

UTILIZAÇÃO DE ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS NA REGULAGEM DE
MÁQUINAS DE INJEÇÃO PLÁSTICA

Vicente Fernandes Tino

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA
ELÉTRICA.

Aprovada por:

Prof. Eugenius Kaszkurewicz, D.Sc.

Prof. Amit Bhaya, Ph.D.

Prof. Fernando Cesar Lizarralde, D.Sc.

Prof. Pedro Henrique Gouvêa Coelho, Ph. D.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

ABRIL DE 2005

TINO, VICENTE FERNANDES

Utilização de Análise de Componentes
Principais na Regulagem de Máquinas de
Injeção Plástica [Rio de Janeiro] 2005

X, 79, p 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc.,
Engenharia Elétrica, 2005) –

Tese - Universidade Federal do Rio
de Janeiro, COPPE

1. Análise de Componentes Principais, Re-
gulagem de Máquinas

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

Dedico este trabalho aos meus pais, Cláudio e Jandira, pelos sacrifícios e dedicação durante toda a vida, que me proporcionaram uma educação e formação humana correta, ao meu irmão Cláudio, pela amizade e amor, e aos amigos, essenciais em todas as horas.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todos que de alguma forma contribuíram para que esse trabalho pudesse ser realizado, contudo, gostaria de fazer agradecimentos especiais aos que seguem abaixo:

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, fonte de vida e de inspiração, que me deu saúde, coragem e inteligência.

Ao meu orientador Eugenius Kaszurewicz, D. Sc., ao meu co-orientador Amit Bhaya Ph.D., pelo apoio, confiança, orientação e incentivo, essenciais para a realização deste trabalho.

À Universidade Federal do Amazonas e à Universidade Federal do Rio de Janeiro que tiveram a iniciativa de realizar o mestrado em automação industrial voltado para o público de Manaus. E a SUFRAMA (Superintendência da Zona Franca de Manaus) que tornou possível a realização do mesmo, por meio dos recursos alocados. Que outras iniciativas como essa possam ser pensadas e realizadas.

Aos professores do mestrado, pela dedicação, que nos proporcionaram a aquisição de novos conhecimentos e desenvolvimento profissional e intelectual, em especial, aos coordenadores do mestrado, Prof. Ramon e Prof^a. Marly Guimarães.

Aos colegas de mestrado, que incentivavam uns aos outros, compartilhavam conhecimento e contribuíram para que eu pudesse cursar todo o programa.

Aos colegas de trabalho, em diversos níveis, pelo apoio e incentivo. Obrigado!

A todos os amigos, em especial, Vladya Catherine, Manuel Cardoso, Augusto Rocha, Hamilton Lizardo, Geison Rodrigues e Isaias, que se fizeram presentes em momentos importantes nesse período.

Aos meus pais, educadores, companheiros e amigos de sempre.

E a todos os amigos e familiares não citados aqui.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.).

UTILIZAÇÃO DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS PARA A REGULAGEM DE MÁQUINAS DE INJEÇÃO PLÁSTICA

Vicente Fernandes Tino

Abril/2005

Orientadores: Eugenius Kaszkurewicz
Amit Bhaya

Programa: Engenharia Elétrica

Este trabalho apresenta um método de regulagem de máquinas de injeção plástica, visando a redução de rejeitos. Os ajustes paramétricos são feitos durante o processo de regulagem, utilizando a metodologia de Análise por Componentes Principais (PCA) com base nos dados amostrados por um sistema de monitoração em tempo real. Os parâmetros de regulagem, amostrados, durante o período de regulagem, de uma determinada máquina injetora, molde e matéria-prima, são armazenados para que, em seguida, com o PCA seja possível definir grupos de parâmetros de maior representatividade. Durante a mencionada etapa do processo gera-se uma memória industrial com os melhores parâmetros de regulagens associadas à redução do índice de rejeitos. Ajustes futuros passarão a ser feitos com base nesse conhecimento epistemológico e não empírico, reduzindo as perdas de tempo e matéria-prima, melhorando dessa forma a eficiência do processo. Discute-se a possibilidade de implementações da técnica visando ajustes automáticos dos parâmetros.

Abstract of thesis submitted to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.).

PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS FOR PARAMETER TUNING OF PLASTIC
INJECTION MACHINES

Vicente Fernandes Tino

April/2005

Advisors: Eugenius Kaszkurewicz
Amit Bhaya

Department: Electrical Engineering

This work presents a method for parameter tuning of plastic injection machines with the objective of scrap reduction. The process parameters are adjusted using Principal Component Analysis (PCA) on data sampled from the real time monitoring process. For a given injection machine, mold and raw material, the parameters measured during the adjustment period are stored and, with the use of PCA, it is possible to define clusters of parameters and to generate a record of the best parameter adjustments. Future adjustments made on the basis of this acquired knowledge reduce losses of time and raw material. Automatic adjustment based on this method is discussed.

Índice

Capítulo 1	1
Introdução	1
Capítulo 2	5
O Processo de Injeção Plástica e o Sistema de Monitoração	5
2.1 O Processo de injeção plástica	7
2.2 Sistema de monitoração e coleta dos dados	16
Capítulo 3	25
Metodologia utilizada para aprimorar o desempenho do processo de injeção plástica	25
3.1 Análise de componentes principais	26
3.2 Implementação dos testes	35
Capítulo 4	45
Resultados experimentais	45
4.1 Empresa do segmento automotivo	45
4.2 Empresa do segmento eletroeletrônico	55
4.3 Análise econômica e aplicabilidade da proposta para otimização da regulação de máquinas de injeção plástica	63
Capítulo 5	65
Conclusão e trabalhos futuros	65
5.1 Conclusões	65
5.2 Trabalhos futuros	67
Referências Bibliográficas	68
Apêndice 1	70
Tabela com os dados do caso da empresa do segmento automotivo	70
Tabela com os dados do caso da empresa do segmento eletroeletrônicos	74
Apêndice 2	77
Programa fonte em MATLAB que calcula o PCA	77

Índice de Figuras

<i>Figura 2.1 – Máquina de injeção plástica da marca ROMI.</i>	6
<i>Figura 2.2 – Diagrama do processo de injeção plástica e sistema de coleta dos dados.</i>	7
<i>Figura 2.3 – Diagrama do processo de injeção plástica.</i>	8
<i>Figura 2.4 – Cilindro de plastificação com as zonas de alimentação, cilindro e plastificação.</i>	12
<i>Figura 2.5 – Layout do molde sem câmara quente.</i>	13
<i>Figura 2.6 – Layout do molde com câmara quente.</i>	13
<i>Figura 2.7 – Ciclo básico de uma máquina injetora.</i>	16
<i>Figura 2.8 – Regulador utilizando o CLP para entrada dos dados de rejeito.</i>	17
<i>Figura 2.9 – Layout da estrutura lógica e elétrica para a coleta dos dados</i>	17
<i>Figura 2.10 – Modelo relacional de dados das entidades onde os dados são armazenados.</i>	18
<i>Figura 2.11 – Descritivo das entidades no sistema INJET com os dados do CNC.</i>	18
<i>Figura 2.12 – Tela com os dados coletados do painel da máquina injetora.</i>	20
<i>Figura 2.13 – Conceito de produtividade utilizado pelo Sistema INJET.</i>	21
<i>Figura 2.14 – Tela com os dados de produção coletados da máquina injetora.</i>	21
<i>Figura 2.15 – Tela gerencial com os dados de produção coletados de um grupo de máquina.</i>	22
<i>Figura 2.16 – Gráfico de Pareto dos motivos de paradas de máquina.</i>	23
<i>Figura 2.17 – Gráfico de Pareto dos motivos de refugos de máquina.</i>	24
<i>Figura 3.1 – Representação de oito amostras de duas variáveis X_1 e X_2.</i>	28
<i>Figura 3.2 – (a) A reta $X_1 = X_2$ é a direção do primeiro componente principal; (b) Os dados originais, projetados no eixo do primeiro componente principal.</i>	28
<i>Figura 3.3 – (a) Dados originais nas coordenadas X_1 e X_2; (b) Os eixos dos componentes principais Y_1 e Y_2.</i>	29
<i>Figura 3.4 – Dados projetados nos dois eixos principais: (a) Primeiro componente principal “contendo” ou “explicando” a maior parte da variação nos dados; (b) Segundo componente principal, contendo a menor parte da variação nos dados.</i>	29
<i>Figura 3.2 – Gráfico de controle para análise de defeitos ao longo de 15 dias.</i>	33
<i>Figura 3.4 – Fluxograma com a seqüência de análise adotada.</i>	36

<i>Figura 3.5 – Fluxograma da aplicação em Visual Basic que extrai os dados do banco de dados do INJET.</i>	36
<i>Figura 3.6 – Aplicação que se conecta ao banco de dados e gera o arquivo para o PCA.</i>	37
<i>Figura 3.7 – Fluxograma da aplicação em MATLAB que calcula o PCA.</i>	39
<i>Figura 3.8 – Sistema de apoio à tomada de decisão desenvolvida pela NeuCom.</i>	40
<i>Figura 3.9 – Gráfico com os dados originais no novo eixo de coordenadas.</i>	41
<i>Figura 3.10 – Gráfico com os coeficiente lineares do componente principal 1.</i>	41
<i>Figura 3.11 – Gráfico com os coeficiente lineares do componente principal 2.</i>	42
<i>Figura 3.12 – Gráfico com o percentual dos componentes principais.</i>	42
<i>Figura 3.13 – Fluxograma detalhado com a seqüência de análise adotada.</i>	43
<i>Figura 4.1 – Aplicação que converte os dados do sistema de gestão para o formato MATLAB.</i>	46
<i>Figura 4.2 – Gráfico do PCA com os clusters das regulagens.</i>	47
<i>Figura 4.3 – Gráfico dos coeficientes lineares que compõem o PC1.</i>	49
<i>Figura 4.4 – Gráfico dos coeficientes lineares que compõem o PC2.</i>	50
<i>Figura 4.5 – Gráfico com percentual acumulado de cada componente principal</i>	51
<i>Figura 4.6 – Gráfico temporal com as ocorrências de refugos registrados no período de análise.</i>	52
<i>Figura 4.7 – Gráfico temporal com as variações do parâmetro ‘Dosagem de Recalque’.</i>	53
<i>Figura 4.8 – Gráfico temporal com as variações do parâmetro ‘Duração de Resfriamento’.</i>	53
<i>Figura 4.9 – Gráfico temporal com as variações do parâmetro ‘Temperatura da Zona E’.</i>	54
<i>Figura 4.10 – Aplicação que converte os dados do sistema INJET para o formato do MATLAB.</i>	56
<i>Figura 4.11 – Gráfico do PCA com os clusters das regulagens.</i>	57
<i>Figura 4.12 – Gráfico dos coeficientes lineares que compõem o PC1.</i>	58
<i>Figura 4.13 – Gráfico dos coeficientes lineares que compõem o PC2.</i>	58
<i>Figura 4.14 – Gráfico com percentual acumulado de cada componente principal</i>	59
<i>Figura 4.15 – Gráfico temporal com as ocorrências de refugos registrados no período de análise.</i>	61
<i>Figura 4.16 – Gráfico temporal com as variações do parâmetro ‘Temperatura da Zona B’.</i>	61
<i>Figura 4.17 – Gráfico temporal com as variações do parâmetro ‘Contra Pressão’.</i>	62

Índice de Tabelas

<i>Tabela 2.1 – Relação dos 27 parâmetros enviada pela máquina injetora.</i>	9
<i>Tabela 2.2 – Relação dos principais motivos para a geração de rejeitos.</i>	11
<i>Tabela 2.3 – Descritivo dos campos das tabelas usadas para coleta dos dados do CNC.</i>	19
<i>Tabela 3.1 – Estrutura do arquivo com os parâmetros gerados pela aplicação em Visual Basic.</i>	37
<i>Tabela 3.2 – Estrutura do arquivo com os refugos gerados pela aplicação em Visual Basic.</i>	38
<i>Tabela 4.1 – Componentes principais e a composição dos auto-vetores de PC1 e PC2.</i>	51
<i>Tabela 4.2 – Componentes principais e a composição dos auto-vetores de PC1 e PC2.</i>	60
<i>Tabela A.1 – Tabela dos dados originais dos três principais parâmetros indicados pelo PCA - Base VISTEON</i>	74
<i>Tabela A.2 – Tabela dos dados originais dos dois principais parâmetros indicados pelo PCA - Base MASA</i>	76

Capítulo 1

Introdução

Atualmente, quase tudo que utilizamos no cotidiano contém alguma peça plástica. A facilidade de moldagem, a resistência ao impacto, juntamente com custo de produção tornou o plástico uma das mais importantes invenções desse século.

A importância das empresas fabricantes de peças plásticas para as empresas de eletroeletrônicos e automotivo de duas rodas no caso do Estado do Amazonas é crucial do ponto de vista econômico, pois, segundo dados da SUFRAMA, em 2001 3,0% do faturamento do Estado foi proveniente de empresas de plástico, o que equivale a U\$ 279 milhões, estando essa em 5º lugar, ficando atrás apenas dos produtos eletrônicos, bens de informática, relógio e veículos de duas rodas [9].

No processo de injeção plástica toda troca de produto requer uma regulagem de máquina, na qual várias variáveis são ajustadas a fim de obter uma melhor produtividade no processo em conformidade com as especificações técnicas. Em um turno de oito horas, normalmente têm-se trocas de produto em uma mesma máquina, nas quais o tempo da troca do molde e o tempo para ajuste dos parâmetros da máquina são os itens mais cuidadosamente considerados com o objetivo de reduzir as perdas econômicas envolvidas nessa etapa do processo.

Esse ajuste manual normalmente é norteado pela ficha técnica da máquina versus molde, que consiste em um documento que é criado quando o molde entra na fábrica durante o processo de *try-out*, no qual técnicos determinam uma primeira regulagem da máquina versus molde. Contudo, as influências externas, como temperatura ambiente, umidade e problemas em outros periféricos, no momento em que o referido molde for colocado na máquina para produção, requerem do regulador um conhecimento a mais do que o encontrado na ficha técnica, sendo então a experiência desse regulador um fator importante para um ajuste de máquina de forma rápida com um baixo tempo de ciclo e com qualidade requerida pelas especificações técnicas do produto.

As máquinas de injeção plástica das marcas SANDRETTO e ENGEL possuem um grupo de 27 (vinte e sete) variáveis que são considerados por ambas as fabricantes como variáveis que determinam a qualidade da peça. Em ambas as máquinas é possível programá-las para exportação desses parâmetros de forma periódica. Essa exportação, na forma digitalizada, permite análises de desempenho que foram utilizadas nesse trabalho.

Neste trabalho, optou-se pela utilização da técnica de análise de componentes principais (PCA), para analisarmos as variáveis coletadas automaticamente por um sistema de gestão da produção, com o objetivo não somente de reduzir a dimensão do espaço dos parâmetros como também analisar o comportamento das variáveis, no tempo, mais representativas dentro do contexto da regulagem, identificando o impacto das alterações nos parâmetros em função dos rejeitos registrados pelo sistema de gestão.

A técnica do PCA é utilizada no âmbito da monitoração de diferentes processos. Durante o desenvolvimento deste trabalho foram consultados trabalhos sobre a técnica do PCA, no qual pode-se destacar sua utilização para a redução da dimensão dos dados a serem analisados em tempo real, por exemplo, no processo de caracterização do tipo de chama [4]. Outro trabalho estudado no mesmo segmento foi no qual o PCA, juntamente com uma rede neural artificial, fora utilizado para classificar, segundo a composição química, peças de cerâmica chinesa do período neolítico [10]. Fora vista também a utilização da PCA como classificador de rejeitos para carcaças de frangos no qual a PCA foi utilizada para detecção de indícios de tumor em imagens feitas com espectro fosforescente [6]. Contudo o artigo de F. Z. Chen e X. Z. Wang [13] norteou este trabalho. Neste artigo, foi utilizada a técnica do

PCA para identificar regiões de agrupamento ou *clusters* dependentes de parâmetros que caracterizassem determinados produtos em uma planta química.

Os objetivos fundamentais deste trabalho são utilizar a técnica de Componentes Principais para redução do tempo de regulagem e estabelecer uma relação causa-efeito entre os parâmetros ajustados e os rejeitos registrados durante a regulagem do processo de injeção plástica, visando minimizar os rejeitos e otimizar o desempenho do processo como um todo. A Análise de Componentes Principais será utilizada para criar 'clusters' ou grupos das variáveis ou parâmetros de ajuste adequados, coletados no processo de injeção plástica para que, com esse conhecimento, essas informações sirvam de orientação para os reguladores, reduzindo dessa forma não somente as perdas com os desperdícios de matéria-prima como também o tempo devido às regulagens de máquina feita de forma empírica.

No Capítulo 2, é descrito o processo de injeção plástica, detalhando os parâmetros de regulagem coletados da máquina que influenciam o desempenho do processo de injeção e definem a qualidade do produto. O método de coleta das variáveis de ajuste ou parâmetros de regulagem é explicado neste capítulo, no qual a estrutura física e o sistema de informação utilizados na coleta dos dados são também descritos.

No Capítulo 3, é descrita a metodologia utilizada para processamento dos dados disponíveis no sistema de gestão, detalhando a aquisição e o tratamento feitos nos dados oriundos do sistema de informação. A análise por meio da técnica de Componentes Principais [11], é aplicada aos parâmetros coletados como uma ferramenta para identificar os ajustes adequados e inadequados dos parâmetros no triplo máquina – molde - matéria-prima. Entenda-se por uma regulagem adequada a que gera um produto em conformidade com as especificações técnicas, mantendo a produtividade do processo, ou seja, sem comprometer um índice de refugo de 1% a 3%, dependendo do produto.

No Capítulo 4, são apresentados os resultados experimentais do algoritmo implementado para gerar os gráficos com as análises do PCA assim como os gráficos temporais das principais variáveis indicadas pelo algoritmo [5], além de identificar um procedimento para resolver o problema de refugos de produto por má regulagem de máquina de injeção plástica. Com esta análise, torna-se possível uma associação entre o parâmetro regulado e o índice de rejeito registrado na mesma máquina versus

molde versus matéria-prima, fornecendo uma orientação para que, em futuras regulagens, seja possível consultar uma memória industrial com conhecimentos epistemológicos do processo de regulagem de máquinas injetoras.

Para os testes e análises foi utilizado um computador Pentium III 800MHz, 128Mb de memória RAM e 512 Kb de memória *cache* sob a plataforma Microsoft Windows 98. Os parâmetros e dados de refugos foram extraídos de um banco de dados Oracle 8i e Informix 7.3, armazenados por um sistema de gestão da produção INJET.

O código proposto para processamento dos dados coletados foi implementado em linguagem Visual Basic 6.0. Para as funções de cálculo do PCA utilizou-se o MATLAB 6.0 enquanto que a análise dos gráficos temporais foi feita utilizando o Microsoft Excel 2000.

Finalmente, no Capítulo 5, são apresentadas as considerações finais e propostas de trabalhos futuros.

Capítulo 2

O Processo de Injeção Plástica e o Sistema de Monitoração

Neste capítulo, será apresentado o processo de injeção plástica descrevendo de forma macro as etapas do processo de injeção plástica bem como os principais parâmetros de regulagem e exemplificando a relação causa-efeito, na qual ajustes inadequados podem gerar rejeitos em quantidades inaceitáveis no processo.

Será descrito também o princípio de funcionamento do sistema de gestão comercial INJET, o qual coleta as informações de produção, parada, rejeitos, parâmetros de regulagem e as armazena em um servidor de banco de dados, de forma a possibilitar as análises do corpo gerencial da empresa. Trata-se de um sistema comercial classificado como um sistema de apoio à tomada de decisão.

Apresentaremos alguns dos gráficos existentes no sistema de gestão INJET com o qual é possível analisar o desempenho do processo produtivo de forma amigável para o usuário.

A constante evolução da tecnologia de injeção de termoplásticos no Brasil, especialmente nos últimos dez anos, tem exigido pesados investimentos da indústria de transformação.

O ciclo de renovação do parque de máquinas (figura 2.1) e moldes para a injeção plástica tem sido intenso, atingindo um ritmo de cinco anos atualmente contra uma média de dez anos durante os anos de 1950 a 1980. Esse desenvolvimento significa maior demanda de investimento nesses produtos e também na capacitação, treinamento e atualização da mão-de-obra.[7]

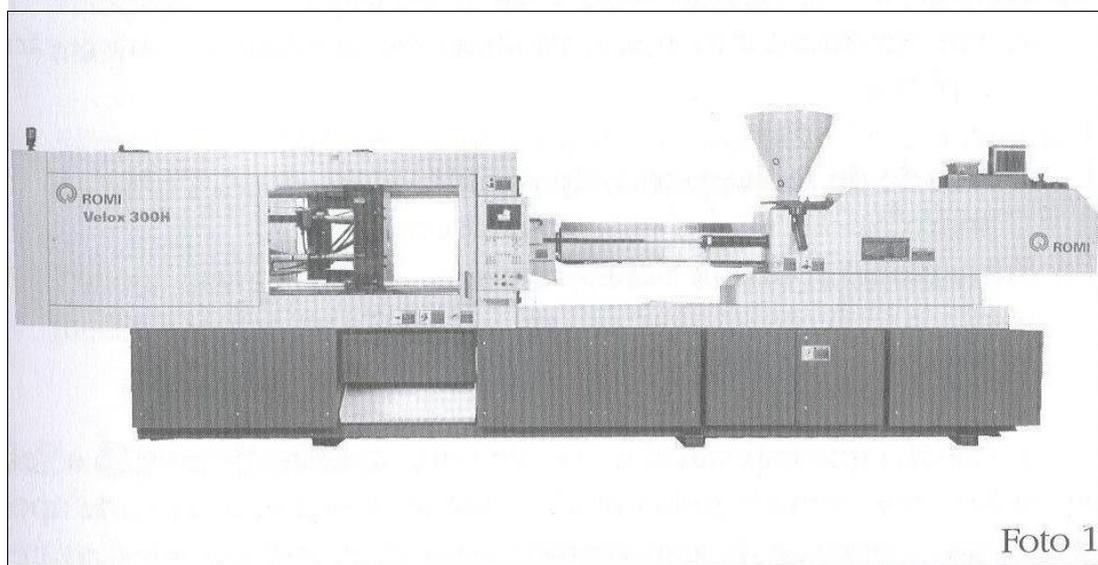


Figura 2.1 – Máquina de injeção plástica da marca ROMI.

Na figura 2.2 temos o diagrama do fluxo da troca de informações entre as partes integrantes do processo, que são:

- as máquinas injetoras existentes na fábrica;
- o Controlador Lógico Programável de nome IPE que executa a coleta dos dados de produção, parada, refugos e parâmetros da máquina injetora;
- o computador Mestre que recolha as informações no CLP e armazena em um servidor de banco de dados corporativo;
- o Servidor de Banco de Dados da empresa;
- os terminais de monitoração no qual a equipe gestora analisa de forma gráfica e amigável o desempenho do processo.

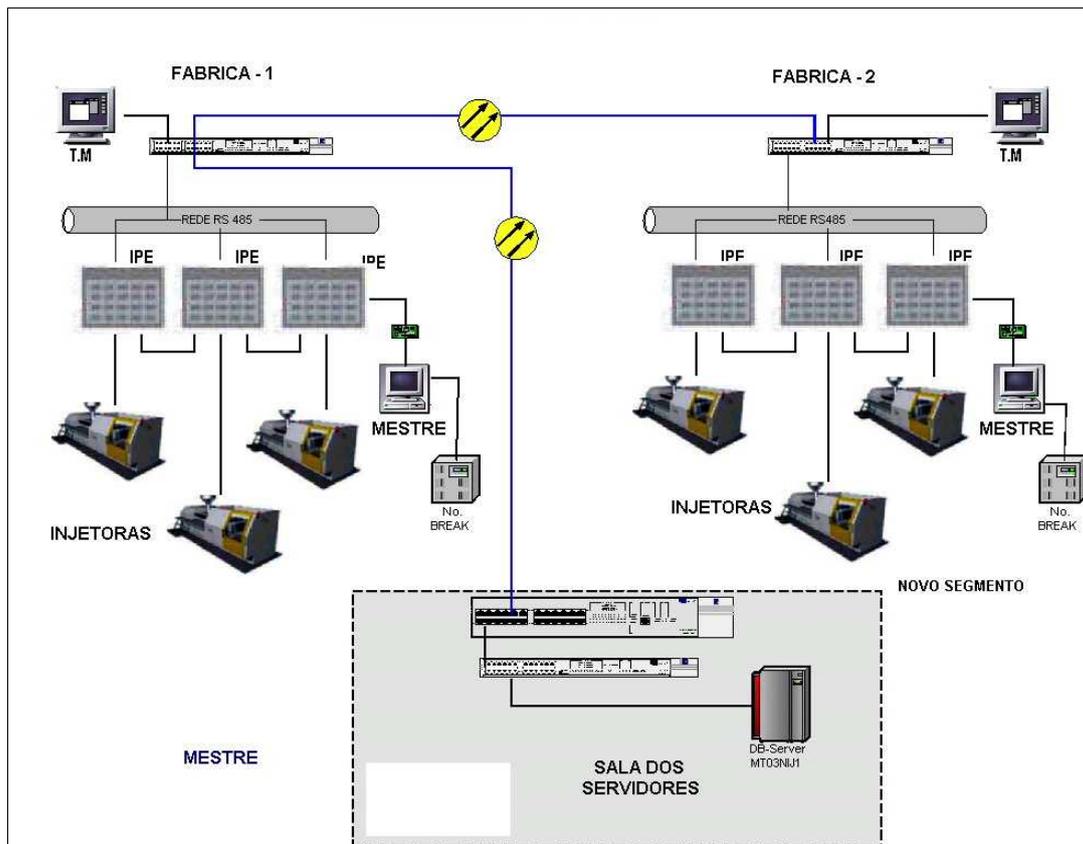


Figura 2.2 – Diagrama do processo de injeção plástica e sistema de coleta dos dados.

