA=FA*(DK/TK)
0069 CTEX=FA*(AR*(LLL+1))/(DL+1))-CI
0070 IF(ICOT.EQ.O)GO TO 19
0071 CALL FATOR(AR,R,S,FA,CTEX,CI,CTS,DL,ICOT,N)
0072 GO TO 20
0073 CTS=CTEX
0074 CTE=CI+CI*N+(CTS+CI)*MN+CRS

0075 C PESQUISA DO MINIMO
0076 IF(CTEIN.LE.CTE)GO TO 23
0077 NMIN=N
0078 ICMIN=ICOT
0079 CTEMIN=CTE
0080 CONTINUE
0081 23

```

C COMPARACAO ENTRE MIL-STD-105D E O SISTEMA PROPOSTO

```

0079 READ(5,24)N,IC,IX
0080 FORMAT(311Q)
0081 MN=M-N
0082 DJ=N+SR-1
0083 DL=2*N+SR-1
0084 DK=N+K
0085 TK=2*N+R
0086 CALL FAT(DJ,LLL,DL,FA)
0087 FA=FA*(DK/TK)
0088 CTEX=FA*(AR*(LLL+1)/(DL+1))-CI)
0089 IF(IC.EQ.0)GO TO 25
0090 CALL FATOR(AR,R,S,FA,CTEX,CI,CTM,DL,IC,N)
0091 GO TO 26
0092 CTM=CTEX
0093 CTEMS=CIF+CI*N+(CTM+CI)*MN+CRS
0094 ECON=CTEMS-CTEMIN
    
```

C RELATORIO

```

0095 IF(IK.GT.0)GO TO 31
0096 WRITE(6,40)
0097 FORMAT(1,/,/,20X,'P L A N C S O T I M O S D E I N S P E C A
* 0')
0098 GO TO(51,52,53,54,55,56,57,58,59,60),NUM
0099 WRITE(6,42)
0100 FORMAT(/,/,20X,' ITEM - RELE DE PARTIDA',5X,'CODIGO - 101207')
0101 GO TO 80
0102 WRITE(6,43)
0103 FORMAT(/,/,20X,' ITEM - TERMOSTATO',5X,'CODIGO - 100301')
0104 GO TO 80
0105 WRITE(6,44)
0106 FORMAT(/,/,20X,' ITEM - PLACA DO EVAPORADOR',5X,'CODIGO - 100607')
0107 GO TO 80
0108 WRITE(6,45)
0109 FORMAT(/,/,20X,' ITEM - TUBO CAPILAR',5X,'CODIGO - 101406')
0110 GO TO 80
0111 WRITE(6,46)
0112 FORMAT(/,/,20X,' ITEM - APARADOR DA AGUA',5X,'CODIGO - 300493')
0113 GO TO 80
0114 WRITE(6,47)
0115 FORMAT(/,/,20X,' ITEM - PORTA DO CENGELADOR',5X,'CODIGO - 300496')
0116 GO TO 80
0117 WRITE(6,48)
0118 FORMAT(/,/,20X,' ITEM - FRONTAL DA GAVETA DE LEGUMES',5X,'CODIGO - 5
*00223')
0119 GO TO 80
0120 WRITE(6,49)
0121 FORMAT(/,/,20X,' ITEM - PORTA LACTICINIOS FUME',5X,'CODIGO - 302230'
    
```



```

C
SUBROUTINE FATOP(AR,P,S,FA,CTEX,CI,CTS,DL,IC,JI)
CTS=CTEX
DO 6 LX=1,IC
  XN=Y-LX
  RX=N+R-LX
  RNX=2*N+K-2*LX
  SX=S+2*LX-2
  SX1=S+LX-1
  TX=LX+1
  FA=FA*((XN/TX)*(RX/SX1)*SX*(SX+1)/RNX+1)
  CTS=CTS+FA*(AR*(SX+2)/(DL+1)-CI)
6 CONTINUE
RETURN
END
0001
0002
0003
0004
0005
0006
0007
0008
0009
0010
0011
0012
0013
0014

```

```

C
SUBROUTINE COMBI(N,K,COMB)
COMB = 1
IF(K13,100,3)
3 DO 2 L=1,K
  DFN=N-L+1
  DFK=L
  COMB=COMB*((DFN/DFK))
2 CONTINUE
100 RETURN
END
0001
0002
0003
0004
0005
0006
0007
0008
0009
0010

```

```

SUBROUTINE FAT(DJ,LLL,DL,FA)
FA=1
IF(LLL,0,0)GO TO 2
BJ=DJ+1
AI=BI+1
DO 1 I=1,LLL
  BJJ=BJ-L
  AI=AI-I
  FA=FA*(DJ/J/ALL)
1 CONTINUE
2 RETURN
END
0001
0002
0003
0004
0005
0006
0007
0008
0009
0010
0011
0012

```

APENDICE IV - RESULTADOS COM d = 10

PLANOS OTIMOS DE INSPECAO

ITEM - RELE DE PARTIDA CODIGO - 101207

SEGURANCA DO PRODUTOR - MAIOR OU IGUAL A 1 - 0.0500

NIVEL DE QUALIDADE ACEITAVEL - C.0065

TAM. DO LOTE (ITENS)	PLANO OTIMO (N.C)	CUSTO CRUZEIROS	MIL-STD-1050 (N.C)	CUSTO CRUZEIROS	ECONOMIA CRUZEIROS
4080	4080, 35	0.351117000000D+03	200, 3	0.3889020206348D+04	0.3537903206348D+04
3000	7, 0	0.1987137187245D+03	125, 2	0.2012585691818D+03	0.2544850457266D+01
2940	7, 0	0.1944606995378D+03	125, 2	0.1970099243862D+03	0.2549224848350D+01
840	7, 0	0.9718750415680D+02	80, 1	0.5856095589471D+02	0.1373451737913D+01
5760	7, 0	0.3773990323033D+03	200, 3	0.3818095252453D+03	0.4410492942027D+01
5040	7, 0	0.3299701171149D+03	200, 3	0.3343002876433D+03	0.4330170528370D+01
1920	7, 0	0.1269845202542D+03	125, 2	0.1294572417955D+03	0.2472721541290D+01
840	7, 0	0.5682053529416D+02	80, 1	0.5822653076834D+02	0.1405995474181D+01
3720	7, 0	0.2429600512757D+03	200, 3	0.2471672928680D+03	0.4207241592313D+01
1680	7, 0	0.1108647154474D+03	125, 2	0.113344897226D+03	0.2480174275216D+01
5520	7, 0	0.3581561047401D+03	200, 3	0.3626424244716D+03	0.4486319731511D+01
2280	2280, 22	0.1938920000000D+03	125, 2	0.2531236794273D+04	0.2337344794273D+04
5040	5040, 43	0.4256434477612D+03	200, 3	0.5700611142560D+03	0.1444176664948D+03
2520	2520, 24	0.2140092580645D+03	125, 2	0.2967251078400D+04	0.2753241820335D+04
480	480, 7	0.4260442493176D+02	50, 1	0.5263577055714D+03	0.4837532806396D+03
960	960, 11	0.8293117213431D+02	80, 1	0.9529854171294D+03	0.8700542449951D+03
840	840, 10	0.7284835636653D+02	80, 1	0.7703729659323D+03	0.6975246095657D+03
840	840, 10	0.7284965155185D+02	80, 1	0.8375579038050D+03	0.7647082519531D+03
840	840, 10	0.7284840609859D+02	80, 1	0.7962879971077D+03	0.7234341570091D+03
260	260, 4	0.2412044383240D+02	32, 0	0.2406919357435D+03	0.2164714919107D+03