2.1 O Processo de injeção plástica

A moldagem por injeção é o mais comum dos processos empregados na fabricação de termoplásticos. Consiste em introduzir em um molde a composição moldável fundida em um cilindro aquecido, por intermédio da pressão de um êmbolo [7].

As máquinas injetoras geralmente dispõem de uma câmara cilíndrica preliminar, aquecida, dotada de parafuso sem fim, a qual funciona como plastificador e homogeneizador da massa polimérica antes que esta seja admitida à seção a partir da qual será transmitida aos canais de injeção do molde (Figura 2.3). A refrigeração do material é feita dentro do molde, de forma a permitir a sua solidificação e a remoção do artefato sem deformação.

O processo de injeção é descontínuo, aplicável a termoplásticos, muito comum na obtenção de pequenas peças em curtos ciclos de moldagem. Exemplo: utensílios domésticos, brinquedos, bijuterias, pré-formas para moldagem em sopro, etc. Um dos inconvenientes da moldagem por injeção é a grande quantidade de material descartado após a retirada da peça injetada, sob a forma de galhos e varas por onde havia passado o plástico fundido. Esses resíduos, após a fragmentação em moinhos apropriados, são normalmente reutilizados. Esse inconveniente é eliminado com a utilização de moldes com canal quente, que são empregados somente em casos especiais devido ao seu custo elevado.

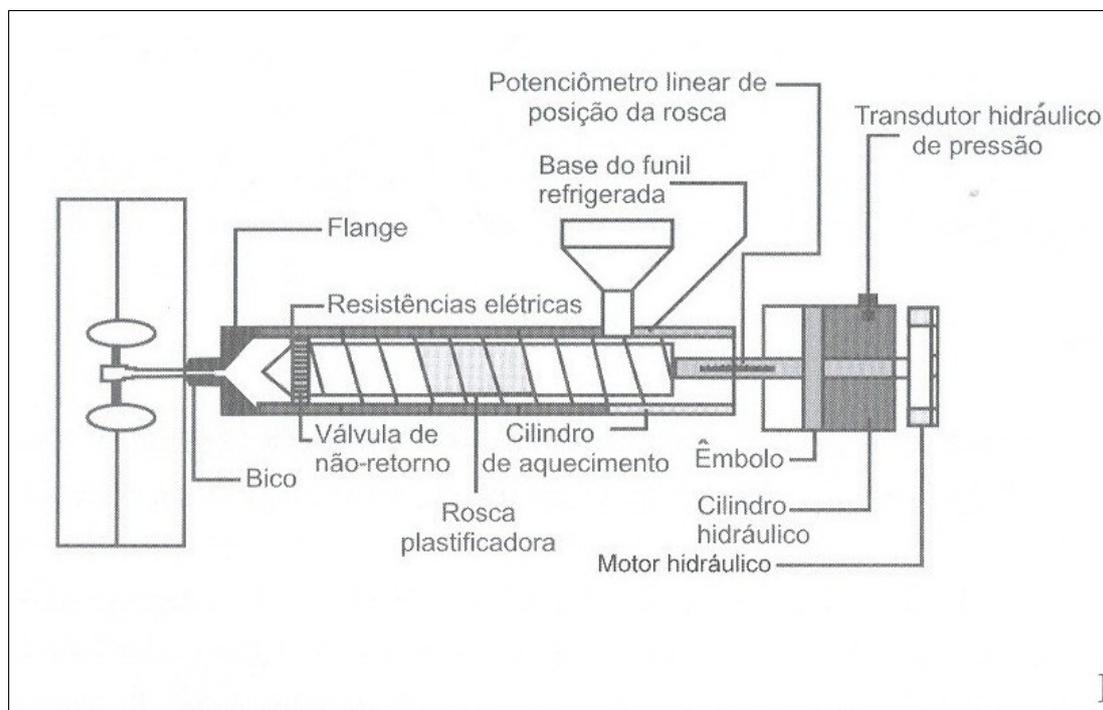


Figura 2.3 – Diagrama do processo de injeção plástica.

2.1.1 Parâmetros que definem a qualidade da peça

A empresa italiana SANDRETTO, fabricante de máquinas injetoras, e a empresa alemã ENGEL, possuem em seu painel um módulo opcional de comunicação serial RS-232 com um computador externo, onde são disponibilizadas variáveis consideradas como parâmetros que definem a qualidade da peça por ambas as

fabricantes. Na tabela 2.1 temos o descritivo dos parâmetros enviado pelas máquinas supra citadas:

Item	Código	Descrição do parâmetro	Unid.
1	000001	Temperatura do Cilindro Zona A	°C
2	000002	Temperatura do Cilindro Zona B	°C
3	000003	Temperatura do Cilindro Zona C	°C
4	000004	Temperatura do Cilindro Zona D	°C
5	000121	Temperatura do Cilindro Zona E	°C
6	000122	Temperatura do Cilindro Zona F	°C
7	000005	Temperatura do Óleo	°C
8	000006	Tempo de preenchimento	s
9	000007	Duração da plastificação	s
10	000008	Dosagem de Recalque	mm
11	000009	Cota Final de Colchão ou Almofada	mm
12	000010	Contra Pressão	bar
13	000011	Pressão hidráulica na segunda fase de injeção	bar
14	000012	Posição do parafuso na segunda fase de injeção	mm
15	000013	Pressão hidráulica	bar
16	000015	Pressão na cavidade da segunda fase de injeção	bar
17	000022	Temperatura do molde na Zona 1	°C
18	000023	Temperatura do molde na Zona 2	°C
19	000024	Temperatura do molde na Zona 3	°C
20	000025	Temperatura do molde na Zona 4	°C
21	000202	Temperatura do molde na Zona 5	°C
22	000203	Temperatura do molde na Zona 6	°C
23	000204	Temperatura do molde na Zona 7	°C
24	000114	Duração do resfriamento	s
25	000119	Índice de viscosidade	bar
26	000201	Tempo de Ciclo	s
27	000206	Tempo de proteção do molde	s

Tabela 2.1 – Relação dos 27 parâmetros enviada pela máquina injetora.

2.1.2 Motivos para a geração de rejeitos na injeção plástica

Os ajustes errôneos dos parâmetros supracitados, durante o processo de regulagem na máquina de injeção plástica geram invariavelmente perdas de qualidade, que são caracterizadas pela quantidade de peças defeituosas, os rejeitos.

Na tabela 2.2, temos alguns dos principais motivos da geração de rejeitos ou refugos devido a falhas na regulagem:

Item	Motivo do rejeito	Observação
1	Bolhas	Quando a peça possui bolhas de ar presa no plástico.
2	'Chupagem'	Quando a peça possui uma deformação devida à falta de matéria prima em uma determinada região.
3	Empenamento	Quando a peça deforma, ao ser retirada ainda quente do molde.
4	Falha de injeção	Quando a cavidade do molde não é preenchida com a quantidade de matéria prima mínima para compor a peça.
5	Mancha	Quando na peça existe mancha de óleo, água ou alguma impureza do molde.
6	'Rebarba'	Quando a peça possui sobras excessivas de plásticos nas bordas.
7	Marcas de extrator ou riscos	Quando na peça existem marcas do extrator do molde.
8	Furos tampados	Quando pequenos furos (para parafuso) são obstruídos com matéria-prima devido à pressão de injeção ou a fluidez do material não estarem de acordo com o especificado.
9	Junção	Quando dentro do molde há obstáculos para o preenchimento, e volumes de plástico com diferentes temperaturas se

		encontram dentro da cavidade, tornando a peça frágil neste ponto de junção.
10	Ondulações	Quando a cavidade não está completamente preenchida e a superfície da peça apresenta ondulações.
11	Excesso de solda	Quando um excesso de matéria-prima se aloca em um canto da peça
12	Peça queimada	Quando há fuligem na peça devido à queima da matéria prima.
13	Peça deformada	Quando a peça é retirada quente do molde, e deforma no processo de extração.
14	Trincas	Quando o material queima, e a peça possui pequenas rachaduras.

Tabela 2.2 – Relação dos principais motivos para a geração de rejeitos.

2.1.3 Temperaturas do cilindro de plastificação

As temperaturas do cilindro de plastificação são resultado do aquecimento das resistências elétricas ao longo do cilindro de injeção que levam o plástico do estado em *grânulos* ao estado *pastoso* para ser injetado na cavidade do molde.

A plastificação possui três estágios, alimentação, dosagem e plastificação, nos quais alterações errôneas nas temperaturas das zonas do cilindro geram diferentes tipos de rejeitos na peça. Exemplo: Se as temperaturas nas zonas iniciais do cilindro forem elevadas, estágio de alimentação, o material chegará à dosagem com o índice de fluidez muito alto, o que poderá ocasionar *rebarba*, *chupagem* ou queima de material.

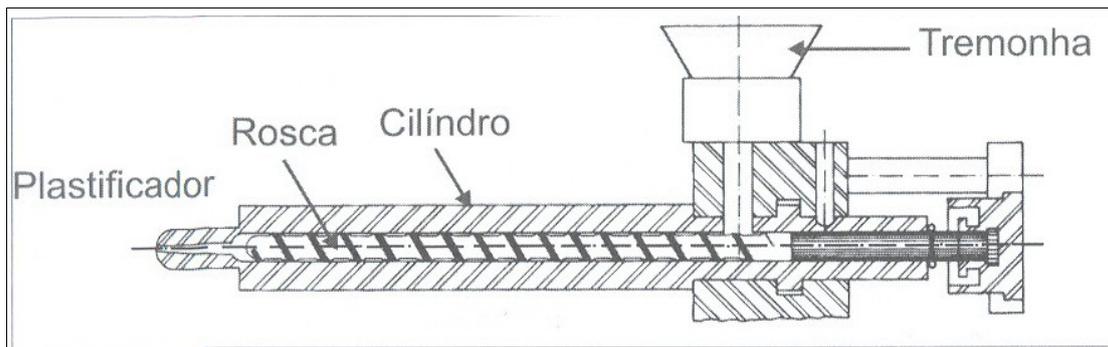


Figura 2.4 – Cilindro de plastificação com as zonas de alimentação, cilindro e plastificação.

2.1.4 Temperaturas do molde – câmara quente

Há produtos nos quais as perdas com canais internos de injeção em um molde tradicional seriam inaceitáveis. Para essa situação, são utilizados moldes com câmaras quentes onde não há canais de injeção e, sim, um volume aquecido por resistências que mantém a matéria-prima em estado pastoso para a injeção.

Nesse tipo de ferramenta, os ganhos estão na eliminação do *galho*, que implica na redução dos custos com as perdas de matéria-prima e na injeção por múltiplos pontos, que por sua vez implica na redução do tempo de ciclo do processo em função de um preenchimento mais rápido.

A temperatura do volume interno de matéria-prima no molde é controlada como se estivesse no cilindro, pois, dependendo do tamanho da peça, esse volume permanece aquecido dentro do molde, por até duas vezes o tempo do ciclo de produção. Dependendo do tamanho do molde pode-se ter até sete pontos de sensores de temperatura na área de câmara quente do molde (Figura 2.6).

As regulagens dessas temperaturas podem gerar rejeitos dos mais variados tipos, tais como: *mancha*, *rebarba*, falhas de injeção e junção fria. Exemplo: caso o volume interno do molde não seja suficiente para preencher as cavidades, teremos uma parte da peça com material à temperatura da câmara quente e uma outra parte com material à temperatura do cilindro que, caso haja uma diferença de temperaturas,

ocorrerão junções frias na peça, ponto no qual essa peça estará frágil e propensa à quebra.

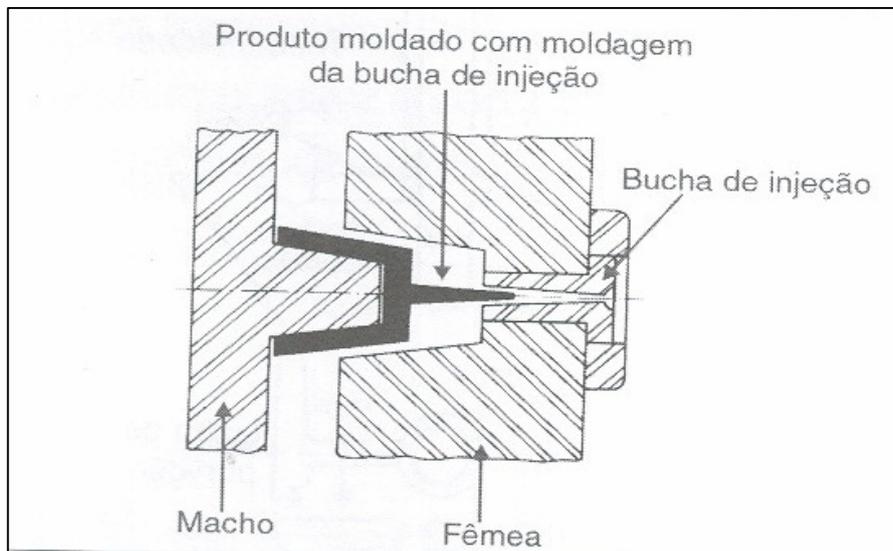


Figura 2.5 – Layout do molde sem câmara quente.

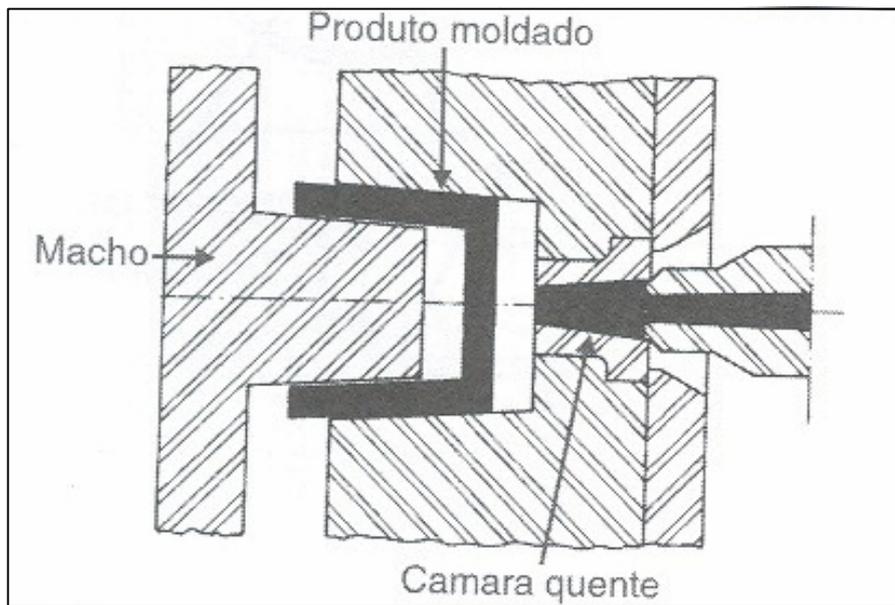


Figura 2.6 – Layout do molde com câmara quente.

2.1.5 Perfil de injeção

Durante o ciclo de operação da máquina para a produção de uma ou mais peças, dependendo da quantidade de cavidades ativas no molde, temos alguns estágios importantes para a qualidade da peça injetada.

1 – Tempo de preenchimento – Tempo necessário para o completo preenchimento das cavidades do molde com matéria-prima fundida, cuja regulação incorreta pode acarretar em rejeitos por falha de injeção. Esse tempo normalmente é definido pela engenharia de processo, e o regulador ajusta a velocidade do parafuso injetor e a posição final do parafuso para garantir um total preenchimento da peça dentro do tempo solicitado.

2 – Tempo de plastificação – Tempo necessário para o parafuso injetor retornar à posição inicial carregando o cilindro com matéria-prima virgem. Esse parâmetro definirá quanto tempo a matéria-prima virgem ficará em repouso na zona de alimentação, dando uma ideia ao regulador em que estado estará o material fundido quando o parafuso injetor iniciar o avanço para a produção da nova peça.

3 – Dosagem de recalque – Posição do parafuso injetor, onde se inicia o processo de recalque, que consiste em continuar com a pressão de injeção, mesmo depois das cavidades do molde estarem preenchidas, para aguardar a solidificação dos canais de injeção, evitando assim um refluxo de material fundido.

4 – Cota final de colchão ou almofada – Posição do parafuso que define a quantidade de material fundido utilizado durante o recalque, e que fica duas vezes o tempo de ciclo no cilindro de injeção. Como o material utilizado para almofada é exposto o dobro do tempo a altas temperaturas, a probabilidade de queima da matéria-prima é alta, além de ser esta a primeira a entrar no molde e recobrir as cavidades internas, sendo portanto, a parte mais visível do produto acabado.

5 – Contra pressão – É a força que a rosca deve vencer para retroceder para alimentar o material plástico no próximo ciclo quando está dosando o material. Só há contrapressão quando existir material no funil alimentador da máquina que é o responsável pela função de empurrar o êmbolo do cilindro hidráulico para trás. O

controle da contrapressão melhora as qualidades de homogeneização e plastificação do material plástico.

6 – Pressão hidráulica na segunda fase de injeção – Pressão hidráulica realizada pela rosca de injeção durante o preenchimento da cavidade do molde com matéria-prima.

7 – Posição do parafuso na segunda fase de injeção – Posição em centímetros onde termina o avanço da rosca de injeção.

8 – Pressão hidráulica – Pressão hidráulica realizada pela rosca de injeção contra a matéria-prima durante o preenchimento das cavidades do molde. Portanto podemos definir a Pressão de Injeção como:

Pressão de injeção (Kg / cm^2) = Pressão manométrica da linha hidráulica de injeção (Kg / cm^2) * di^2 / dp^2

Onde:

di = Diâmetro do cilindro hidráulico de injeção (cm).

dp = Diâmetro da haste do cilindro de injeção ou rosca (cm).

9 – Pressão na cavidade segunda fase de injeção – Pressão medida nas cavidades internas do molde. Normalmente é um dispositivo opcional instalado no molde, que possui comunicação com a máquina injetora.

10 – Temperatura do óleo – Temperatura do óleo utilizado para promover o deslocamento das partes como molde, cilindro, parafuso injetor na injetora. Essa variável é considerada como de segurança do equipamento, pois, quando a temperatura está baixa, o óleo fica menos viscoso é necessário mais força para viabilizar o deslocamento.

11 – Índice de viscosidade – Índice de viscosidade do óleo utilizado no deslocamento do molde, cilindro, parafuso injetor e outros. A temperatura ambiente pode alterar o índice de viscosidade do óleo e desregular a máquina injetora.

12 – Tempo de ciclo – É o intervalo de tempo entre o início da injeção de plástico no molde na peça atual até o início da injeção na peça seguinte. O ciclo total é a soma do tempo do ciclo da máquina mais o tempo que o operador leva para abrir a porta, retirar a peça, e fechar a porta (em moldes não automáticos). Na figura 2.7 temos todas as etapas de tempo compreendidas no ciclo de injeção plástica.

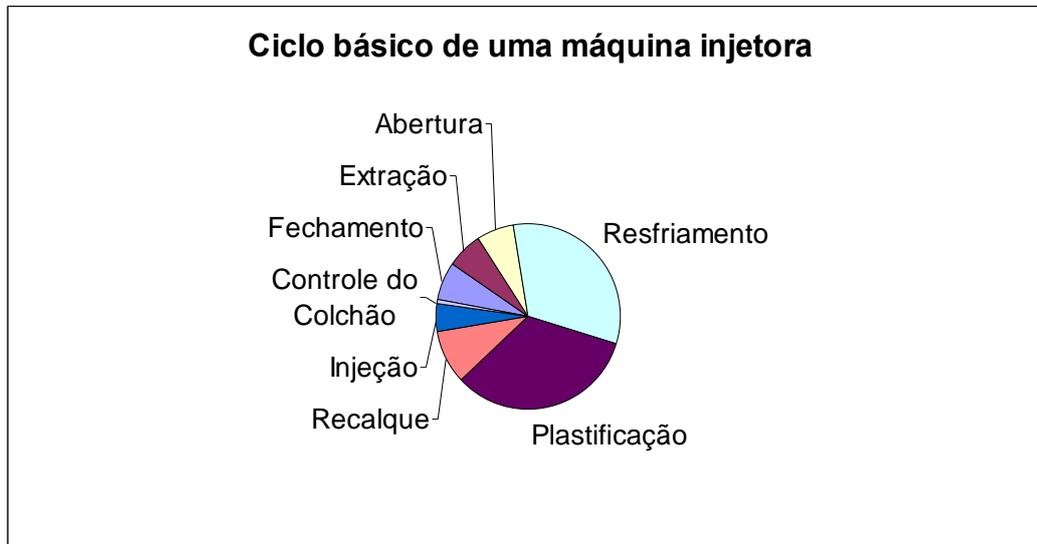


Figura 2.7 – Ciclo básico de uma máquina injetora.

2.2 Sistema de monitoração e coleta dos dados

No processo de coleta dos dados de produção, foi utilizado o sistema de gestão da produção chamado INJET, que está classificado como sistema de apoio à tomada de decisão e que monitora a produção, tempo de paradas e refugos do processo de injeção plástica [3].

Para a coleta de dados, foi desenvolvido, dentro do sistema INJET, um módulo de comunicação serial com as máquinas injetoras SANDRETTO e ENGEL, onde um CLP (Controlador Lógico Programável), com uma interface de teclado e display mais dois canais de comunicação serial RS-232, foram acoplados à máquina e coletaram os

parâmetros de regulação a cada cinco minutos além da quantidade de peças refugadas pelo regulador da máquina (Figura 2.8).



Figura 2.8 – Regulador utilizando o CLP para entrada dos dados de rejeito.

Os dados coletados pelo CLP são transferidos para um computador denominado MESTRE por meio de uma rede RS-485. Essa estação trata as informações oriundas do CLP associando-as à máquina e ao molde que está em produção para armazená-las em um banco de dados Oracle (Figura 2.9)[3].

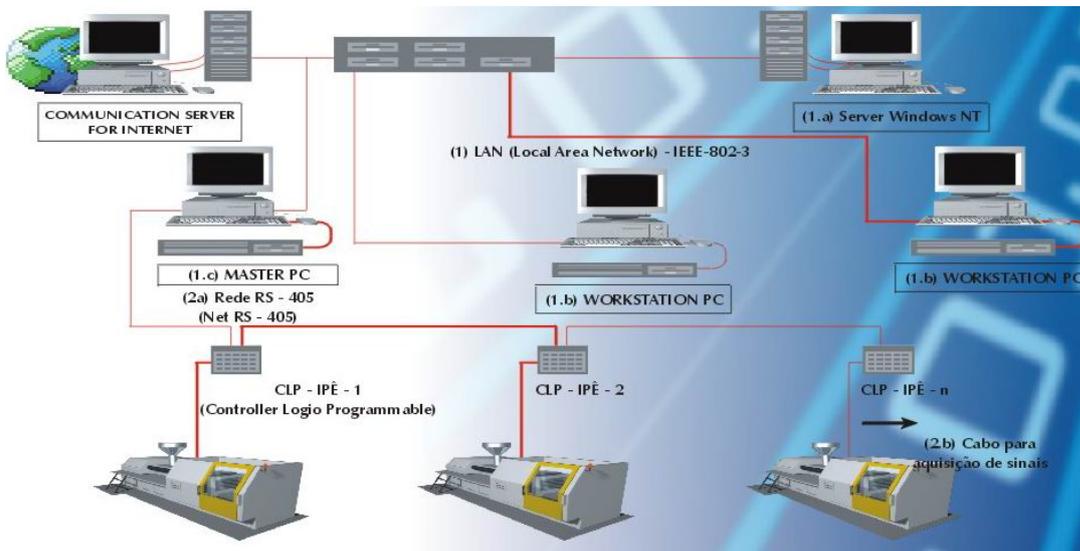


Figura 2.9 – Layout da estrutura lógica e elétrica para a coleta dos dados

Os dados coletados são armazenados em um banco de dados pelo PC mestre em uma estrutura de tabelas, segundo o modelo relacional de dados da figura 2.10.

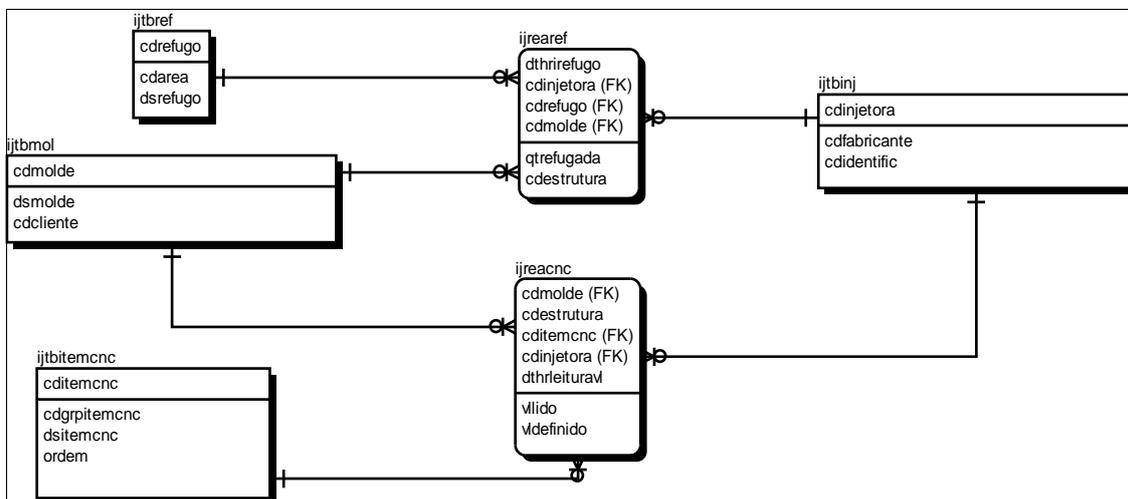


Figura 2.10 – Modelo relacional de dados das entidades onde os dados são armazenados.

Nas tabelas da figura 2.10, são cadastrados os dados básicos de molde (ijtbmol), máquina (ijtbinj) e os parâmetros de coleta (ijtbitemcnc), bem como as informações vindas da máquina injetora (ijreacnc), segundo descrição na figura 2.11.

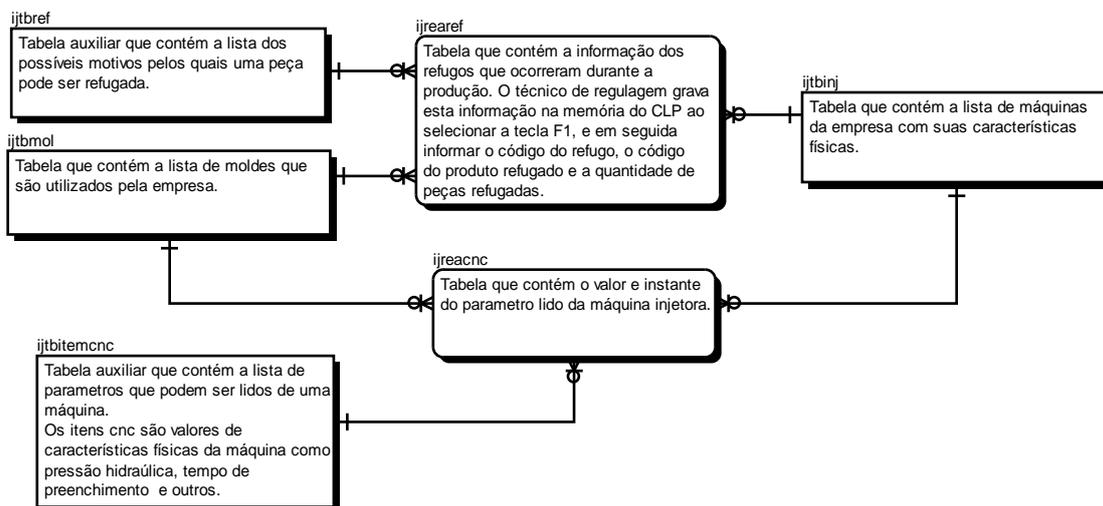


Figura 2.11 – Descritivo das entidades no sistema INJET com os dados do CNC.

Na tabela 2.3, temos um descritivo dos principais campos contidos nas tabelas do sistema INJET:

Entidade	Atributo	Descrição
ljbmol	Cdmolde	Código do molde para o Sistema.
ljbinj	Cdinjetora	Código da máquina injetora para o Sistema.
ljbitemcnc	Cditemcnc	Código do item ou parâmetro lido da máquina.
ljbtreacnc	Cditemcnc	Código do item do CNC.
	Cdmolde	Código do molde.
	Cdestrutura	Código da estrutura que define o produto injetado.
	Cdinjetora	Código da máquina.
	Dthreirutacnc	Data e hora do valor lido da máquina.
	Vllido	Valor lido da máquina para um determinado item.
ljbref	Cdrefugo	Código do refugo.
ljbref	Dthreirefugo	Data e hora em que o refugo fora informado.
	Cdinjetora	Código da máquina injetora para o Sistema.
	Cdmolde	Código do molde para o Sistema.
	Cdrefugo	Código do refugo.
	Qtrefuga	Quantidade refugada.

Tabela 2.3 – Descritivo dos campos das tabelas usadas para coleta dos dados do CNC.

Os parâmetros de regulagem armazenados pelo Sistema INJET são exibidos conforme a figura 2.12, no qual temos um gráfico dos últimos 100 valores lidos de um determinado parâmetro.

Nesta tela é também sinalizado um alarme visual (valor do item em amarelo) caso o valor lido esteja abaixo ou acima de um faixa pré-definida pela engenharia, evitando assim que regulagens indevidas permaneçam na configuração da máquina sem que a engenharia de processo saiba ou que problemas de rejeitos comecem a ocorrer.

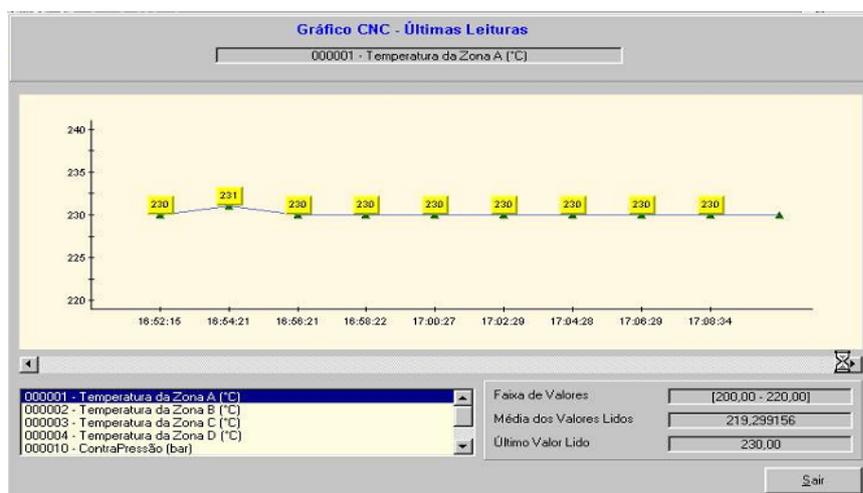


Figura 2.12 – Tela com os dados coletados do painel da máquina injetora.

Os principais indicadores de produtividade no sistema INJET estão apresentados segundo as fórmulas da figura 2.13, no qual temos o cálculo da **utilização, eficiência e produtividade**.

A utilização consiste em confrontar o quanto do tempo disponível foi revertido em horas de máquina trabalhando, dando ao gestor uma idéia de capacidade produtiva instalada contra a utilização da mesma.

A eficiência confronta o quanto das horas trabalhadas ocorreu dentro de um ciclo padrão médio definido pela engenharia, pois as perdas de ritmo (ciclos que ocorreram acima do padrão) e perdas com refugos (ciclos que foram totalmente desconsiderados) estão fora das horas produtivas.

A produtividade confronta as horas produtivas com as horas disponíveis que indica o percentual de tempo disponível que foi aplicado sem nenhuma perda no processo, seja por parada, refugo ou ciclo acima do padrão. Essas fórmulas de cálculo da utilização, eficiência e produtividade são largamente utilizadas no processo de injeção plástica.



Figura 2.13 – Conceito de produtividade utilizado pelo Sistema INJET.

No Sistema INJET as máquinas são monitoradas segundo a figura 2.14, onde temos os dados de produção, parada e refugo dentro de um turno de produção ou de uma ordem de produção. Nesta tela é possível acompanhar o desempenho do processo em função dos índices de produtividade em destaque na figura 2.14.

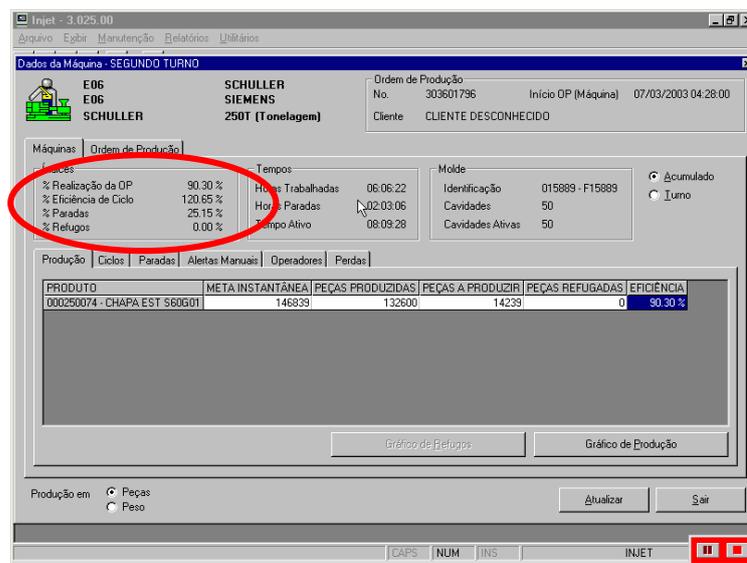


Figura 2.14 – Tela com os dados de produção coletados da máquina injetora.

Na figura 2.15 temos uma tela gerencial do sistema de produção, onde uma máquina ou um grupo de máquinas pode ser analisado dentro de um intervalo maior do que um turno ou uma ordem de produção (destaque em azul). Contudo os indicadores de produtividade (destaque em vermelho) como eficiência de realização, índice de parada, índice de refugo e eficiência de ciclo são os mesmos analisados na figura 2.14.

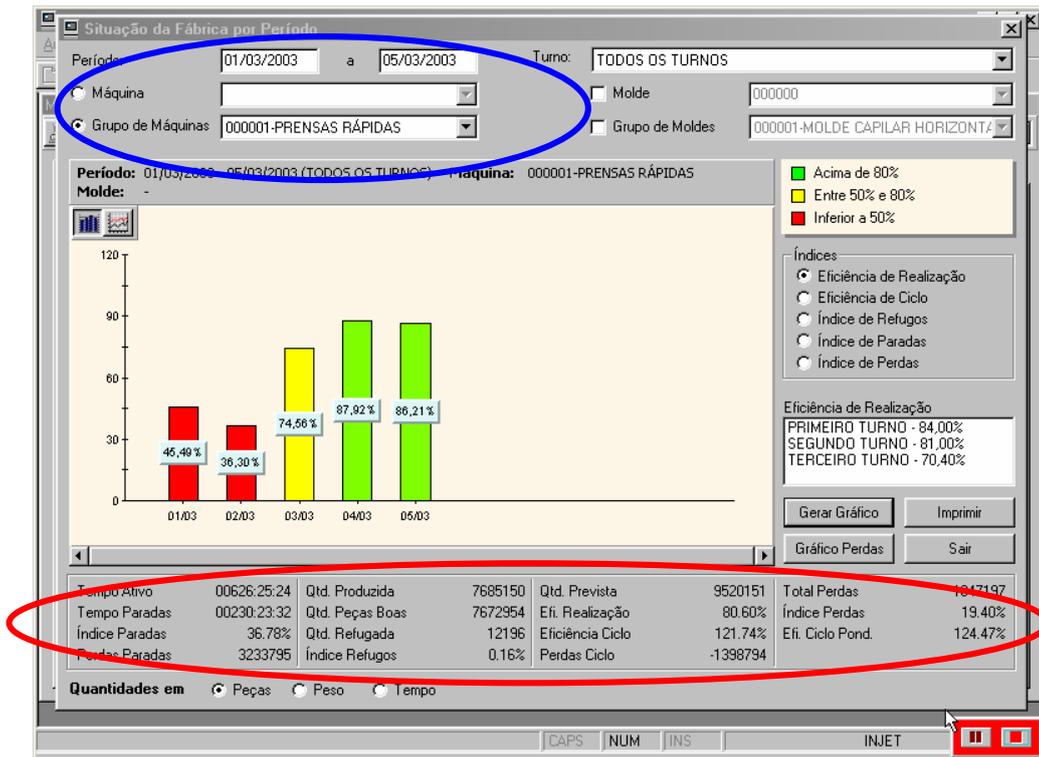


Figura 2.15 – Tela gerencial com os dados de produção coletados de um grupo de máquina.

Na figura 2.16 temos um gráfico do sistema de produção, onde os motivos de paradas são agrupadas por ordem crescente de tempo. Com esse gráfico é possível o gestor identificar em quais motivos deverá concentrar seus esforços para reduzir o problema e dessa forma aumentar a eficiência da fábrica. Observe que o motivo “REGULAGEM DE MÁQUINA” representa 15,78% do total de horas paradas em cinco dias de produção.

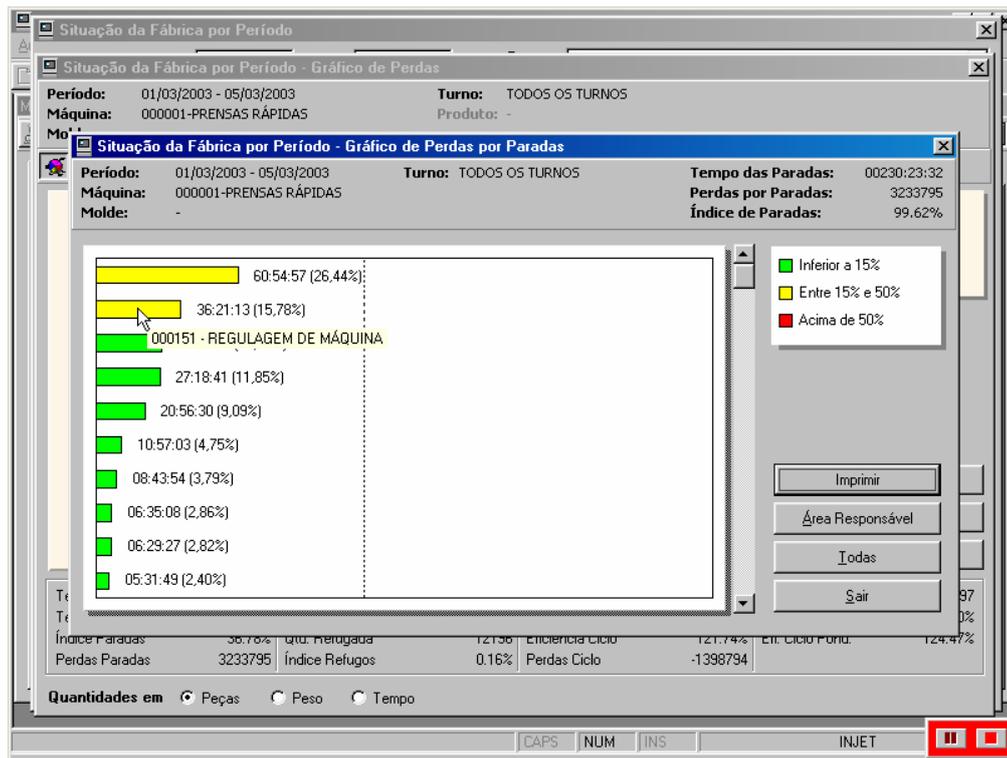


Figura 2.16 – Gráfico de Pareto dos motivos de paradas de máquina.

Na figura 2.17 temos outro gráfico do sistema no qual os refugos são apresentados na forma de um gráfico de *Pareto*, organizado em ordem crescente da quantidade de refugos e agrupado por motivo do refugo, o que facilita a tomada de decisão em relação a priorizar as ações para a correção de rejeitos de maior representatividade no processo produtivo.

Observa-se que o sistema tem como principal objetivo promover a tomada de decisão no que diz respeito à sempre priorizar as ações no pior dos problemas, portanto o sistema foca sempre em agrupar os problemas por grau de severidade e com isso facilitar a decisão do gestor.

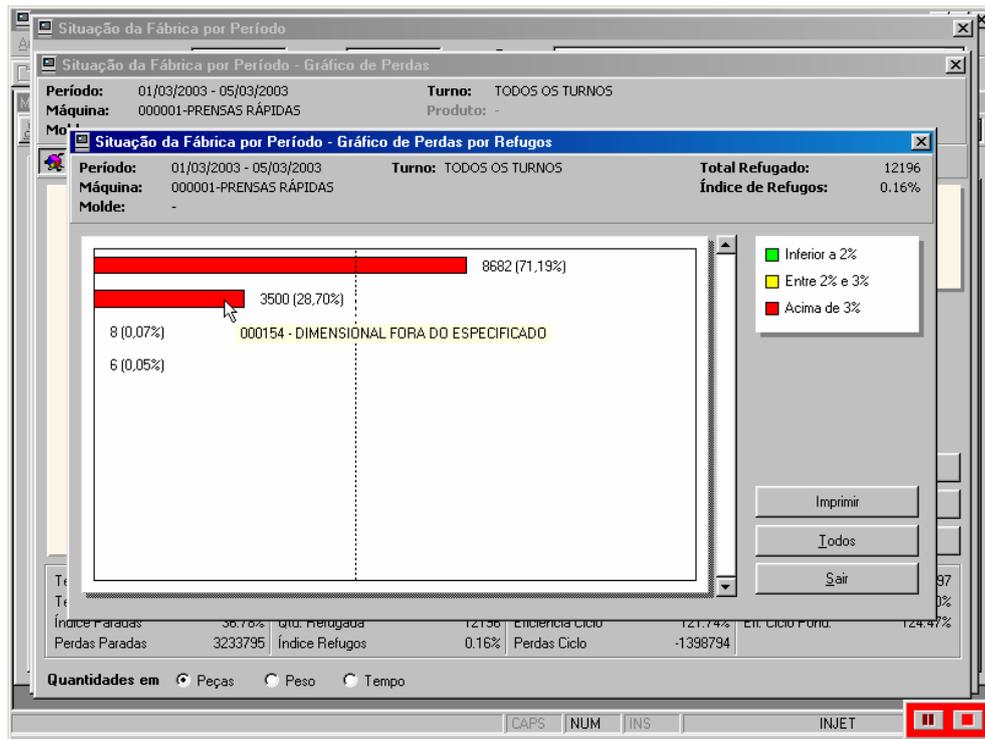


Figura 2.17 – Gráfico de Pareto dos motivos de refugos de máquina.

Neste capítulo foram vistas as definições para os parâmetros de regulagem, além da influência desses parâmetros na ocorrência de refugos assim como a descrição de alguns tipos de refugos, cujo motivo é proveniente de uma regulagem inadequada.

Outro ponto descrito foi o sistema de monitoração e coleta dos dados de parâmetros de regulagem no qual vimos como os dados são coletados fisicamente, assim como a estrutura de banco de dados onde são armazenados e algumas telas nos quais as informações são exibidas para o usuário.

Capítulo 3

Metodologia utilizada para aprimorar o desempenho do processo de injeção plástica

Neste capítulo, será apresentada a metodologia proposta para aprimorar o desempenho do processo de injeção plástica por meio da redução da quantidade de rejeitos gerados. Será descrita a técnica de Análise por Componentes Principais, referida ao longo da tese pela sigla em inglês PCA, que utilizamos com o objetivo de reduzir a dimensão dos ajustes paramétricos durante a regulagem e, dessa forma, possibilitar a análise multivariada, facilitando a identificação da relação causa-efeito entre ajustes de regulagem e a quantidade de peças rejeitadas, visando reduzir dessa forma não somente o índice de rejeitos como também o tempo gasto com regulagem de máquina.

Durante o processo de injeção, cuja busca por produtividade é incessante, os reguladores têm que ajustar as máquinas injetoras de forma a obter o menor tempo de ciclo sem comprometer as especificações técnicas do produto e a mecânica da máquina injetora. Sendo assim, dependendo do produto injetado, o índice de rejeito aceitável varia entre 1% e 3% da produção. Portanto, passaremos a considerar uma regulagem adequada a que estiver abaixo desses limites e inadequada a que estiver acima dos mesmos.

3.1 *Análise de componentes principais*

O processo de aprendizado interativo da investigação científica produz hipóteses oriundas das explicações de um fenômeno físico que devem ser testadas por meio de análise de dados observados, em que normalmente são adicionadas ou removidas variáveis. Assim a complexidade da maioria dos fenômenos exige que o investigador coleciona observações em muitas variáveis diferentes. Nesse contexto, no qual a análise em medidas simultâneas em várias variáveis é necessária, foram desenvolvidos métodos estatísticos para análise multivariada de dados [11].

A necessidade de compreender as relações entre muitas variáveis torna a análise multivariada uma atividade difícil. Frequentemente, a mente humana é assoberbada pela quantidade de dados existentes nas observações. Nesses casos, a matemática é a ferramenta utilizada para derivar, com técnicas estatísticas multivariadas, os dados e facilitar as conclusões como se tratasse de uma análise univariada [11].

Os principais objetivos, segundo Johnson [11], de se utilizar métodos de análise estatística multivariada são:

1. Redução dos dados ou simplificação estruturada: O fenômeno estudado é apresentado em uma forma simples e reduzido, porém sem perda significativa do valor da informação. Acredita-se que, com a redução da dimensão dos dados, a análise se torne mais fácil;
2. Ordenação e agrupamento: Grupos de objetos ou variáveis com características similares são criados;
3. Investigação das dependências entre as variáveis: O interesse está na relação natural entre as variáveis. Se todas as variáveis são independentes ou se há uma dependência entre elas. Se sim, como;
4. Criação e teste de hipóteses: Hipóteses estatísticas formuladas em função de uma população de parâmetros multivariados são testadas, com o objetivo de validar suposições ou reforçar convicções anteriores.

5. Previsão: A relação entre as variáveis é estudada com o intuito de prever os valores de uma ou mais variáveis observadas e até mesmo outras variáveis;

Conforme utilizado nesta tese o PCA contempla os quatros primeiros objetivos supra citados.

Em relação ao primeiro objetivo existem várias técnicas para redução da dimensão dos dados, como regressões múltiplas, onde temos combinações lineares das variáveis independentes que mais bem predizem as variáveis dependentes; em correlação canônica, temos combinações lineares de um subconjunto de variáveis que maximiza a correlação com combinações lineares de outro subconjunto de variáveis; e análise de discriminante que envolve combinações lineares que maximiza a separação em grupos de dados.

Entretanto o mais 'popular' dos métodos estatísticos para redução da dimensão de um grande número de dados é o método de Karhunen - Loeve (K-L), também conhecido como Análise de Componentes Principais [8].

A análise de componentes principais nada mais é que o cálculo dos autovalores e correspondentes autovetores de uma matriz de variâncias - covariâncias ou de uma matriz de coeficientes de correlação entre variáveis. Quando as variáveis, devido a escalas diferentes de mensurações empregadas, não podem ser diretamente comparadas, torna-se necessário preliminarmente a padronização, de modo que as variáveis transformadas passem a ter média zero e variância unitária, o que é conseguido pela transformação "z". Nesses casos, com variáveis padronizadas, a matriz de variâncias - covariâncias e a de coeficientes de correlação tornam-se idênticas. Como tal padronização acarreta uma forte influência na estrutura da matriz de variâncias - covariâncias e, conseqüentemente, nos resultados da análise, a sua utilização deve ser criteriosa levando sempre em conta a natureza dos dados em estudo e o enfoque que se pretende dar.

A análise dos componentes principais consiste numa transformação linear de "m" variáveis originais em "m" novas variáveis, de tal modo que a primeira nova variável computada seja responsável pela maior variação possível existente no conjunto de dados, a segunda pela maior variação possível restante e assim por diante até que toda a variação do conjunto tenha sido explicada.

Para melhor entendimento do leitor fazemos primeiramente uma introdução didática.

Considere a observação de duas variáveis durante um certo número de instantes ou amostras e a sua representação no plano.

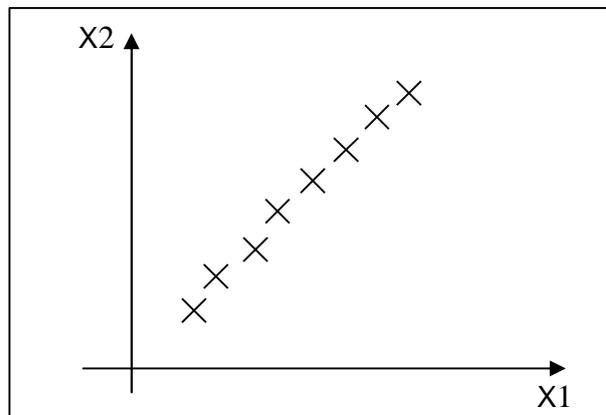


Figura 3.1 – Representação de oito amostras de duas variáveis x_1 e x_2 .

As duas variáveis no gráfico da figura 3.1 parecem ser altamente correlacionadas, uma vez que x_1 é praticamente igual a x_2 , o que significa que observar uma ou outra é praticamente equivalente. Em outras palavras, não obtemos mais informação ao registrar valores de ambas as variáveis. Sendo assim, a informação pode ser condensada utilizando um só eixo, que corresponderia a reta $x_1 = x_2$ na figura 3.1. Neste novo eixo, as coordenadas dos pontos pode ser calculados pela fórmula:

$$x_p = \sqrt{x_1^2 + x_2^2}$$

Como $x_1 \cong x_2$, $x_p \cong 2x_1$, tendo-se conseguido uma redução de uma dimensão (veja figura 3.2).

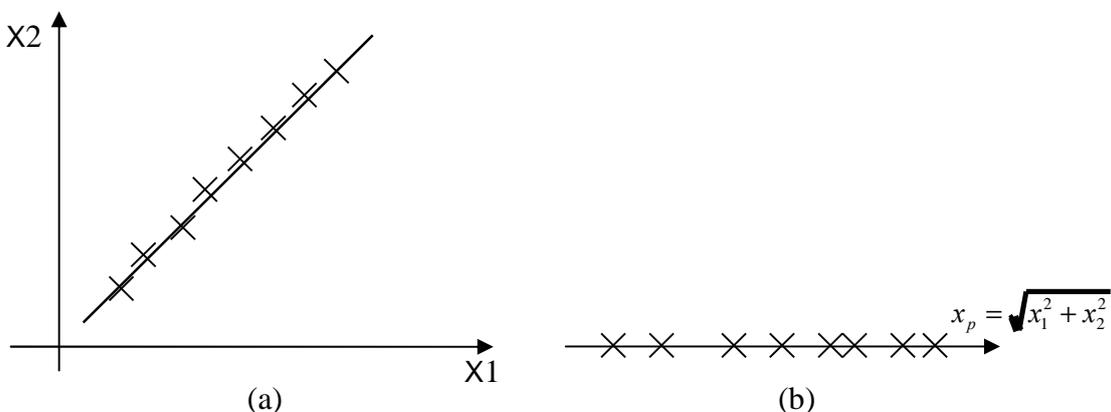


Figura 3.2 – (a) A reta $x_1 = x_2$ é a direção do primeiro componente principal; (b) Os dados originais, projetados no eixo do primeiro componente principal.

Vamos considerar uma situação semelhante, porém onde as variáveis x_1 e x_2 não são perfeitamente correlacionadas. (veja figura 3.3)

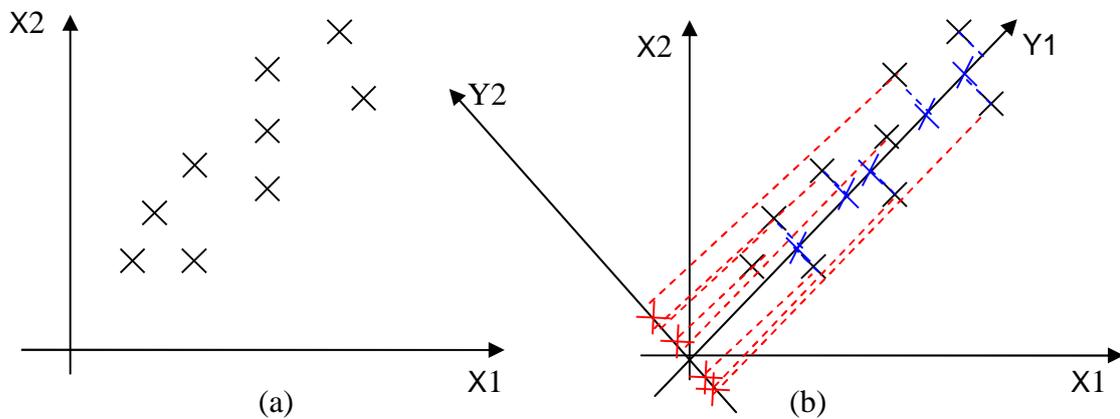


Figura 3.3 – (a) Dados originais nas coordenadas x_1 e x_2 ; (b) Os eixos dos componentes principais y_1 e y_2 .

Podemos calcular uma mudança de eixos ou coordenadas de modo que a primeira coordenada nova seja responsável pela maior variação ou dispersão possível existente no conjunto de dados, a segunda coordenada pela maior variação restante e assim por diante, no caso geral quando há n variáveis.

No caso exemplificado na figura 3.3, podemos constatar (figura 3.4) que, de fato, o eixo y_1 , do primeiro componente principal, “explica” ou “contém” a maior variação dos dados, ao passo que a variação “contida” ou explicada no eixo y_2 é muito menor.

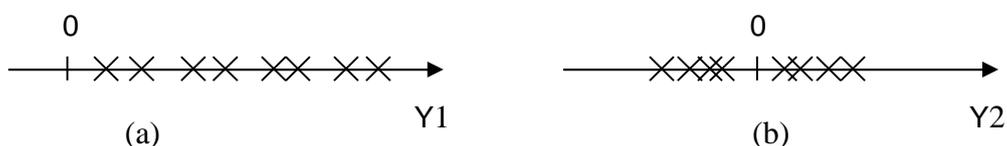


Figura 3.4 –Dados projetados nos dois eixos principais: (a) Primeiro componente principal “contendo”ou “explicando” a maior parte da variação nos dados; (b) Segundo componente principal, contendo a menor parte da variação nos dados.

A partir deste dois exemplos, podemos generalizar para o caso de n amostras em p variáveis.

A análise das componentes principais é, portanto, uma técnica de transformação de variáveis. Se cada variável medida pode ser considerada como um eixo de variabilidade, estando usualmente correlacionada com outras variáveis, esta análise transforma os dados de tal modo a descrever a mesma variabilidade total existente, com o mesmo número de eixos originais, porém não mais correlacionados entre si. Graficamente pode ser descrita como a rotação de pontos existentes num espaço multidimensional originando eixos, ou componentes principais, que dispostos num espaço de duas dimensões representem variabilidade suficiente que possa indicar algum padrão a ser interpretado.

A análise das componentes principais inicia-se com o cálculo dos autovalores e correspondentes autovetores de uma matriz de variâncias - covariâncias ou de correlações entre variáveis e tal procedimento é conhecido como modo "R". O primeiro autovalor a ser determinado corresponderá à maior porcentagem da variabilidade total presente e assim sucessivamente. Geralmente os dois ou três primeiros autovetores encontrados explicarão a maior parte da variabilidade presente. Quando o primeiro autovetor já explicou 90 a 95% da variabilidade isso deve ser encarado com cuidado e verificado se não estão presentes variáveis com valores de magnitudes muito maiores que as demais.

Os autovetores correspondem às componentes principais e são o resultado do carregamento das variáveis originais em cada um deles. Tais carregamentos podem ser considerados como uma medida da relativa importância de cada variável em relação às componentes principais e os respectivos sinais, se positivos ou negativos, indicam relações diretamente e inversamente proporcionais.

A matriz de carregamentos de cada variável nas componentes principais ao ser multiplicada pela matriz original de dados fornecerá a matriz de contagens (*scores*) de cada caso em relação às componentes principais. Esses valores poderão então ser dispostos num diagrama de dispersão, em que os eixos são as duas componentes mais importantes, e mostrar o relacionamento entre os casos condicionados pelas variáveis medidas.

A primeira matriz obtida, resultado das inter-relações entre variáveis pode ser interpretada como um procedimento estatístico no qual os dados seriam amostras de populações multidimensionais.

3.1.1 A seqüência de cálculos

Se A for uma matriz simétrica de variâncias e covariâncias $S = X^T X$, de dimensões $p \times p$, com termos a_{ij} , de onde os autovalores e os autovetores serão extraídos, V_i o i 'ésimo autovetor, cujos termos são v_{ij} e λ_i , o i 'ésimo autovalor, tal relação pode ser expressa por

$$(A - \lambda_i I)V_i = 0,$$

onde I é a matriz de identidade.

Alternativamente a relação acima pode ser escrita por

$$AV_i = V_i \lambda_i, \text{ ou, } [A][V] = [V][\Lambda], \text{ onde}$$

$[V]$ é uma matriz, $p \times p$, de todos os autovetores e

$[\Lambda]$ é uma matriz, $p \times p$, com os autovalores na diagonal principal.

Multiplicando ambos os lados da equação pela transposta de $[V]$, $[V]^T$

$$[A] = [V][\Lambda][V]^T$$

A soma dos autovalores é igual à soma dos termos da diagonal em $[A]$, ou seja, a soma das variâncias

$$\sum \lambda_i = \sum a_{ii}$$

e por definição $\lambda_1 \geq \lambda_2 \dots \geq \lambda_p$

Resolvendo a equação acima para λ , as raízes determinadas serão os autovalores. Encontrados os autovalores, substituindo-os nas equações simultâneas e

resolvendo-as, obtêm-se para cada autovalor, autovetores correspondentes, ou seja, as componentes principais.

Pode-se definir a variância total existente em um conjunto de dados multivariadas pela soma das variâncias de cada uma das variáveis. Numa matriz de variâncias - covariâncias essas variâncias individuais constituem os elementos da diagonal principal. Basta somá-los, portanto, encontrando o traço da matriz para se obter a variabilidade total, e em seguida a contribuição de cada variável. A soma dos autovalores de uma matriz, igual ao traço dessa matriz, representa também a variabilidade total da mesma e a contribuição de cada autovalor em termos de variabilidade é determinada. Ao primeiro corresponderá a maior variabilidade possível existente, ao segundo a maior variabilidade possível restante e assim por diante.

Em termos geométricos, o primeiro autovalor representa o eixo principal de maior comprimento; o segundo autovalor, um segundo vetor em comprimento, situado em posição ortogonal em relação ao primeiro e assim sucessivamente.

Os elementos de cada um dos autovetores encontrados são simplesmente coeficientes de equações lineares que transformam os dados originais em contagens indicativas do respectivo carregamento sobre os eixos correspondentes. Desse modo, utilizando-se da multiplicação da matriz de dados originais pela matriz de autovetores, obtém-se uma matriz de dados transformados que representam projeções dos pontos, num espaço multidimensional, sobre as diversas componentes principais.

$$[S^R] = [X][V], \text{ onde}$$

$$[X] = \text{matriz de dados originais [n x m]}$$

$$[V] = \text{matriz quadrada [m x m] contendo os autovetores}$$

$$[S^R] = \text{matriz [n x m] das contagens sobre as componentes principais.}$$

3.1.2 Monitorando a qualidade dos produtos com componentes principais

A preocupação com a qualidade dos produtos e serviços fornecidos ao cliente seja por uma empresa de bens tangíveis quanto por uma empresa de serviços, é evidente nos dias atuais, pois a busca incessante pela melhoria contínua nos processos é a grande diferença competitiva, já que o lucro encontra-se hoje, na capacidade que cada uma tem em reduzir seus custos operacionais sem comprometer a qualidade [12].

Imagine-se em uma fábrica que, no final de cada dia de trabalho, inspeciona uma amostra de 100 peças para avaliar o número de não-conformes. Fica então fácil observar como esse característico de qualidade varia ao longo do tempo. Para isso é comum utilizar um gráfico de controle.

O gráfico de controle típico é uma análise univariada que exhibe três linhas paralelas: a central, que representa o valor médio do característico de qualidade; a superior, que representa o limite superior de controle (LSC); e a inferior, que representa o limite inferior de controle (LIC). Os pontos representam amostras tomadas em momentos diferentes. É usual unir os pontos por segmentos de reta, para melhor visualizar a evolução do característico de qualidade ao longo do tempo. Veja o gráfico da figura 3.2:

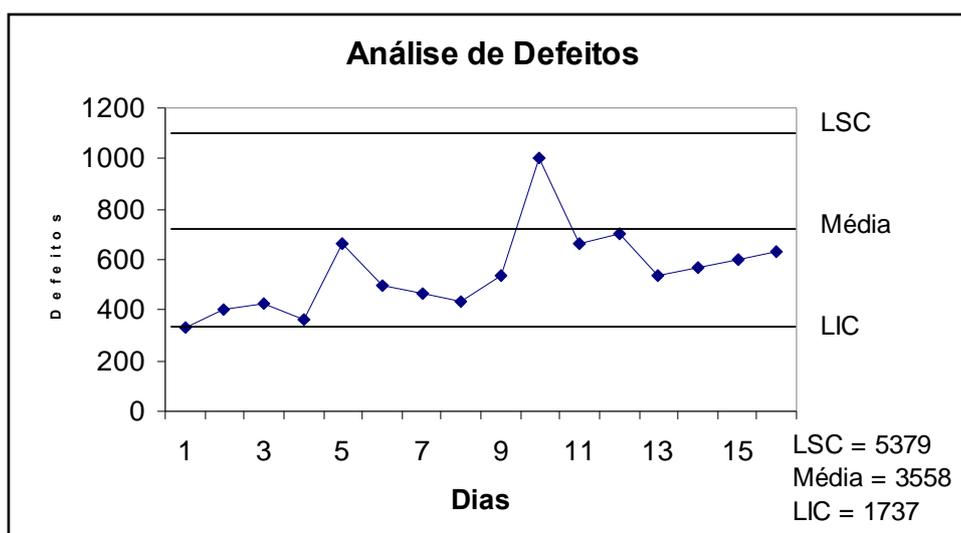


Figura 3.2 – Gráfico de controle para análise de defeitos ao longo de 15 dias.

Os limites superior e inferior de controle são calculados conforme formulas abaixo:

$$LSC = x + \sqrt{s},$$

e

$$LIC = x - \sqrt{s},$$

onde x é a média aritmética das amostras feitas e s é o desvio padrão.

Os gráficos de controle mostram o desempenho do processo. Entende-se que o processo está “sob controle” se:

- a) todos os pontos do gráfico estão dentro dos limites de controle;
- b) a disposição dos pontos dentro dos limites de controle é aleatória.

Um ou mais pontos fora dos limites de controle ou em disposição não aleatória indicam que o processo está “fora de controle”. São padrões típicos de comportamento não-aleatório.

- a) periodicidade, isto é, “subidas” e “descidas” em intervalos regulares de tempo;
- b) tendência, isto é, os pontos se direcionam nitidamente para cima, ou para baixo e
- c) deslocamento, isto é, mudança no nível de desempenho do processo.

Contudo o gráfico de controle, acima descrito, leva em consideração somente uma variável, o que muitas vezes não é suficiente para definir se um processo está ou não sob controle.

3.2 Implementação dos testes

Conforme descrito no capítulo 2, os dados são armazenados em um servidor de banco de dados Oracle ou Informix, dentro de uma estrutura de dados ou tabelas própria do sistema de gestão INJET.

Durante a coleta e armazenagem dos parâmetros no sistema de gestão, podem ocorrer diversos problemas, tais como de armazenamento no banco de dados em razão de falhas na comunicação entre o CLP e o PC Mestre consolidador, a máquina injetora pode estar parada para troca de produto, a máquina pode estar em processo de ajuste para o início da produção ou até mesmo ter sido desligada. Nesses casos os dados não serão considerados para o estudo, por se tratar de situações adversas do processo e que não conseguiríamos ter um padrão, devido à adversidade dos possíveis problemas [11].

Dessa forma, durante a extração da informação do banco de dados é feito um tratamento para que dados inválidos sejam retirados evitando que esses *outliers* gerem resultados e análises inconsistentes. A seqüência em diagrama de blocos com a extração, filtro e análise dos dados dos parâmetros de regulagem e refugos são descritos no fluxograma da figura 3.4.

Diagrama de blocos da metodologia de análise proposta

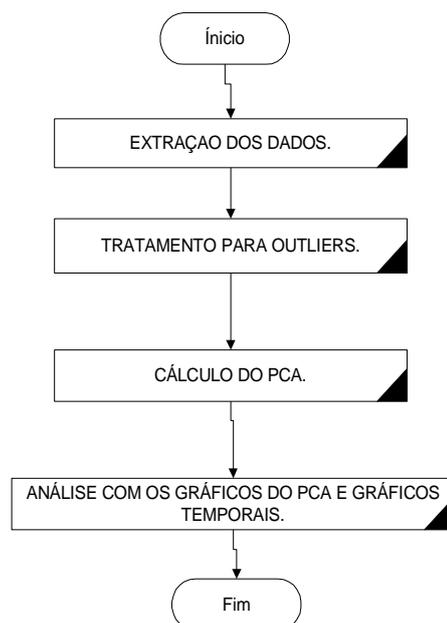


Figura 3.4 – Fluxograma com a seqüência de análise adotada.

Para os testes com o PCA, constatou-se a necessidade da criação de um aplicativo em Visual Basic (Figura 3.6) obedecendo às regras do fluxograma na figura 3.5, no qual são definidos os filtros máquina - molde e itens a serem analisados, para que seja feita a leitura dos dados no sistema de gestão e gerados dois arquivos no formato texto com separador de ponto-e-vírgula ou de forma tabulada: um, com os valores dos parâmetros lidos (Tabela 3.1) e outro, com as informações de refugos (Tabela 3.2).

O formato do arquivo gerado será igual ao da tabela 3.1, onde o separador de campos será '\t' ou TAB, pois o MATLAB possui funções que convertem esse formato de arquivo para uma matriz, que pode ser utilizada nos cálculos.

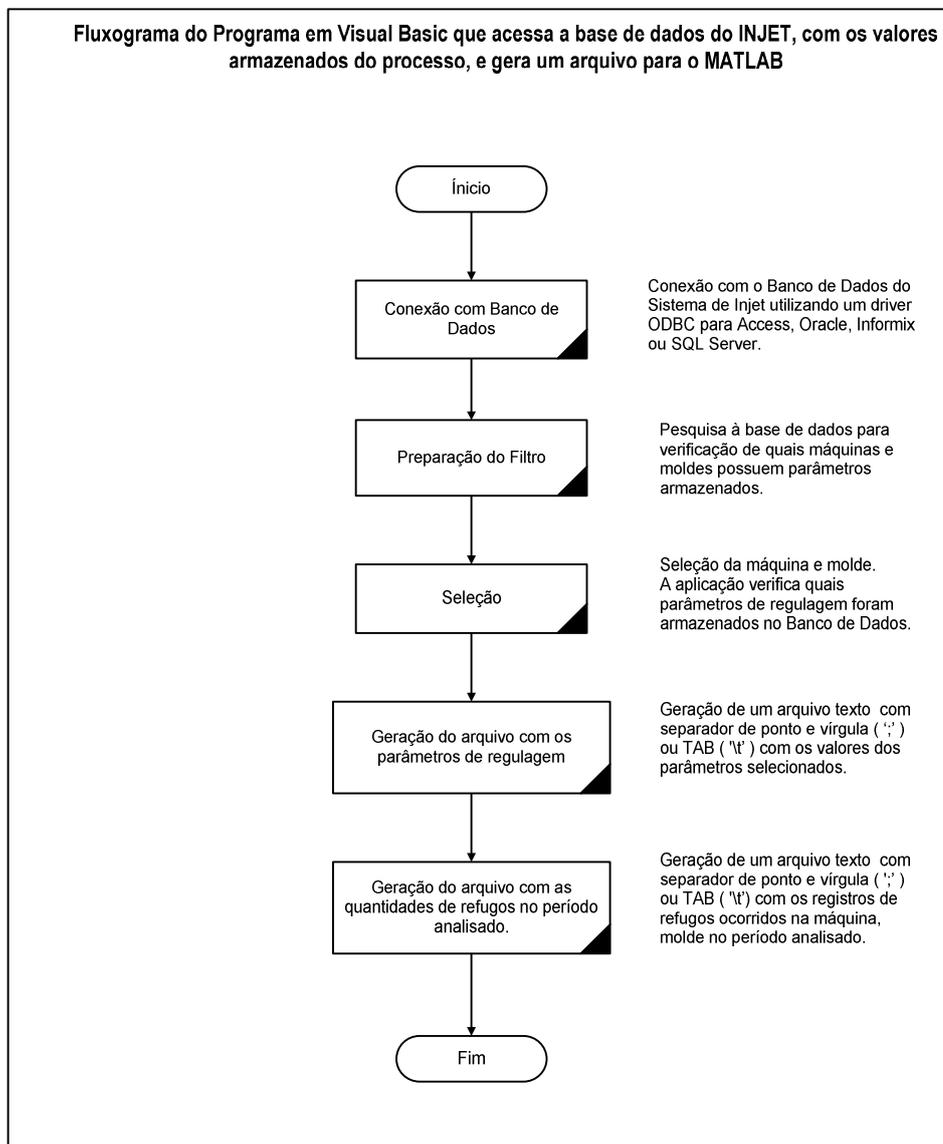


Figura 3.5 – Fluxograma da aplicação em Visual Basic que extrai os dados do banco de dados do INJET.

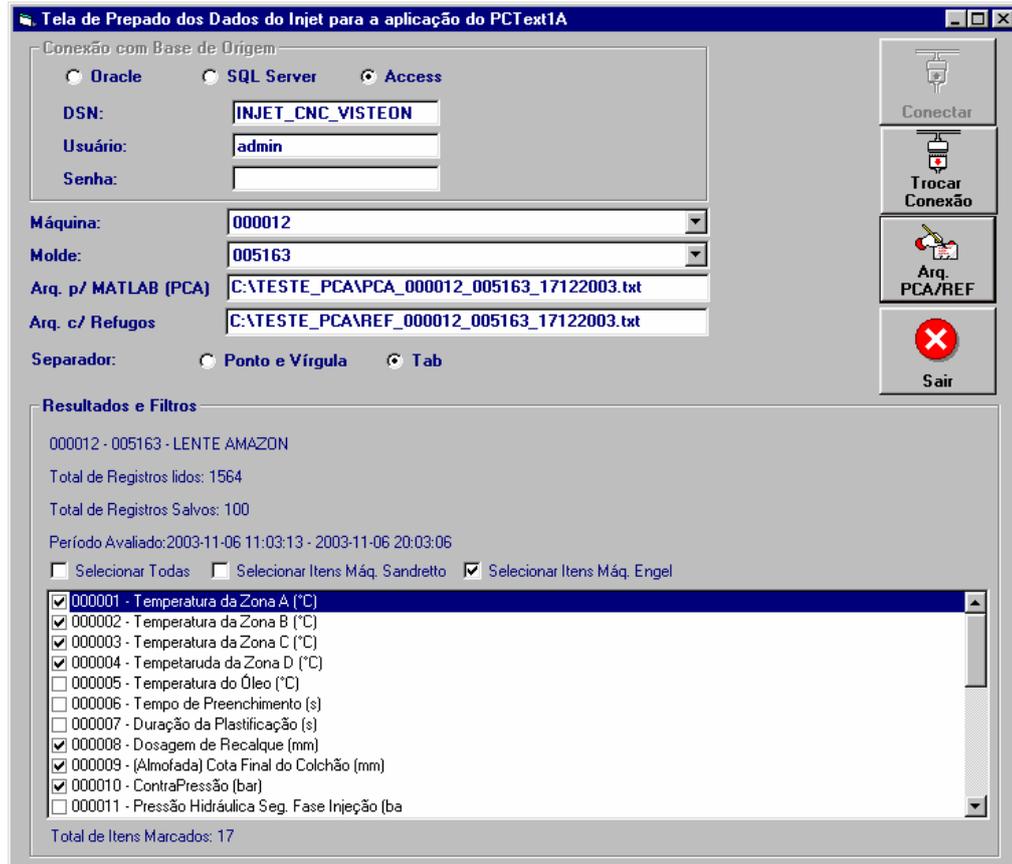


Figura 3.6 – Aplicação que se conecta ao banco de dados e gera o arquivo para o PCA.

Na figura 3.6 temos a aplicação que extrai os parâmetros de regulação e refugos do banco de dados do INJET. Nesta aplicação são selecionados a máquina injetora, o molde e modelo da injetora. Com essas definições a aplicação acessa a base do Sistema INJET e salva as informações dos parâmetros selecionados e refugos, no período analisado, em dois arquivos no formato texto que serão posteriormente submetidos a uma aplicação em MATLAB para o cálculo do PCA.

Observe na figura 3.6 que nem todos os parâmetros estão marcados, somente os da máquina ENGEL, e os dados analisados serão no período compreendido entre 06/11/2003 às 11:03:13 até 20:03:06, o que equivale a um período de nove horas de produção.

Item	000001	000002	000003	000004	000008	000009	000010	000022
Dados	249.6	245	240	235	61	14.2	9.1	276.7
	249.6	245	240	235	61	14.2	9.1	276.7
	249.6	245	240	235	61	14.2	9.1	276.7

Tabela 3.1 – Estrutura do arquivo com os parâmetros gerados pela aplicação em Visual Basic.

O segundo arquivo gerado será com os dados de refugos, dentro do período analisado. O formato desse arquivo é descrito na tabela 3.2.

Data e Hora	Código do Refugo	Quantidade Registrada
2003-11-06 13:00:09	000903	15
2003-11-06 14:18:48	000906	35
2003-11-06 14:19:48	000920	15
2003-11-06 15:09:49	000906	12

Tabela 3.2 – Estrutura do arquivo com os refugos gerados pela aplicação em Visual Basic.

De posse desse arquivo escreveu-se uma função em MATLAB que calcula a matriz de covariância S_{pp} e extraem-se os componentes principais (Apêndice 2). Essa função, com os passos para o cálculo do PCA, é representada pelo fluxograma descrito na figura 3.7:

Para a análise dos componentes principais foi utilizada a metodologia apresentada no artigo de F. Z. Chen e X. Z. Wang [5], no qual a técnica do PCA foi utilizada para descobrir *clusters* em função de parâmetros de temperatura, pressão e velocidade, que caracterizassem um determinado produto em um planta química.

Fluxograma do Programa no MATLAB que calcula os componentes principais

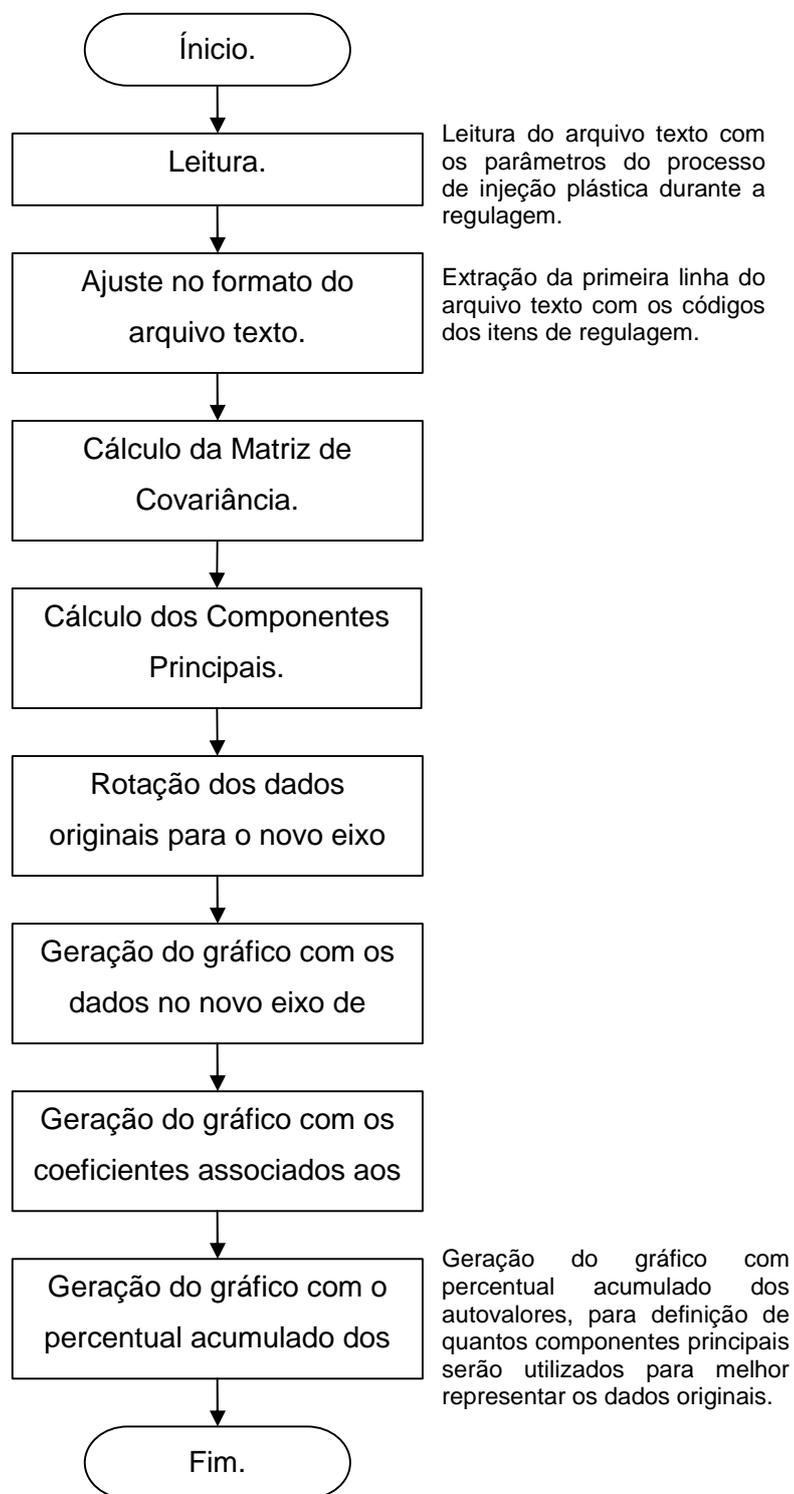


Figura 3.7 – Fluxograma da aplicação em MATLAB que calcula o PCA.

Outro material utilizado para as pesquisa e definição da metodologia, foi a página da Internet da empresa de origem neozelandesa NeuCom, que desenvolveu uma aplicação em MATLAB que exibe os gráficos resultantes do cálculo do PCA que podem ser utilizados como ferramenta de apoio a tomada de decisão, conforme figura 3.8 e site (www.aut.ac.nz/research_showcase/research_activity_areas/kedri/neucom/).

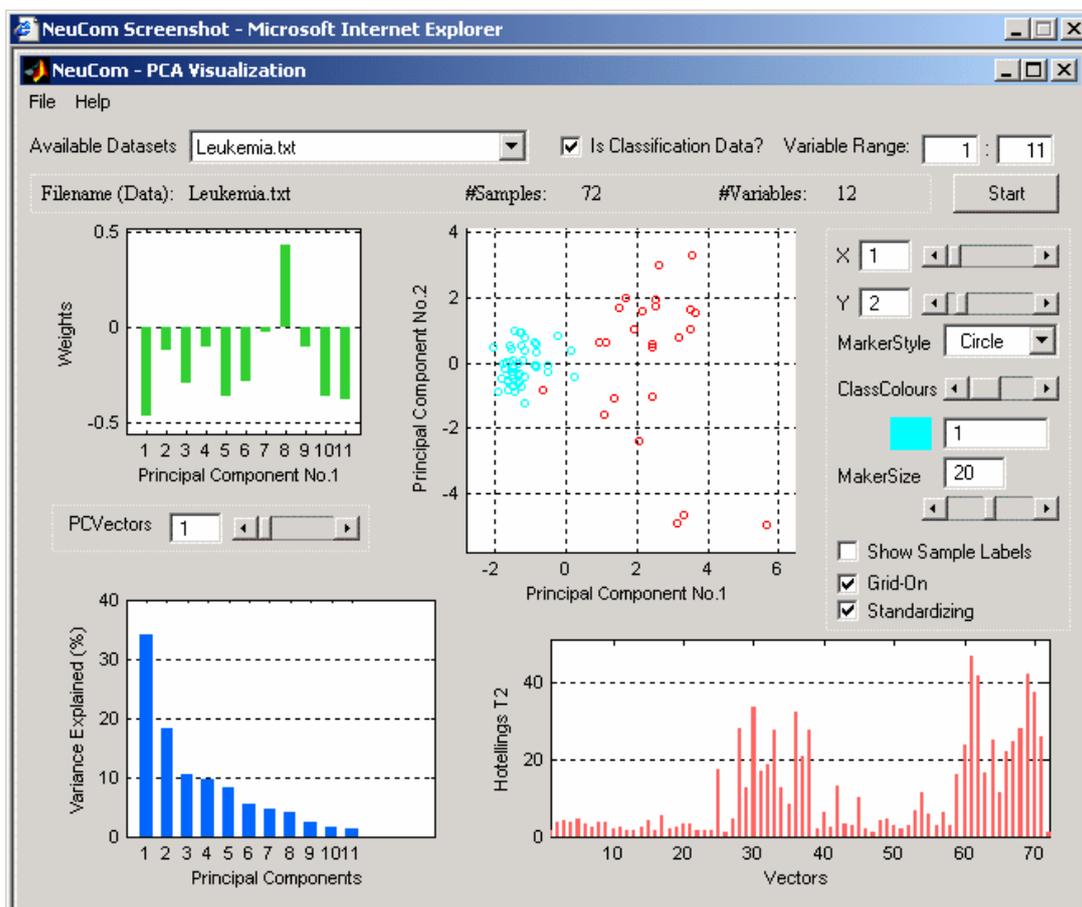


Figura 3.8 – Sistema de apoio à tomada de decisão desenvolvida pela NeuCom.

Com os componentes principais calculados, quatro gráficos são utilizados para análise dos resultados, sendo assim passamos a explicá-los:

1 – Gráfico de PC1 versus PC2 da figura 3.9: confrontam-se dois componentes principais a fim de verificar a criação de grupos de dados para futuras análises.

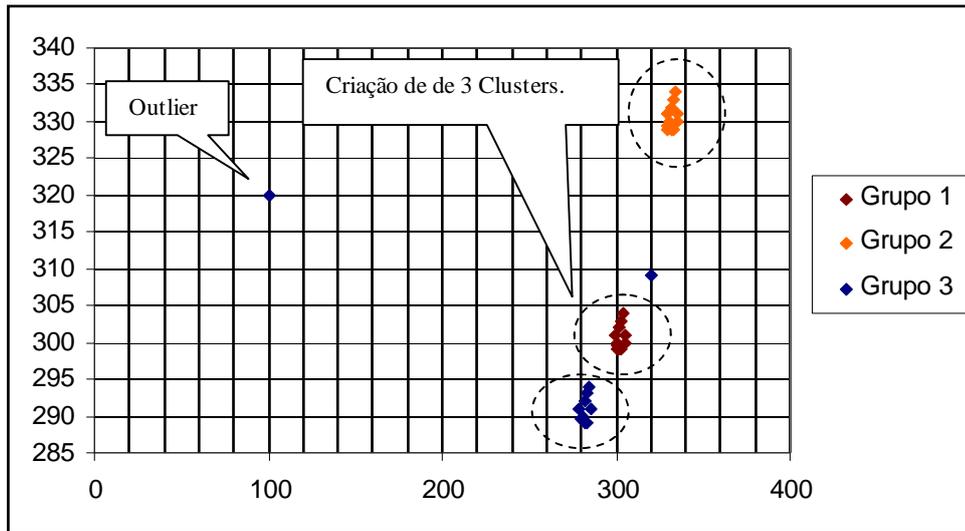


Figura 3.9 – Gráfico com os dados originais no novo eixo de coordenadas.

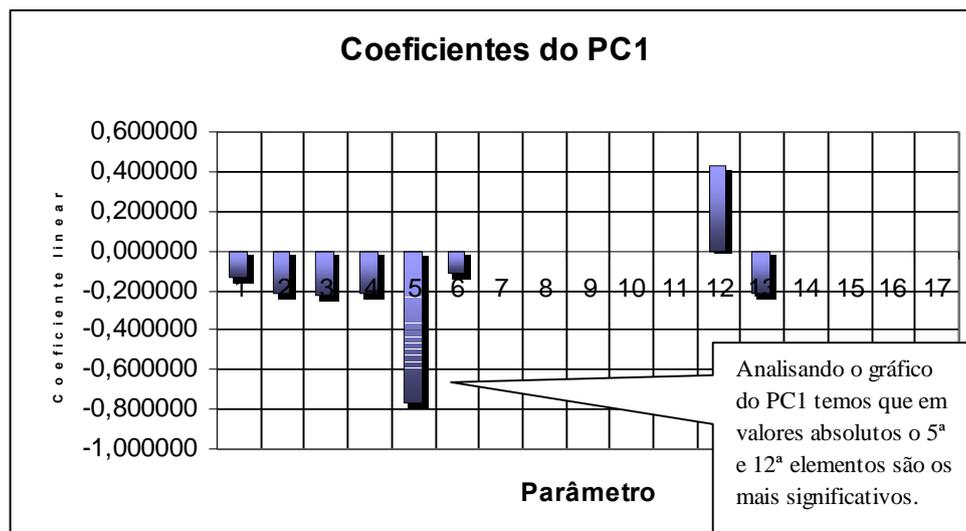


Figura 3.10 – Gráfico com os coeficiente lineares do componente principal 1.

2 – Gráfico de Parâmetros versus PC1 da figura 3.10: são os coeficientes do auto-vetor PC1 que analisa-se o impacto de cada parâmetro lido da máquina durante a regulagem, em função do componente principal 1.

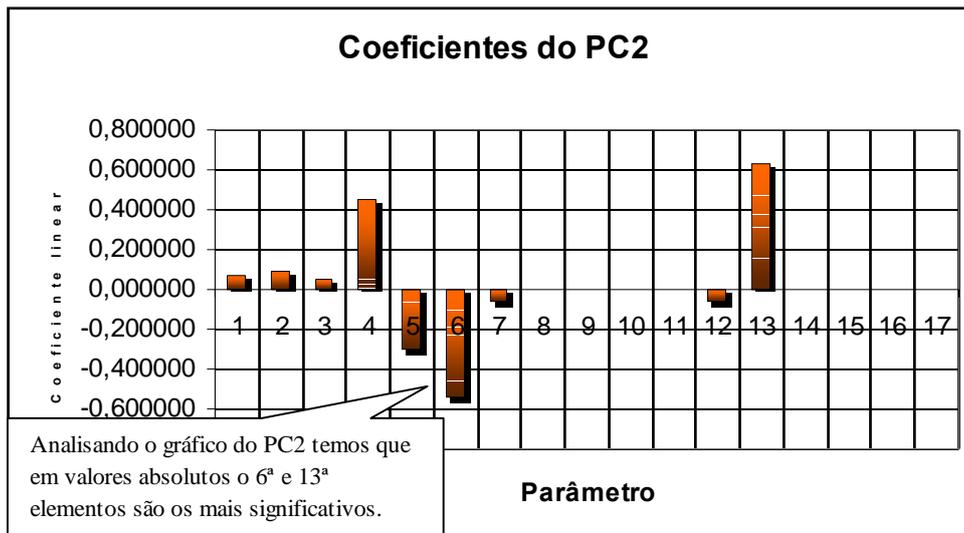


Figura 3.11 – Gráfico com os coeficiente lineares do componente principal 2.

3 – Gráfico de Parâmetros versus PC2 da figura 3.11: são os coeficientes do auto-vetor PC2 que analisa-se o impacto de cada parâmetro lido da máquina durante a regulagem, em função do componente principal 2.

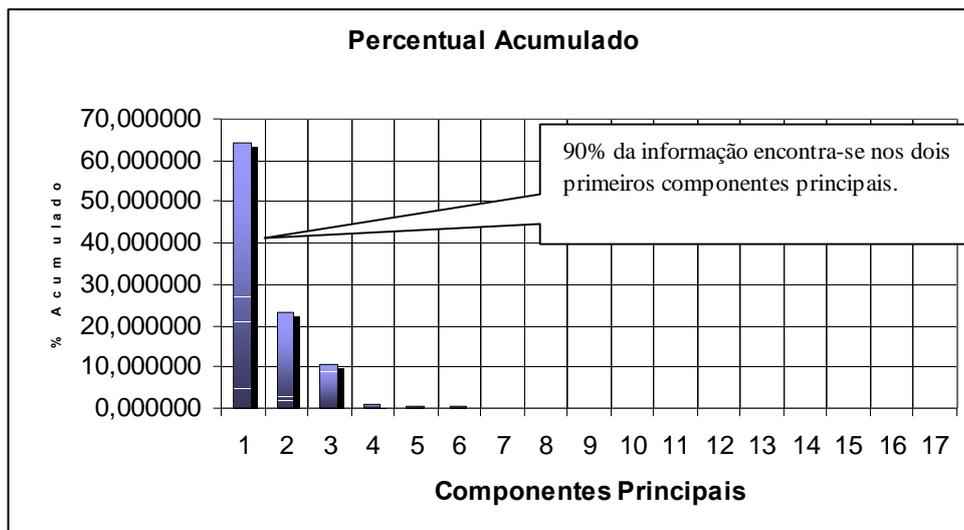


Figura 3.12 – Gráfico com o percentual dos componentes principais.

4 – Gráfico da figura 3.12 apresenta o percentual acumulado dos autovalores ao longo dos componentes principais: define a quantidade de componentes principais que serão utilizados.

Na figura 3.13 temos o diagrama detalhado com toda a seqüência de operações relativas à metodologia proposta para análise utilizando o PCA nos parâmetros de regulação do processo de injeção plástica:

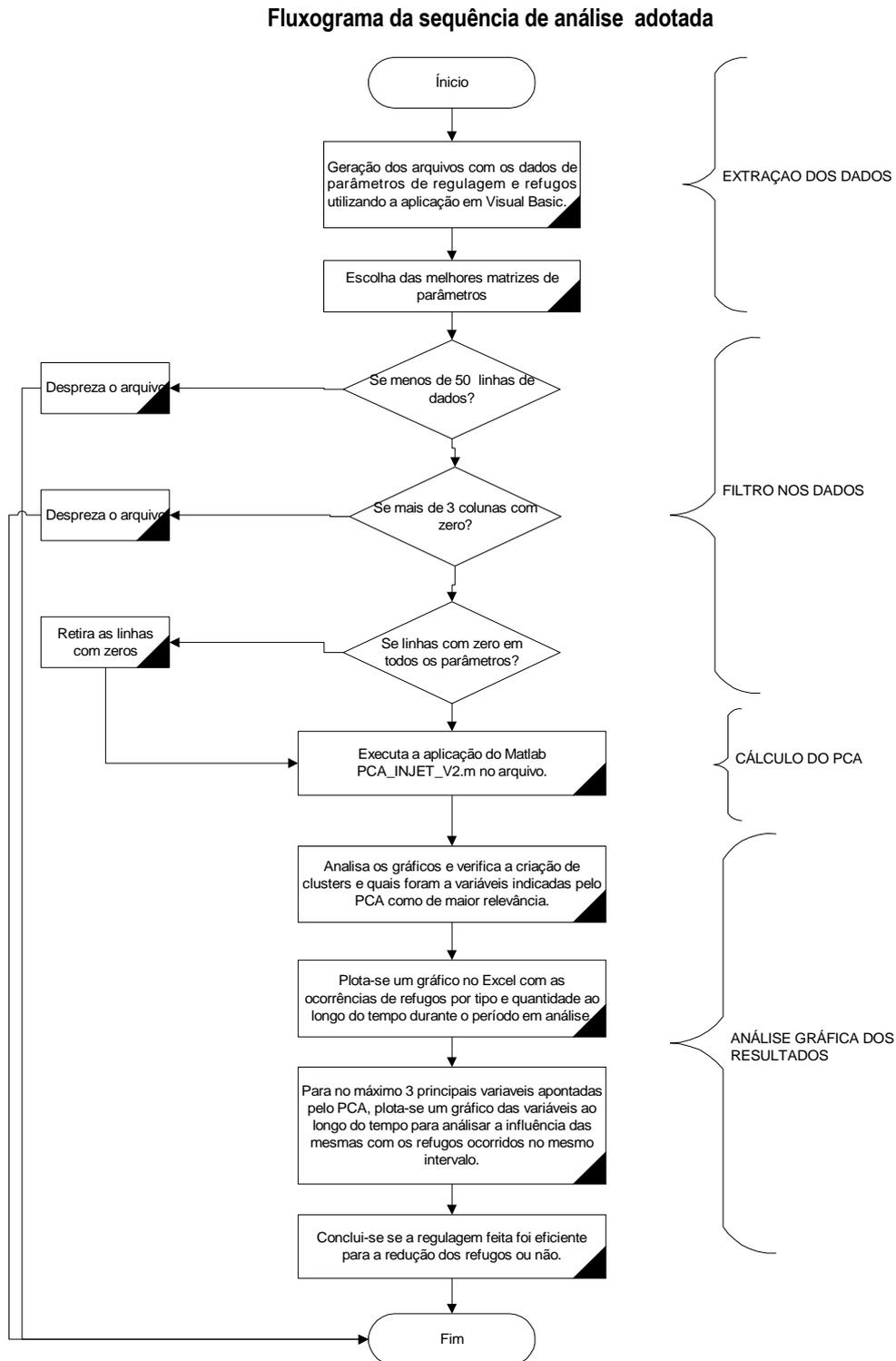


Figura 3.13 – Fluxograma detalhado com a seqüência de análise adotada.

Neste capítulo, descreveu-se a técnica de Análise por Componentes Principais, salientando os seus benefícios para a redução da dimensão de dados em análise multivariada e como ferramenta de apoio à tomada de decisão. Abordou-se também a extração dos dados de parâmetros de regulação armazenada na base do sistema de gestão INJET na qual uma aplicação que, além de extrair, filtra *outliers* gerando dois arquivos no formato texto. E, finalmente, foi descrito por meio de equações e gráficos, a técnica do PCA com o fluxograma do algoritmo da aplicação escrita em MATLAB, que calcula efetivamente o PCA, servindo como base para análises subseqüentes.

Capítulo 4

Resultados experimentais

Neste capítulo, são apresentados os resultados experimentais, da metodologia aplicada, com base nas informações dos dados de parâmetros coletados de duas empresas que possuem máquinas injetoras de termoplástico. Trataremos, ainda nesse capítulo, a importância econômica de uma regulação feita de forma eficiente e eficaz, para produtividade do processo como um todo.

Nesses dois estudos de caso, o primeiro em uma empresa do segmento automotivo e o segundo do segmento de eletroeletrônicos, será possível verificar períodos nos quais o índice de rejeitos é expressivo em função de uma regulação inadequada, e que, depois de algumas tentativas, o regulador estabiliza o processo, reduzindo o índice de refugos na máquina injetora.

4.1 Empresa do segmento automotivo

Neste caso, os dados analisados são de uma empresa do segmento automotivo, VISTEON unidade Guarulhos, que possui o sistema de gestão da produção instalado em doze máquinas de injeção plástica, no qual apenas nove estão

com o módulo de coleta de parâmetros em operação. Dentre as nove máquinas, foi selecionada uma na qual o índice de refugo estivesse crítico dentro do período analisado e houvesse, um regulador tentando ajustar os parâmetros do processo de forma adequada.

Observa-se neste caso, como um índice elevado de refugo pode ser reduzido com uma regulação adequada e, em um segundo passo, veremos que a busca por produtividade pode levar o regulador a cometer erros nos ajustes feitos de forma empírica, que apesar de visar à melhoria do tempo de produção, compromete novamente a qualidade da peça ao gerar novamente rejeitos.

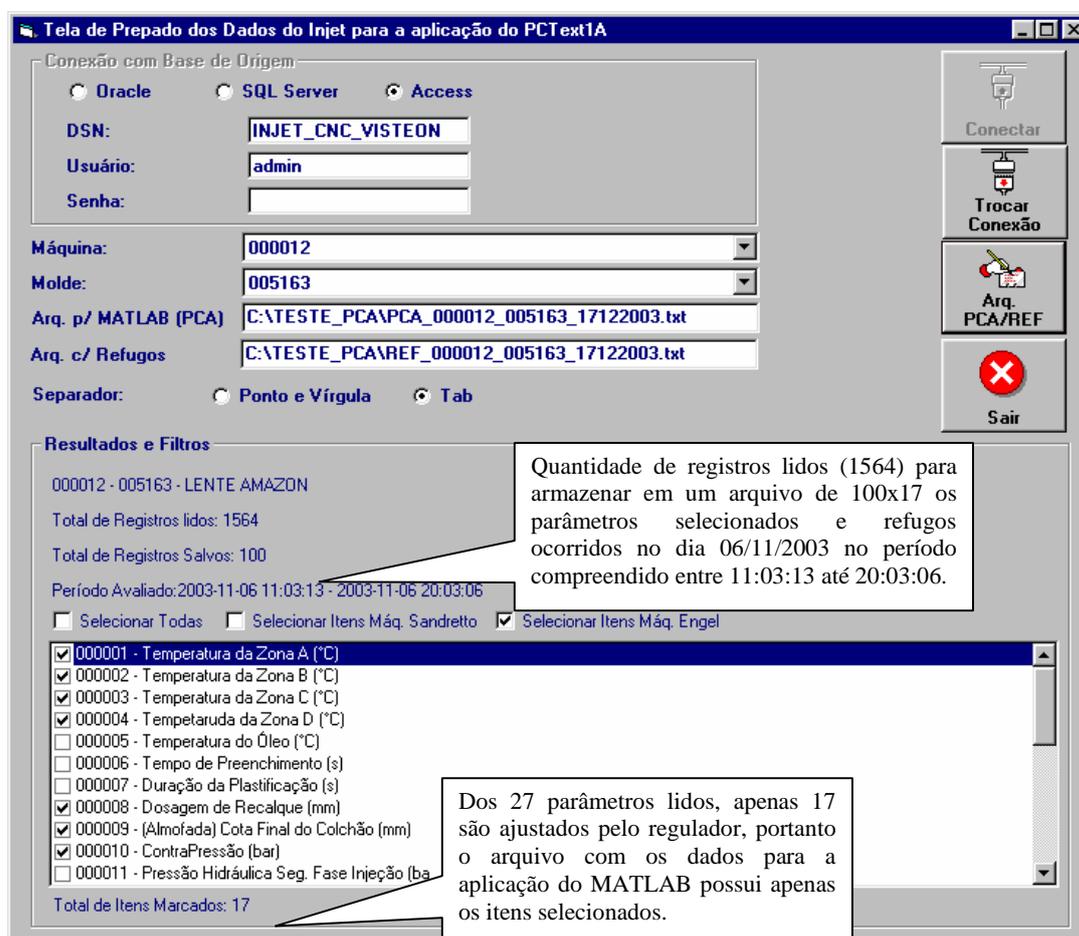


Figura 4.1 – Aplicação que converte os dados do sistema de gestão para o formato MATLAB.

A primeira etapa da atividade limita-se à extração dos dados de parâmetros de ajustes armazenados pelo sistema de gestão, sendo, portanto, necessária à utilização da aplicação em Visual Basic que converte esse dado para um formato texto, conforme descrito no capítulo 3. De posse dos dados no formato texto, esse é

submetido a uma aplicação desenvolvida no MATLAB que efetivamente calcula o PCA.

Nesta aplicação, são selecionados a máquina, o molde e os dezessete parâmetros (modelo de máquina ENGEL) utilizados para ajuste dentre os vinte e sete possíveis. Nesse experimento os registros foram lidos na base de dados em um período compreendido de 11:03:13 até 20:03:06 totalizando 1564 registros dos 17 parâmetros. É também definido o formato do arquivo de saída da aplicação, sendo escolhido na forma tabulada. Além dos parâmetros, a aplicação exporta para um arquivo no formato texto as informações de refugos durante o período analisado (Figura 4.1).

De posse do arquivo com os valores dos parâmetros coletados do processo, a aplicação desenvolvida em MATLAB é executada analisando, segundo o fluxograma no capítulo 3, os dados exportados e gerando, por conseguinte, o gráfico da figura 4.2, que representa os dados originais em um novo eixo de coordenadas, definidos por PC1 e PC2.

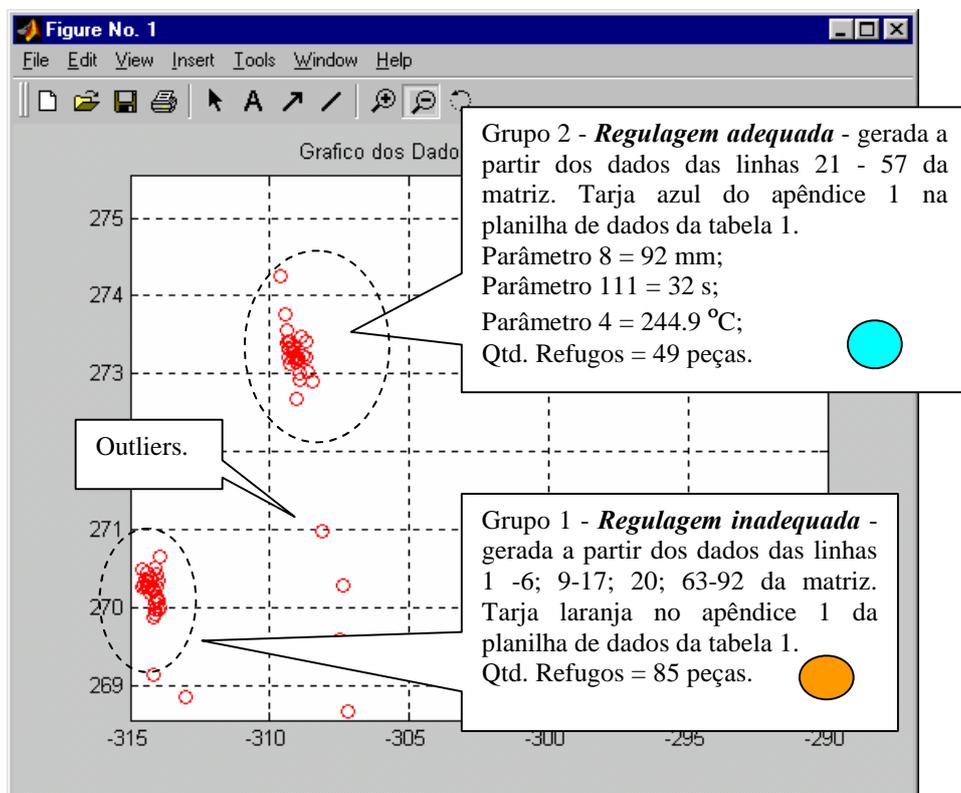


Figura 4.2 – Gráfico do PCA com os clusters das regulagens.

Este plano representa o resultado da orientação e direção da máxima variância observada nos parâmetros analisados, visualizando assim a criação de dois grupos ou *clusters* distintos que com base nos gráficos seguintes, entenderemos como foram originados.

Analisando o gráfico da figura 4.2, percebe-se a criação de dois *clusters* ou grupos: Grupo 1 originado das linhas 1-6, 9-17, 20, 63-92 da matriz dos dados originais representada nos eixos de principal componente 1 e 2, e o Grupo 2, originado das linhas 21-57 dessa mesma matriz, contudo neste ponto ainda não é possível definir o significado do mesmo para o processo de regulação, para tanto teremos que analisar o comportamento dos parâmetros indicados pela técnica do PCA ao longo do tempo.

O grupo 1 possui dados que foram coletados praticamente em dois intervalos: 06/11/2003 12:59:27 até 06/11/2003 15:20:06 e 06/11/2003 19:12:36 até 06/11/2003 20:03:03. Enquanto que o grupo 2 possui dados coletados entre 06/11/2003 15:25:27 até 06/11/2003 18:42:59. Essa informação será importante quando estivermos analisando o comportamento dos parâmetros principais no tempo.

A aplicação em MATLAB exibe também dois gráficos nos quais podemos observar a influência dos parâmetros originais nos dois componentes principais PC1 e PC2. As variáveis que possuem o coeficiente mais significativo serão analisadas posteriormente em gráficos temporais, para que possamos verificar a sua influência no índice de rejeitos registrado no sistema de gestão.

No gráfico da figura 4.3 temos o vetor PC1 com os seus coeficientes ou pesos para os 17 parâmetros de regulação. Neste gráfico observa-se que o 5º e o 12º item possuem dois coeficientes significativos, sendo eles os parâmetros com código '000008' (Dosagem de Recalque) e o código '000111' (Duração do resfriamento) respectivamente. Sendo assim extrairemos do banco de dados do sistema de gestão INJET as 100 amostras armazenadas para esses dois parâmetros, para que posteriormente analisemos em gráficos temporais o comportamento desses parâmetros.

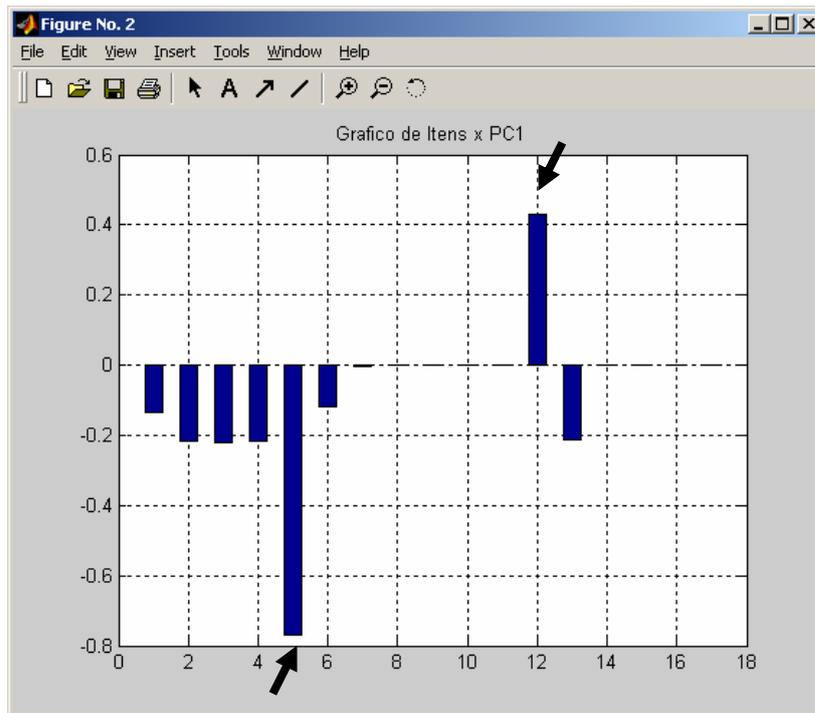


Figura 4.3 – Gráfico dos coeficientes lineares que compõem o PC1.

No gráfico da figura 4.4 temos o vetor PC2 com os seus coeficientes no qual observa-se que o 6º e o 13º item possuem um coeficiente significativo, sendo eles os parâmetros sob o código '000009' (Cota Final do Colchão) e código '000121' (Temperatura Zona E) respectivamente. Dessa forma extrairemos as 100 amostras dessas duas variáveis para análises em gráficos temporais.

No gráfico da figura 4.5 temos a contribuição que cada componente principal possui para a recuperação da informação. Como podemos observar, no gráfico da figura 4.5 o primeiro componente principal possui aproximadamente 93% da informação contida sobre os dados originais. Isso significa que, das dezessete variáveis originais, os parâmetros com maior coeficiente no PC1 são as que iremos analisar por serem elas as de maior variância na etapa de regulagem.

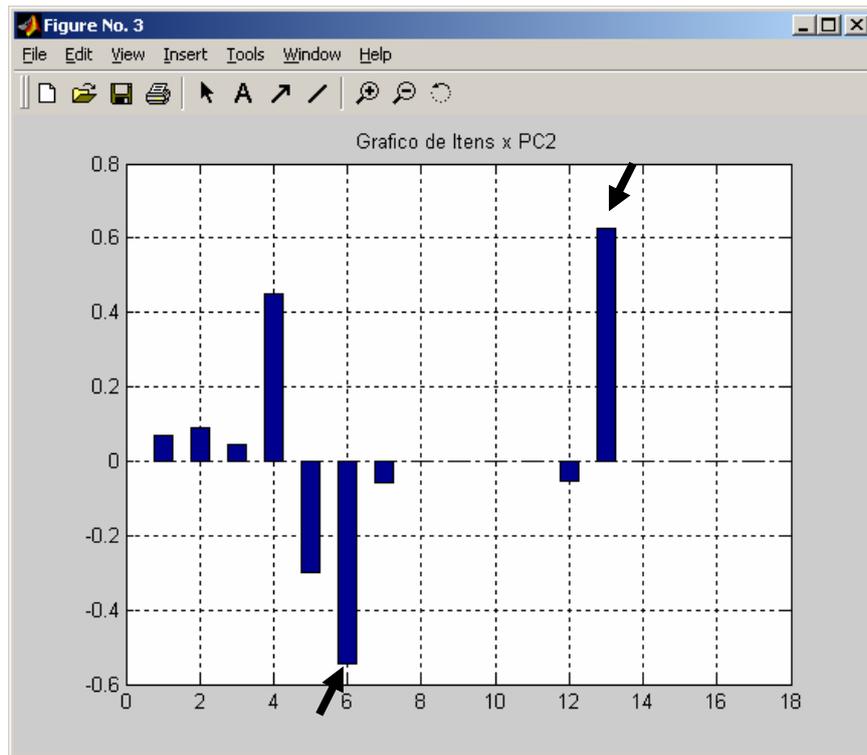


Figura 4.4 – Gráfico dos coeficientes lineares que compõem o PC2.

O segundo componente principal contém 4.3% da informação dos dados originais. Totalizando PC1 e PC2, temos aproximadamente 97% da informação existente nos dados no sistema de coordenadas original. Sendo assim, é interessante analisarmos ao menos mais um parâmetro indicado pelo PC2.

Na tabela 4.1, temos os valores utilizados para a criação dos gráficos das figuras 4.3, 4.4 e 4.5, nos quais a tarja amarela representa os itens de maior coeficiente no PC1, e a tarja azul representa os itens de maior coeficiente no PC2.

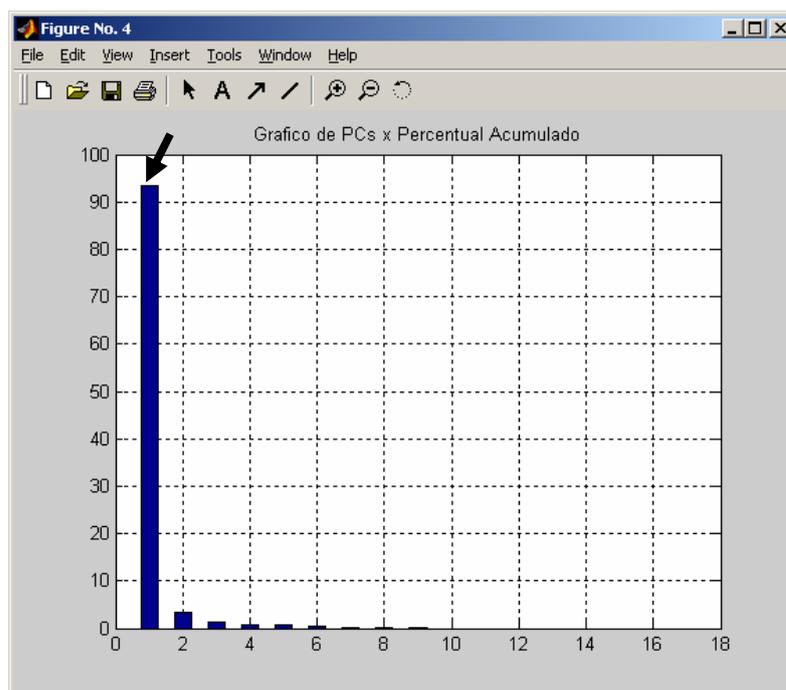


Figura 4.5 – Gráfico com percentual acumulado de cada componente principal

A tarja verde laranja indica os dois componentes principais (PC1 e PC2) selecionados, em função do somatório do percentual acumulado ser aproximadamente 97%.

PCs	Autovalor	% Acum.	PC1	PC2
1	121,890100	93,366400	-0,135900	0,068900
2	4,349100	3,331400	-0,218200	0,089100
3	1,863700	1,427600	-0,221600	0,045500
4	1,002800	0,768200	-0,217000	0,448800
5	0,828900	0,635000	-0,769900	-0,298000
6	0,467000	0,357700	-0,117800	-0,543500
7	0,078000	0,059800	-0,002000	-0,056700
8	0,042900	0,032900	0,000000	0,000000
9	0,027600	0,021100	0,000000	0,000000
10	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
11	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
12	0,000000	0,000000	0,431100	-0,055100
13	0,000000	0,000000	-0,212900	0,627200
14	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
15	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
16	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
17	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000

Tabela 4.1 – Componentes principais e a composição dos auto-vetores de PC1 e PC2.

Com base nas variáveis indicadas pelo PCA, utilizaremos aquelas que possuem o coeficiente mais significativo, sendo, portanto, duas do PC1 e uma do PC2, para analisarmos as respectivas variações no tempo e assim confrontá-las com as informações de refugos no mesmo período, para que seja possível compreender como essas três variáveis influenciaram no índice de refugo e, conseqüentemente a criação dos *clusters* observados no gráfico da figura 4.2. Os dados utilizados para a criação dos gráficos abaixo encontram-se no apêndice 1 na planilha de dados da tabela 1.

No gráfico da figura 4.6, temos os registros de refugos apontados pelo regulador, nos quais a quantidade refugada em dois períodos distintos é expressiva, sendo, portanto, nestes pontos a convergência de nossa análise.

A primeira ocorrência crítica de refugo verifica-se às 14:18:48, quando tem-se um registro de 35 peças rejeitadas por *Pinta Branca*, seguida de outra ocorrência às 14:19:48, de 15 peças de *Trinca*.

Outro período que requer análise ocorre entre 18:00:00 e 19:40:00, intervalo de tempo no qual aproximadamente 40 rejeitos são apontados novamente pelos mesmos motivos já ocorridos às 14:00:00.

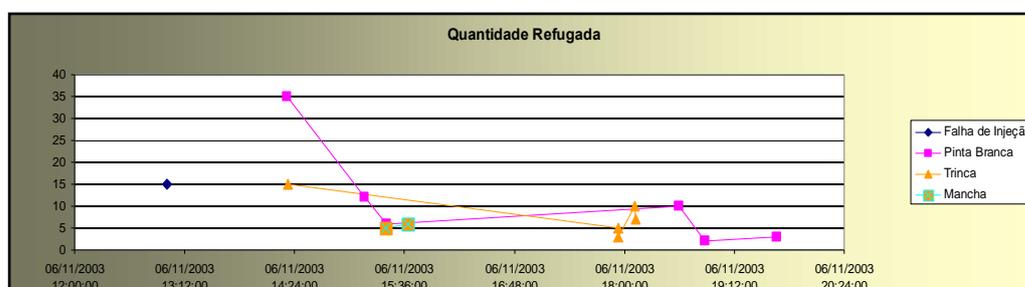


Figura 4.6 – Gráfico temporal com as ocorrências de refugos registrados no período de análise.

É importante salientar que, em um período de aproximadamente 2:30 minutos, entre as 15:30 e 18:00, não temos ocorrência de rejeitos.

Analisando a variável indicada pelo PCA, 'Dosagem de Recalque', no mesmo intervalo de tempo do gráfico da figura 4.6, observa-se no gráfico da figura 4.7, alterações no parâmetro de regulagem no mesmo instante dos primeiros registros de refugos. Observe que há uma intervenção por parte do regulador que altera a 'Dosagem de Recalque' de 61 mm para 92 mm, e em um outro momento, às 18:52:45, o parâmetro é alterado novamente de 92 mm para 97 mm.

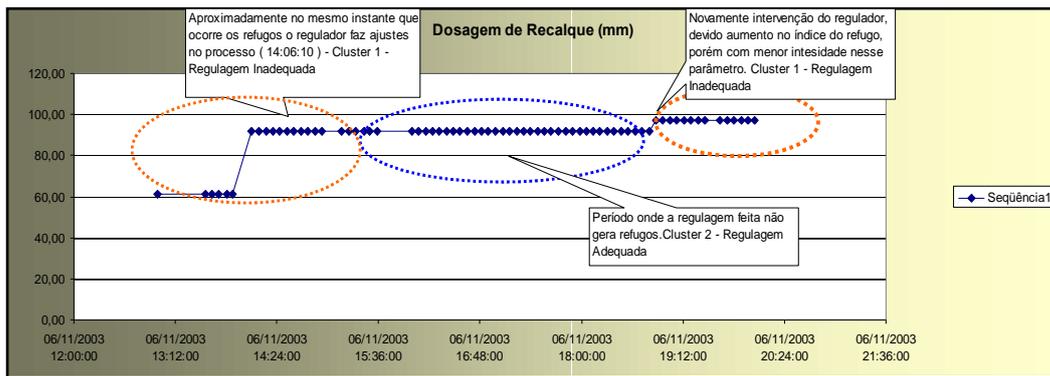


Figura 4.7 – Gráfico temporal com as variações do parâmetro ‘Dosagem de Recalque’.

Analisando os gráficos com os dados de ‘Duração de Resfriamento’ e ‘Temperatura da Zona E’ das figuras 4.8 e 4.9 respectivamente, percebe-se o mesmo tipo de intervenção do regulador aproximadamente nos mesmos intervalos de regulagem observados no gráfico da figura 4.7 (ver intervalos em destaque).

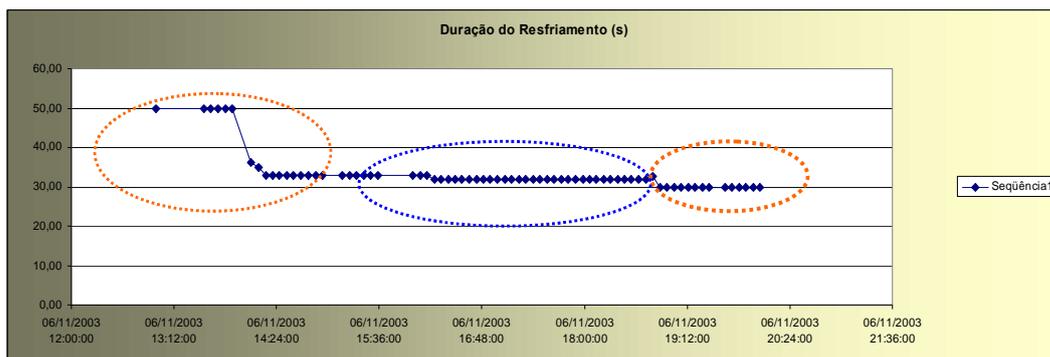


Figura 4.8 – Gráfico temporal com as variações do parâmetro ‘Duração de Resfriamento’.

O parâmetro ‘Duração de Resfriamento’ é alterado em um primeiro momento de 50 s para 32 s e, depois, de 32 s para 30 s, enquanto o parâmetro ‘Temperatura da Zona E’ é alterado de 230 °C para 236 °C e, em seguida, para 240 °C e, depois, alguns testes são feitos às 18:52:55 até às 19:22:35 retornando para o patamar de 240 °C.

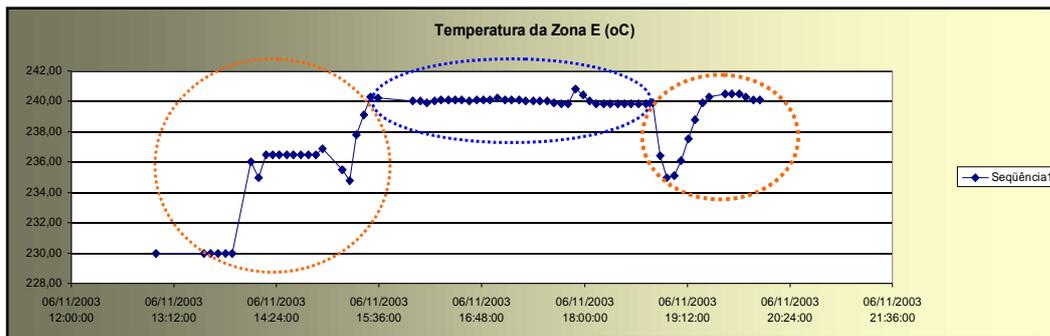


Figura 4.9 – Gráfico temporal com as variações do parâmetro ‘Temperatura da Zona E’.

Confrontando essas análises da regulação dos três parâmetros indicados pelo PCA com as ocorrências de refugos, verifica-se claramente a influência dos ajustes nos parâmetros na quantidade de refugos registrada, no qual consegue-se classificar dois períodos distintos de regulação, sendo um grupo compreendido entre 15:00:00 e 18:00:00, em que os valores ajustados para os parâmetros não geram rejeitos, sendo considerado um *cluster de regulação adequada* ou aceitável e, outro, nos extremos onde os ajustes levam o processo à produção de rejeitos baixando a produtividade, sendo assim considerado um *cluster de regulação inadequada*.

Uma possível pergunta, que poderia ser feita, é por que o regulador fez intervenções no processo após às 19:00:00 horas haja visto que o problema de refugo já tivesse sido controlado?

Uma possível resposta para esse questionamento encontra-se no gráfico da figura 4.8, no qual a duração de resfriamento é alterada de 32 segundos para 30 segundos, em uma busca pelo aumento da produtividade, pois, em média, o tempo necessário para resfriar a peça no molde é 70% do tempo do ciclo de operação completo. O regulador, ao tentar melhorar a produtividade, baixa o tempo de resfriamento aumentando a ‘Dosagem de Recalque’ para conter o plástico dentro da cavidade do molde, haja vista que, com um tempo de resfriamento menor, o plástico pode retornar pelo canal de injeção e gerar rejeitos do tipo *Chupada*.

Outra observação importante é a redução da ‘Temperatura da Zona E’, numa tentativa de baixar a temperatura do material plástico fundido, na parte inicial do canhão injetor, para reduzir com isso o tempo de resfriamento sem comprometer a fluidez do material no momento da entrada do molde.

Dessa forma observa-se que a busca pela otimização do processo, leva o regulador à tarefa árdua de garantir a qualidade da peça, segundo as especificações técnicas da engenharia e também a produtividade em função do ciclo de produção. Essa busca pela otimização de forma empírica torna a tarefa do regulador custosa para a empresa, onde testes com perdas de tempo e matéria-prima são feitos em busca do ponto de equilíbrio.

4.2 Empresa do segmento eletroeletrônico

Neste caso, os dados analisados são de uma empresa do segmento eletroeletrônico, MULTIBRÁS DA AMAZÔNIA unidade Manaus, que possui o sistema de gestão da produção instalado em cinquenta e três máquinas de injeção plástica, nos quais onze está instalado o módulo de coleta de parâmetros. Dentre as onze máquinas, foi selecionada uma no qual as informações armazenadas apresentassem o índice de refugo elevado, dentro do período analisado, e que apresentassem registros de regulagem nos parâmetros do processo.

Observa-se neste caso, como um índice elevado de refugo pode ser reduzido com uma regulagem de poucos parâmetros desde que de forma correta.

A primeira etapa da atividade limita-se à extração dos dados de parâmetros de ajustes armazenados pelo sistema de gestão, sendo, portanto, necessária à utilização da aplicação em Visual Basic que converte esse dado para um formato texto, conforme descrito no capítulo 3, adequado à aplicação desenvolvida no MATLAB que efetivamente calcula o PCA.

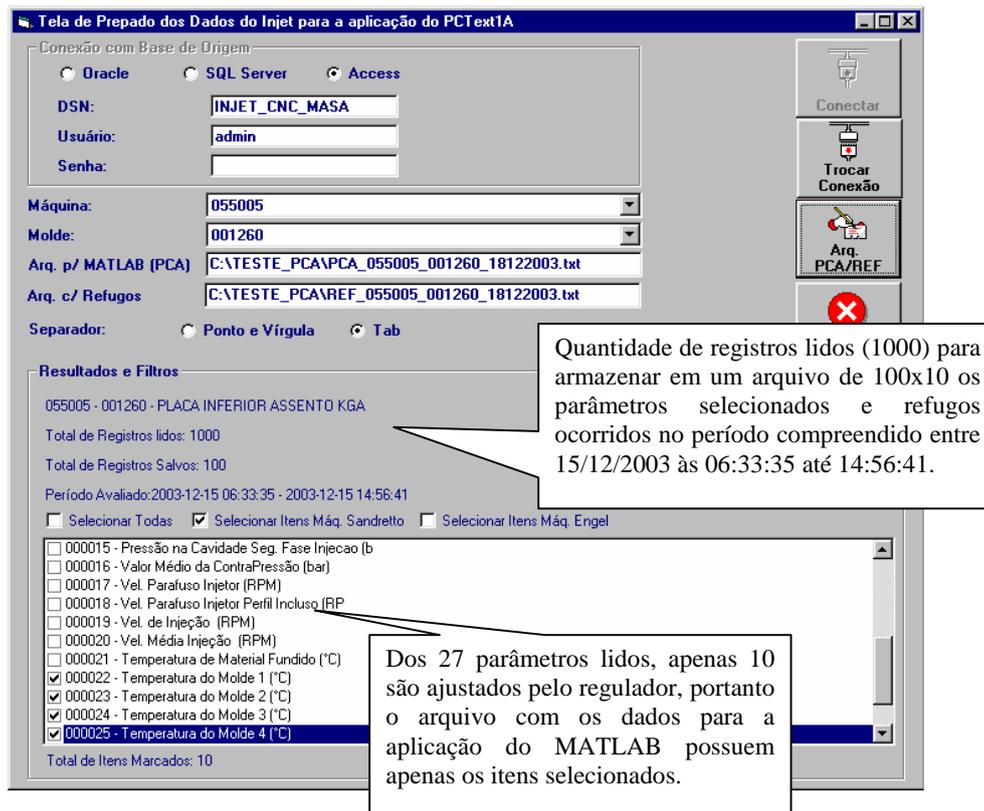


Figura 4.10 – Aplicação que converte os dados do sistema INJET para o formato do MATLAB.

Nesta aplicação, são selecionados a máquina, o molde e os dez parâmetros (modelo de máquina SANDRETTO) utilizados para ajuste dentre os vinte e sete possíveis. É também definido o formato do arquivo de saída da aplicação, sendo escolhido na forma tabulada. Além dos parâmetros, a aplicação exporta para um arquivo no formato texto as informações de refugos durante o período analisado (Figura 4.10).

De posse do arquivo com os valores dos parâmetros coletados do processo, a aplicação desenvolvida em MATLAB é executada analisando, segundo o fluxograma no capítulo 3, os dados exportados e gerando, por conseguinte, o gráfico abaixo, que representa os dados originais em um novo eixo de coordenadas, definidos por PC1 e PC2.

Sendo este plano o resultado da orientação e direção da máxima variância observada nos parâmetros analisados.

Com base neste gráfico, é possível visualizar a criação de dois grupos ou *clusters* que com base nos gráficos seguintes, entenderemos como foram originados.

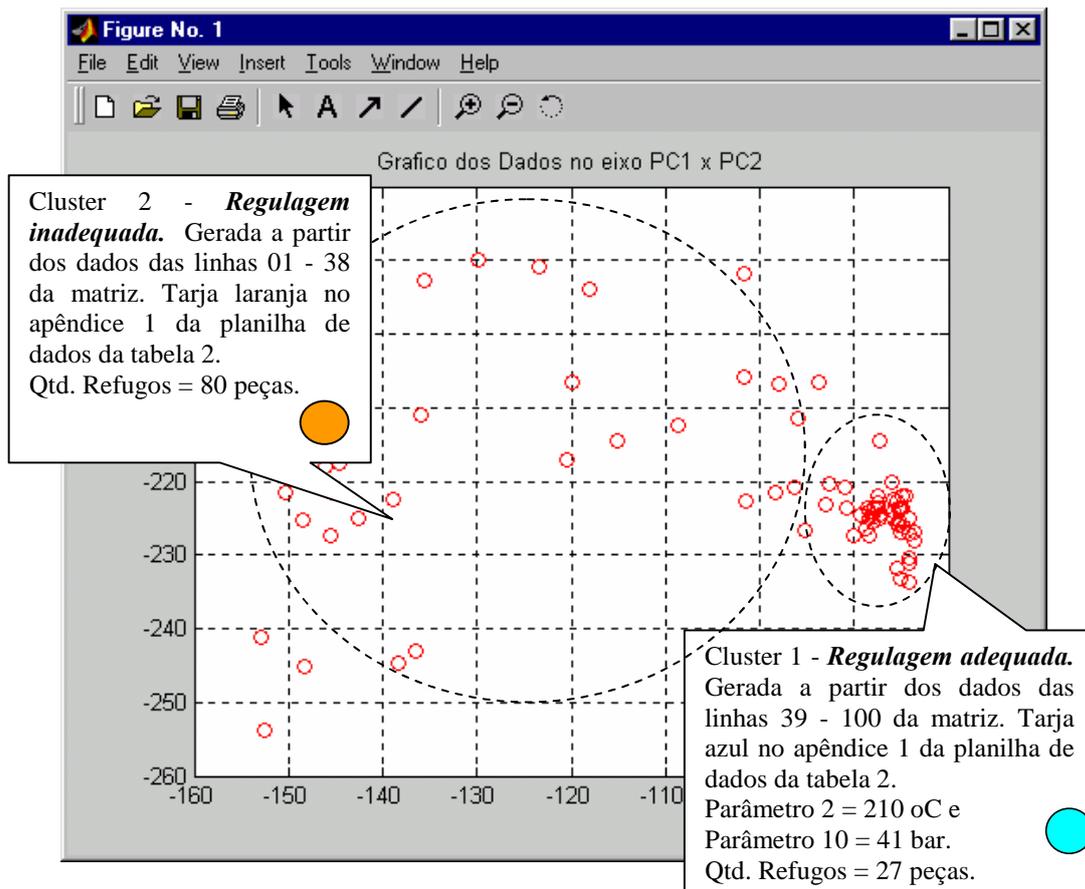


Figura 4.11 – Gráfico do PCA com os *clusters* das regulagens.

Analisando o gráfico da figura 4.11, percebe-se a criação de um *cluster*. Grupo 1 originado das linhas 39-100 da matriz e o Grupo 2 originado das linhas 01-38.

A aplicação exibe também dois gráficos nos quais podemos observar a influência dos parâmetros originais nos dois componentes principais PC1 e PC2. As variáveis que possuem o coeficiente mais significativo serão analisadas posteriormente em gráficos temporais, para que possamos verificar a sua influência no índice de rejeitos registrado no sistema de gestão.

No gráfico da figura 4.12 o 2º item possui um coeficiente significativo, sendo ele o parâmetro '000002' (Temperatura da Zona B).

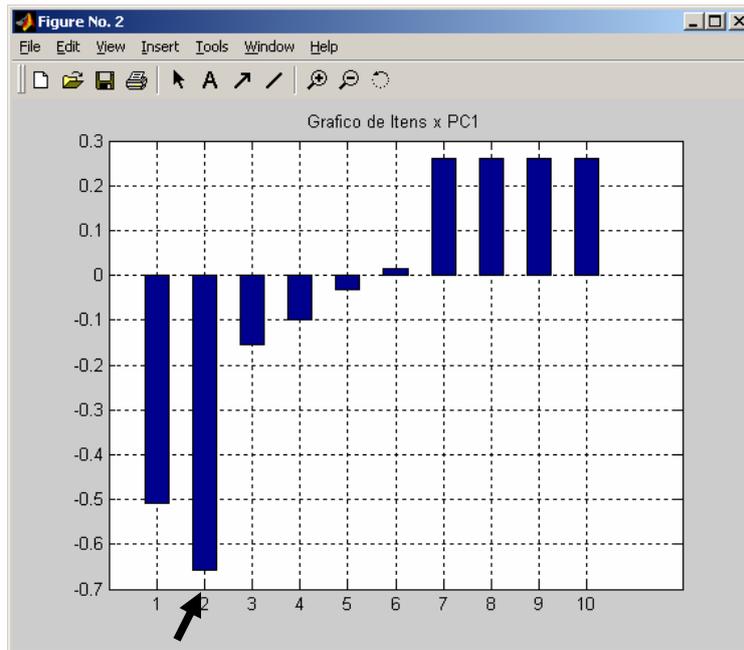


Figura 4.12 – Gráfico dos coeficientes lineares que compõem o PC1.

Enquanto no gráfico da figura 4.13, o 6º item possui um coeficiente significativo, sendo ele o parâmetro '000010' (Contra-pressão).

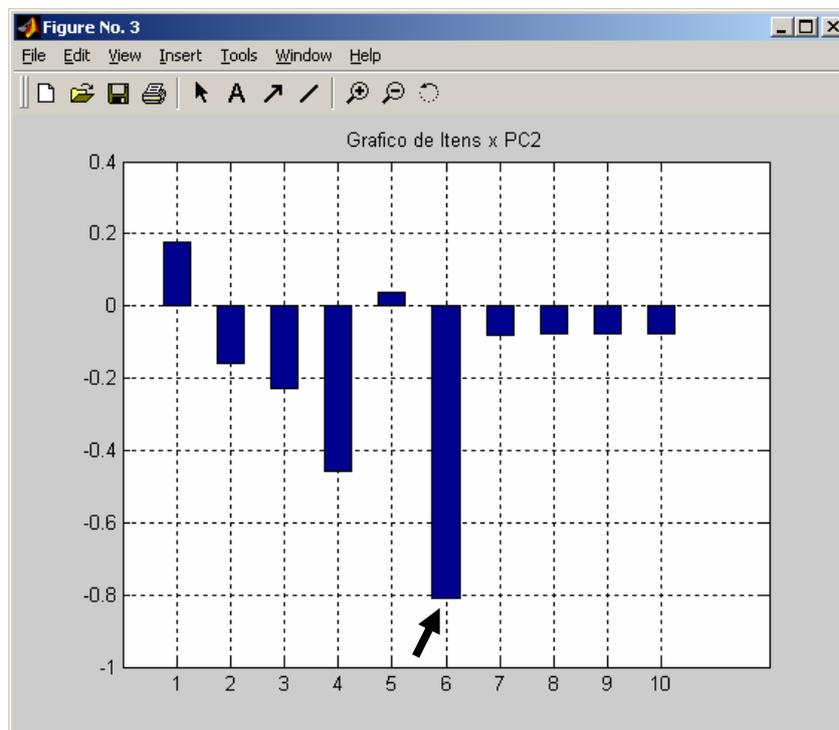


Figura 4.13 – Gráfico dos coeficientes lineares que compõem o PC2.

O gráfico da figura 4.14 representa a contribuição que cada componente principal possui para a recuperação da informação. Como podemos observar, no gráfico abaixo o primeiro componente principal possui aproximadamente 75% da informação contida sobre os dados originais. Isso significa que, das dez variáveis originais, a de maior coeficiente no PC1 será a que iremos analisar por corresponder àquela de maior variância na etapa de regulação.

O segundo componente principal contém 15% da informação dos dados originais. Totalizando PC1 e PC2, temos aproximadamente 90% da informação existente nos dados no sistema de coordenadas original. Sendo assim, é interessante analisarmos o parâmetro de Contra-Pressão indicado pelo PC2.

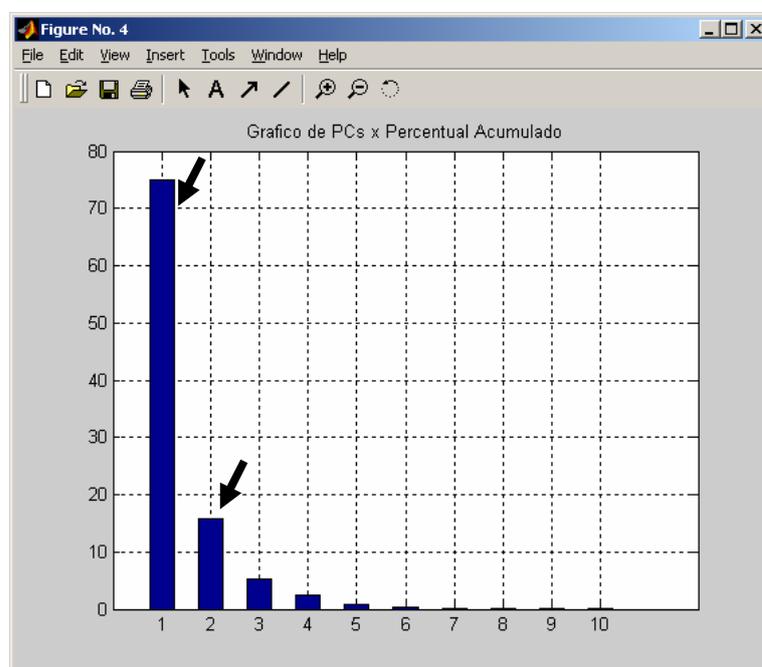


Figura 4.14 – Gráfico com percentual acumulado de cada componente principal

Na tabela 4.2 abaixo, temos os valores utilizados para a geração dos gráficos das figuras 4.12, 4.13 e 4.14, nos quais a tarja amarela representa os itens de maior coeficiente no PC1, e a tarja azul representa os itens de maior coeficiente no PC2.

A tarja verde indica os dois componentes principais (PC1 e PC2) que por terem um maior percentual acumulado, que corresponde a 90,84%, determinam quais parâmetros serão escolhidos para a análise temporal.

PCs	Autovalor	% Acum.	PC1	PC2
1	562,185000	74,965800	-0,507700	0,175500
2	119,049000	15,874800	-0,658800	-0,158100
3	39,652700	5,287600	-0,154400	-0,227300
4	19,009000	2,534800	-0,098300	-0,459300
5	5,394700	0,719400	-0,031500	0,038600
6	3,494900	0,466000	0,014800	-0,809600
7	1,103200	0,147100	0,261800	-0,079100
8	0,016400	0,002200	0,261300	-0,078900
9	0,014500	0,001900	0,261200	-0,077700
10	0,002800	0,000400	0,261700	-0,078200

Tabela 4.2 – Componentes principais e as composição dos auto-vetores de PC1 e PC2.

Com base nas variáveis indicadas pelo PCA, utilizaremos aquelas que possuem o coeficiente mais significativo, sendo portanto, uma do PC1 e uma do PC2. De posse dessas variáveis analisaremos, no tempo, as variações para que ao serem confrontadas com as informações de refugos no mesmo período, possamos compreender como essas duas variáveis influenciaram no índice de refugo e, como consequência houve a criação do *cluster* observados no gráfico da figura 4.11. Os dados utilizados para a geração dos gráficos 4.15, 4.16 e 4.17 encontram-se no apêndice 1 na planilha de dados da tabela 2.

No gráfico da figura 4.15, temos os registros de refugos apontados pelo regulador, nos quais a quantidade refugada em dois períodos distintos é expressiva, sendo, portanto, nestes pontos a convergência de nossa análise.

A primeira ocorrência crítica de refugo verifica-se às 07:22:06 quando tem-se um registro de 10 peças rejeitadas, em seguida temos uma seqüência de entradas de refugos até as 09:39:00, totalizando 80 peças em menos de 2 horas e 30 minutos de produção.

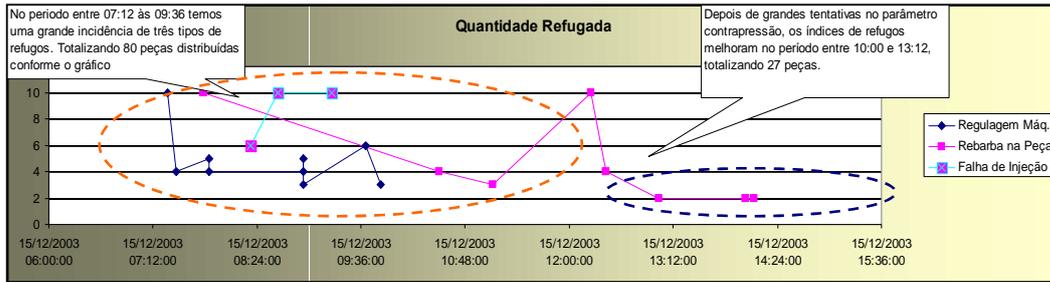


Figura 4.15 – Gráfico temporal com as ocorrências de refugos registrados no período de análise.

Observe em destaque laranja no período entre 07:12 às 09:36 temos várias incidências de três tipos de refugos, totalizando 80 peças distribuídas conforme o gráfico da figura 4.15.

Outro período que requer análise ocorre entre 12:30:00 e 14:24:00, intervalo de tempo no qual as ocorrências de rejeitos sofrem uma redução considerável.

Analisando, no mesmo intervalo de tempo, o gráfico da figura 4.15, a variável indicada pelo PCA, ‘Temperatura da Zona B’, temos o gráfico da figura 4.16, no qual percebe-se que, aproximadamente no mesmo instante dos primeiros registros de refugos, há uma intervenção por parte do regulador que altera a ‘Temperatura da Zona B’ de 249 oC para 210 oC, se mantendo praticamente inalterado até o final da amostragem.

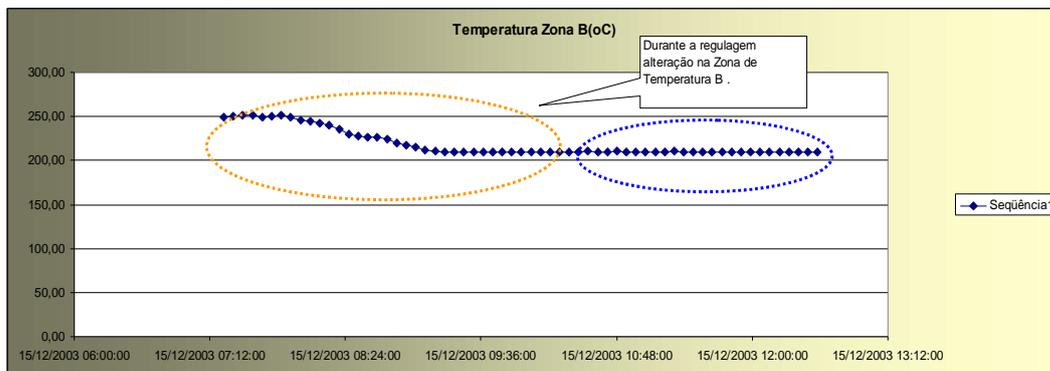


Figura 4.16 – Gráfico temporal com as variações do parâmetro ‘Temperatura da Zona B’.

Analisando o gráfico com os dados da ‘Contra-Pressão’ da figura 4.17, percebe-se o mesmo tipo de intervenção do regulador no início da produção e outra intervenção aproximadamente no mesmo instante de regulagem observados no gráfico da figura 4.16.

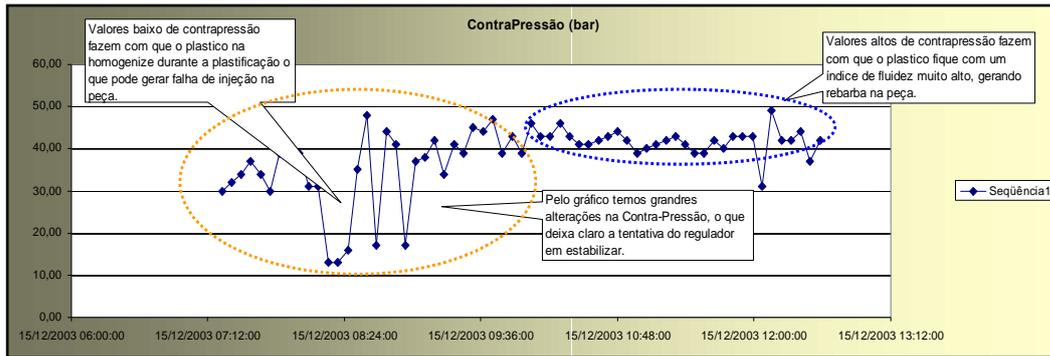


Figura 4.17 – Gráfico temporal com as variações do parâmetro ‘Contra Pressão’.

O parâmetro ‘Contra-Pressão’ é alterado em um primeiro momento para valores muito baixos como 13 bar as 08:15:31 e depois ficam alternando atingindo um máximo de 48 bar e tendo um média no período, classificado pelo PCA, de aproximadamente 41 bar.

Pode-se notar, nesse exemplo, uma tentativa do regulador em ajustar o processo, porém fazendo alterações sem muita explicação até que o problema de refugo estabilize.

Confrontando essas análises da regulação dos dois parâmetros indicados pelo PCA com as ocorrências de refugos, verifica-se claramente a influência dos ajustes dos parâmetros na quantidade de refugos registrada. Conseguem-se classificar dois períodos distintos de regulação, sendo um compreendido entre 15:00:00 e 18:00:00, em que os valores ajustados para os parâmetros não geram rejeitos, sendo considerado um ‘cluster de regulação adequada’ ou aceitável e, outro, nos extremos onde os ajustes levam o processo à produção de rejeitos baixando a produtividade, sendo este considerado um ‘cluster de regulação inadequada’.

Outra observação importante é a redução da ‘Temperatura da Zona B’, em uma tentativa de baixar a temperatura do material plástico fundido, na parte inicial do canhão injetor, para reduzir com isso o tempo de resfriamento sem comprometer a fluidez do material no momento da entrada do molde.

4.3 Análise econômica e aplicabilidade da proposta para otimização da regulagem de máquinas de injeção plástica

Com o objetivo de expor o material e confrontar as análises desenvolvidas nesse trabalho, com o conhecimento e experiência do corpo técnico, que atua na área de injeção plástica, foi apresentado esse trabalho a um técnico da engenharia de processo da Multibrás da Amazônia, Geison, e ao diretor executivo da MAP Cardoso, Manuel Cardoso, empresa que desenvolveu o Sistema INJET, para tratarmos sobre as possibilidades de implementar a técnica apresentada como um módulo do sistema INJET e executar testes dentro da própria Multibrás da Amazônia.

Desse levantamento observou-se à necessidade de adaptação da técnica do PCA em uma forma mais fácil e amigável para o usuário aplicá-la no ambiente fabril, e as sugestões foram:

Atualmente para chegarmos aos resultados é necessária uma aplicação em Visual Basic, depois outra aplicação em Matlab, e finalmente os gráficos em Excel. A sugestão seria integrar todas essas etapas em um módulo em escrito em Visual Basic dentro do próprio Sistema INJET, o que facilitaria as análises para os usuários e técnicos da fábrica.

Observou-se que com os dados de regulagens armazenados em banco de dados, somados aos resultados obtidos com a técnica do PCA, seria fácil exibir uma ficha técnica para uma determinada máquina, molde e matéria-prima, o que reduziria o tempo de regulagens no início de produção de um determinado molde.

Outro ponto observado foi à necessidade de associar os dados de regulagens a um determinado regulador, para que futuramente possamos estabelecer um comparativo entre os técnicos, e dessa forma identificar falhas de conhecimento para ajustar com treinamentos específicos, viabilizando e justificando treinamento para os técnicos segundo as necessidades observadas nos resultados das regulagens feitas.

Verificou-se que com um módulo no sistema INJET que se utiliza a técnica proposta seria possível uma redução do tempo de regulagem em função de estar

armazenado no sistema uma associação das melhores regulagens para a máquina-molde-materia-prima em função de determinados tipos de refugo.

Observou-se também a economia em matéria-prima, pois com regulagens mais eficientes o desperdício de matéria-prima seria reduzido.

Neste capítulo, descreveu-se como foi aplicada a metodologia vista no capítulo 3. Analisamos um estudo de caso de uma empresa de plástico do setor automotivo e outro no setor eletroeletrônico. A extração e filtragem dos dados foram apresentadas bem como o cálculo do PCA. De posse das informações fornecidas pela técnica do PCA, acompanhamos em uma análise univariada os principais parâmetros, observando como os ajustes paramétricos influenciam na quantidade de rejeitos ocorridos no processo, conseguindo visualizar um *cluster* de ajuste adequado para uma máquina versus molde versus matéria-prima especificada. Vimos que a busca por produtividade, seja pela qualidade da peça ou por redução dos tempos operacionais de produção, é a mola motriz dos ajustes de parâmetros, sendo estes muitas vezes incompatíveis.

Capítulo 5

Conclusão e trabalhos futuros

5.1 Conclusões

Muitas atividades de regulação em processos fabris ainda estão além da capacidade de controle. Sendo assim, o conhecimento empírico, da equipe técnica da empresa, ainda é a principal opção para resolver esse problema.

O aprendizado feito com base no histórico das ações passadas, e armazenado em uma memória industrial facilmente acessível, seria uma das formas eficientes para resolver os problemas encontrados no dia a dia.

Este trabalho descreveu a aplicação de uma metodologia para auxiliar a equipe técnica responsável pela regulação de máquinas de injeção plástica a gerar uma base de conhecimento industrial sobre os ajustes paramétricos adequados para as máquinas de injeção plástica, com o objetivo de reduzir as perdas de tempo e matéria-

prima ocorridas durante a regulagem de uma determinada máquina, molde e matéria-prima.

Com a aplicação do método de Análise por Componentes Principais, foi possível identificar zonas de ajustes adequados e inadequados em função da quantidade refugada antes da regulagem e depois, em uma matriz com 100 amostras de 10 ou 17 parâmetros ajustados durante a regulagem. Com a técnica de PCA, foi possível reduzir a número dos parâmetros para apenas três, no qual as análises gráficas temporais dos parâmetros confrontadas com o gráfico das ocorrências de rejeitos facilitaram a definição dos grupos ou *clusters* de regulagens visando principalmente os mais adequados.

Outro resultado importante de se salientar, é que com a aplicação dessa metodologia, tornou possível o armazenamento, em um banco de dados, dos parâmetros relevantes na regulagem e também o seu valor ideal para uma determinada máquina - molde-matéria-prima, criando assim uma memória confiável e disponível para que em qualquer instante, um outro regulador pudesse contar com o auxílio dessa informação, sem precisar depender da sua própria memória ou de algum outro técnico (que por acaso não estivesse disponível no momento) aumentando dessa forma a eficiência da equipe responsável pela regulagem.

Verificou-se também a necessidade do tratamento dos dados oriundos da base coletada em tempo real pelo sistema de gestão, pois, em algumas máquinas, detectou-se a existência de dados espúrios que alteravam a confiabilidade da técnica. Além da limpeza dos dados constatou-se a necessidade da utilização da técnica apenas com dados coletados durante a regulagem, pois, em situações nas quais a máquina já tivesse atingido seu ponto de operação em equilíbrio, não haveria alterações nos parâmetros e, conseqüentemente, a análise por meio do método PCA não poderia ser efetuada.

5.2 *Trabalhos futuros*

Dando prosseguimento ao trabalho aqui iniciado, são sugeridos os seguintes trabalhos futuros:

A implementação de um módulo com a análise utilizando PCA em tempo real no sistema comercial de gestão INJET, com os gráficos do PCA e as séries temporais apresentadas no capítulo 4 com o objetivo de visualizar o padrão de regulação adotado e armazenar as melhores regulagens, possibilitando assim visualizá-las segundo o regulador, o turno de trabalho, a máquina versus molde e tipo de matéria-prima, servindo como ferramenta para a difusão do conhecimento e conseqüentemente ganhos de produtividade no processo.

Desenvolvimento e teste para utilização de redes neurais artificiais baseados na técnica do PCA como ferramenta para definição dos *clusters* em tempo real.

Referências Bibliográficas

- [1] AVIN C. RECHER, *The Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics*, cp. 12 – Principal Component Analysis, JOHN WILEY, 1995.
- [2] CHRISTIAN CIMANDER, THOMAS BACHINGE, CARL FREDRIK MANDENIUS, *Integration of Distributed Multi-Analyzer Monitoring and Control in Bioprocessing based on a Real-Time Expert System*, Journal of Biotechnology, pp. 1-12, 2003.
- [3] CÍCERO COUTO DE MORAES, PLINIO DE LAURO CASTRUCCI, *Engenharia de Automação Industrial*, cp. 12 – Modelamento e Controle de Manufaturas, 2001.
- [4] D. SBARBARO, O. FARIAS, A. ZAWADSKY, *Real-time Monitoring and Characterization of Flames by Principal-Component Analysis*, Combustion and Flame, pp. 591-595, 2002
- [5] F. Z. CHEN AND X. Z. WANG, *Discovery of Operational Spaces from Process Data for Production of Multiple Grades of Products*, Ind. Eng. Chem. Res., Vol. 39, No 7, pp.2378-2383, 2000
- [6] JOHN T. FLETCHER, SEONG G. KONG, *Principal Component Analysis for Poultry Tumor Inspection using Hyperspectral Imaging*, International Joint Conference on Neural Networks, Conference Proceeding, Portland – Oregon, pp. 149-153, 2003.
- [7] JÚLIO HARADA, *Moldes para Injeção de Termoplásticos: projetos e princípios básicos*, Artliber, cp. 3 – Máquinas de Injeção, cp.4 – Dados técnicos para injeção, cp. 10 –Efeitos das condições de processo, 2004.
- [8] KANTILAL VANICHAND MARDIA, JOHN T. KENT, JOHN M. BIBBY, *Multivariate Analysis*, Academic Press, cp. 8 – Principal Component Analysis, 1979, London.
- [9] NORELA ARIFFIN, PAULO N. FIGUEIREDO, *Internacionalização de*

Competências Tecnológicas, FGV Editora, cp. 1 – Principal Component Analysis, 9999, London.

- [10] QINGLIN MA, AIXIA YAN, ZHIDE HU, ZUIXONG LI, BOTAO FAN, *Principal Component Analysis and Artificial Neural Networks Applied to the Classification of Chinese Pottery of Neolithic Age*, *Analytica Chimica Acta* 406, pp. 247-256, 2000.
- [11] RICHARD A. JOHNSON, DEAN W. WICHERN, *Applied Multivariate Statistical Analysis, Fifth Edition*, cp. 1 – Aspects of Multivariate Analysis, cp. 2 – Matrix Algebra and Random Vectors, cp. 8 – Principal Components, 2002.
- [12] VIEIRA SONIA, *Estatística para a Qualidade: Como Avaliar com Precisão a Qualidade em Produtos e Serviços*, Campus, cp. 6 – Gráfico de Controle, 1999.
- [13] XUE Z. WANG, *Data Mining and Knowledge Discovery for Process Monitoring and Control*, cp. 2 – Data Mining and Knowledge Discovery – An Overview, cp. 4 - Multivariate Statistical Analysis for Data Analysis and Statistical Control, 1999.

Apêndice 1

Tabela com os dados do caso da empresa do segmento automotivo

Fonte de Dados: VISTEON									
Molde: 5163									
Produto: LENTE AMAZON									
Máquina: 12									
Refugos			Parâmetros						
Data e Hora	Tipo Refugo	Quant.	Data e Hora	Tipo	Valor	Tipo	Valor	Tipo	Valor
06/11/2003 13:00:09	903	15	06/11/2003 12:59:27	8	61,00	111	50,00	121	230,00
06/11/2003 14:18:48	906	35	06/11/2003 13:33:18	8	61,00	111	50,00	121	230,00
06/11/2003 14:19:48	920	15	06/11/2003 13:37:48	8	61,00	111	50,00	121	230,00
06/11/2003 15:09:49	906	12	06/11/2003 13:42:43	8	61,00	111	50,00	121	230,00
06/11/2003 15:23:56	904	5	06/11/2003 13:48:32	8	61,00	111	50,00	121	230,00
06/11/2003 15:24:16	906	6	06/11/2003 13:52:38	8	61,00	111	50,00	121	230,00
06/11/2003 15:38:10	904	6	06/11/2003 14:06:10	8	92,00	111	36,20	121	236,00
06/11/2003 17:55:48	920	5	06/11/2003 14:11:21	8	92,00	111	35,00	121	235,00
06/11/2003 17:56:12	920	3	06/11/2003 14:16:18	8	92,00	111	33,00	121	236,50
06/11/2003 18:06:51	920	10	06/11/2003 14:21:17	8	92,00	111	33,00	121	236,50
06/11/2003 18:07:11	920	7	06/11/2003 14:26:06	8	92,00	111	33,00	121	236,50

Refugos			Parâmetros						
Data e Hora	Tipo Refugo	Quant.	Data e Hora	Tipo	Valor	Tipo	Valor	Tipo	Valor
06/11/2003 18:35:40	906	10	06/11/2003 14:30:52	8	92,00	111	33,00	121	236,50
06/11/2003 18:52:50	906	2	06/11/2003 14:35:56	8	92,00	111	33,00	121	236,50
06/11/2003 19:39:44	906	3	06/11/2003 14:41:08	8	92,00	111	33,00	121	236,50
			06/11/2003 14:45:58	8	92,00	111	33,00	121	236,50
			06/11/2003 14:51:13	8	92,00	111	33,00	121	236,50
			06/11/2003 14:56:07	8	92,00	111	33,00	121	236,90
			06/11/2003 15:10:06	8	92,00	111	33,00	121	235,50
			06/11/2003 15:15:08	8	92,00	111	33,00	121	234,80
			06/11/2003 15:20:06	8	92,00	111	33,00	121	237,80
			06/11/2003 15:25:27	8	92,00	111	33,00	121	239,10
			06/11/2003 15:29:56	8	92,00	111	33,00	121	240,30
			06/11/2003 15:34:51	8	92,00	111	33,00	121	240,20
			06/11/2003 15:59:35	8	92,00	111	33,00	121	240,00
			06/11/2003 16:04:33	8	92,00	111	33,00	121	240,00
			06/11/2003 16:09:26	8	92,00	111	33,00	121	239,90
			06/11/2003 16:14:33	8	92,00	111	32,00	121	240,00
			06/11/2003 16:19:15	8	92,00	111	32,00	121	240,10
			06/11/2003 16:24:33	8	92,00	111	32,00	121	240,10
			06/11/2003 16:29:10	8	92,00	111	32,00	121	240,10
			06/11/2003 16:34:00	8	92,00	111	32,00	121	240,10

Refugos			Parâmetros						
Data e Hora	Tipo Refugo	Quant.	Data e Hora	Tipo	Valor	Tipo	Valor	Tipo	Valor
			06/11/2003 16:39:14	8	92,00	111	32,00	121	240,00
			06/11/2003 16:44:15	8	92,00	111	32,00	121	240,10
			06/11/2003 16:49:15	8	92,00	111	32,00	121	240,10
			06/11/2003 16:53:51	8	92,00	111	32,00	121	240,10
			06/11/2003 16:58:54	8	92,00	111	32,00	121	240,20
			06/11/2003 17:03:59	8	92,00	111	32,00	121	240,10
			06/11/2003 17:08:46	8	92,00	111	32,00	121	240,10
			06/11/2003 17:14:01	8	92,00	111	32,00	121	240,10
			06/11/2003 17:18:42	8	92,00	111	32,00	121	240,00
			06/11/2003 17:23:54	8	92,00	111	32,00	121	240,00
			06/11/2003 17:28:51	8	92,00	111	32,00	121	240,00
			06/11/2003 17:33:33	8	92,00	111	32,00	121	240,00
			06/11/2003 17:38:33	8	92,00	111	32,00	121	239,90
			06/11/2003 17:43:32	8	92,00	111	32,00	121	239,80
			06/11/2003 17:48:37	8	92,00	111	32,00	121	239,80
			06/11/2003 17:53:21	8	92,00	111	32,00	121	240,80
			06/11/2003 17:58:38	8	92,00	111	32,00	121	240,40
			06/11/2003 18:03:18	8	92,00	111	32,00	121	240,00
			06/11/2003 18:08:10	8	92,00	111	32,00	121	239,80
			06/11/2003 18:13:14	8	92,00	111	32,00	121	239,80

Refugos			Parâmetros						
Data e Hora	Tipo Refugo	Quant.	Data e Hora	Tipo	Valor	Tipo	Valor	Tipo	Valor
			06/11/2003 18:18:08	8	92,00	111	32,00	121	239,80
			06/11/2003 18:23:09	8	92,00	111	32,00	121	239,80
			06/11/2003 18:27:57	8	92,00	111	32,00	121	239,80
			06/11/2003 18:32:52	8	92,00	111	32,00	121	239,80
			06/11/2003 18:37:54	8	92,00	111	32,00	121	239,80
			06/11/2003 18:42:59	8	92,00	111	32,00	121	239,80
			06/11/2003 18:47:55	8	92,00	111	32,70	121	239,90
			06/11/2003 18:52:45	8	97,00	111	30,00	121	236,40
			06/11/2003 18:57:39	8	97,00	111	30,00	121	235,00
			06/11/2003 19:02:37	8	97,00	111	30,00	121	235,10
			06/11/2003 19:07:49	8	97,00	111	30,00	121	236,10
			06/11/2003 19:12:36	8	97,00	111	30,00	121	237,50
			06/11/2003 19:17:40	8	97,00	111	30,00	121	238,80
			06/11/2003 19:22:35	8	97,00	111	30,00	121	239,90
			06/11/2003 19:27:30	8	97,00	111	30,00	121	240,30
			06/11/2003 19:38:17	8	97,00	111	30,00	121	240,50
			06/11/2003 19:43:16	8	97,00	111	30,00	121	240,50
			06/11/2003 19:48:12	8	97,00	111	30,00	121	240,50
			06/11/2003 19:53:11	8	97,00	111	30,00	121	240,30
			06/11/2003 19:58:15	8	97,00	111	30,00	121	240,10

Refugos			Parâmetros						
Data e Hora	Tipo Refugo	Quant.	Data e Hora	Tipo	Valor	Tipo	Valor	Tipo	Valor
			06/11/2003 20:03:03	8	97,00	111	30,00	121	240,10

Tabela A.1 – Tabela dos dados originais dos três principais parâmetros indicados pelo PCA - Base VISTEON

Tabela com os dados do caso da empresa do segmento eletroeletrônicos

Fonte de Dados: Multibrás da									
Amazônia									
Molde: 1260									
Produto: PLACA INFERIOR ASSENTO									
KGA									
Máquina: 55005									
Refugos			Parâmetros						
Data e Hora	Tipo do Refugo	Quant.	Data e Hora	Tipo	Valor	Tipo	Valor	Tipo	Valor
15/12/2003 07:22:06	131	10	15/12/2003 07:19:29	2	249,00	10	30,00		
15/12/2003 07:27:49	131	4	15/12/2003 07:24:33	2	250,00	10	32,00		
15/12/2003 07:46:41	101	10	15/12/2003 07:29:35	2	251,00	10	34,00		
15/12/2003 07:51:02	131	5	15/12/2003 07:34:41	2	251,00	10	37,00		
15/12/2003 07:51:12	131	4	15/12/2003 07:39:48	2	249,00	10	34,00		
15/12/2003 08:19:40	114	6	15/12/2003 07:44:53	2	250,00	10	30,00		
15/12/2003 08:38:40	114	10	15/12/2003 07:50:04	2	251,00	10	39,00		
15/12/2003 08:55:56	131	4	15/12/2003 07:55:06	2	249,00	10	39,00		
15/12/2003 08:56:15	131	5	15/12/2003 08:00:12	2	246,00	10	39,00		
15/12/2003 08:56:24	131	3	15/12/2003 08:05:18	2	244,00	10	31,00		
15/12/2003 09:15:46	114	10	15/12/2003 08:10:22	2	242,00	10	31,00		
15/12/2003 09:39:00	131	6	15/12/2003 08:15:31	2	240,00	10	13,00		
15/12/2003 09:49:39	131	3	15/12/2003 08:20:37	2	236,00	10	13,00		
15/12/2003 10:29:53	101	4	15/12/2003 08:25:45	2	230,00	10	16,00		
15/12/2003 11:07:27	101	3	15/12/2003 08:30:50	2	227,00	10	35,00		
15/12/2003 12:15:05	101	10	15/12/2003 08:35:57	2	226,00	10	48,00		
15/12/2003 12:25:24	101	4	15/12/2003 08:41:01	2	226,00	10	17,00		
15/12/2003 13:02:14	101	2	15/12/2003 08:46:09	2	224,00	10	44,00		
15/12/2003 14:01:52	101	2	15/12/2003 08:51:13	2	220,00	10	41,00		

Refugos			Parâmetros				
Data e Hora	Tipo do Refugo	Quant.	Data e Hora	Tipo	Valor	Tipo	Valor
15/12/2003 14:08:07	101	2	15/12/2003 08:56:19	2	217,00	10	17,00
			15/12/2003 09:01:23	2	215,00	10	37,00
			15/12/2003 09:06:28	2	212,00	10	38,00
			15/12/2003 09:11:35	2	211,00	10	42,00
			15/12/2003 09:16:39	2	209,00	10	34,00
			15/12/2003 09:21:49	2	210,00	10	41,00
			15/12/2003 09:26:57	2	210,00	10	39,00
			15/12/2003 09:32:01	2	210,00	10	45,00
			15/12/2003 09:37:05	2	210,00	10	44,00
			15/12/2003 09:42:09	2	210,00	10	47,00
			15/12/2003 09:47:15	2	210,00	10	39,00
			15/12/2003 09:52:22	2	210,00	10	43,00
			15/12/2003 09:57:24	2	210,00	10	39,00
			15/12/2003 10:02:29	2	210,00	10	46,00
			15/12/2003 10:07:33	2	210,00	10	43,00
			15/12/2003 10:12:35	2	210,00	10	43,00
			15/12/2003 10:17:39	2	210,00	10	46,00
			15/12/2003 10:22:44	2	210,00	10	43,00
			15/12/2003 10:27:48	2	210,00	10	41,00
			15/12/2003 10:32:54	2	211,00	10	41,00
			15/12/2003 10:37:58	2	210,00	10	42,00
			15/12/2003 10:43:05	2	210,00	10	43,00
			15/12/2003 10:48:13	2	211,00	10	44,00
			15/12/2003 10:53:10	2	210,00	10	42,00
			15/12/2003 10:58:18	2	210,00	10	39,00
			15/12/2003 11:03:19	2	210,00	10	40,00
			15/12/2003 11:08:27	2	210,00	10	41,00
			15/12/2003 11:13:31	2	210,00	10	42,00
			15/12/2003 11:18:32	2	211,00	10	43,00
			15/12/2003 11:23:35	2	210,00	10	41,00
			15/12/2003 11:28:42	2	210,00	10	39,00
			15/12/2003 11:33:45	2	210,00	10	39,00
			15/12/2003 11:38:51	2	210,00	10	42,00
			15/12/2003 11:43:55	2	210,00	10	40,00
			15/12/2003 11:48:58	2	210,00	10	43,00
			15/12/2003 11:54:02	2	210,00	10	43,00
			15/12/2003 11:59:03	2	210,00	10	43,00
			15/12/2003 12:04:09	2	210,00	10	31,00
			15/12/2003 12:09:15	2	210,00	10	49,00
			15/12/2003 12:14:24	2	210,00	10	42,00

Refugos			Parâmetros				
Data e Hora	Tipo do Refugo	Quant.	Data e Hora	Tipo	Valor	Tipo	Valor
			15/12/2003 12:19:28	2	210,00	10	42,00
			15/12/2003 12:24:37	2	210,00	10	44,00
			15/12/2003 12:29:37	2	210,00	10	37,00
			15/12/2003 12:34:43	2	210,00	10	42,00
			15/12/2003 12:39:48	2	210,00	10	43,00
			15/12/2003 12:44:52	2	210,00	10	43,00
			15/12/2003 12:49:55	2	210,00	10	43,00
			15/12/2003 12:54:58	2	210,00	10	39,00
			15/12/2003 13:00:03	2	210,00	10	42,00
			15/12/2003 13:05:06	2	210,00	10	39,00
			15/12/2003 13:10:08	2	210,00	10	36,00
			15/12/2003 13:15:17	2	210,00	10	39,00
			15/12/2003 13:20:17	2	210,00	10	44,00

Tabela A.2 – Tabela dos dados originais dos dois principais parâmetros indicados pelo PCA - Base

MASA

Apêndice 2

Programa fonte em MATLAB que calcula o PCA

function pca_injet_V2(Arquivo)

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%Função que calcula os componentes principais em função de uma entrada de dados  
%no formato de arquivo csv. A função não possui limites teóricos com relação a  
%quantidade de itens, porem para o %caso estudado praticaremos no máximo os  
%27(vinte e sete) itens observados no processo % de injeção plástica  
%Formato do arquivo de entrada:  
%1 Linha os Códigos dos itens : Exemplo item1; item2; ....; item27.  
%2-n Linhas com os Valores lidos do processo: Exemplo Valor11; Valor2; ....; Valor27.  
%Formato da matriz de saída:  
% MatrizPCs = [item, autovalores, percentual da variância, percentual acumulado]  
% Para os itens com percentual acumulado ate 80% são calculados os autovetores  
% AutoVetorPCs = [autovetores]  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%Limpa a tela  
clc;  
close all;  
% Ler o arquivo texto no formato CSV ou com TAB e converte em uma matriz  
[DadosCNC_X] = textread(Arquivo,','delimiter','\t');  
% Extrai os itens do CNC para deixar apenas a matriz com o dados lidos da maquina  
VetorItensCNC_X = DadosCNC_X(1,1:size(DadosCNC_X,2)-1);
```

```

%Cria um vetor de itens em função da quantidade parâmetros existentes no arquivo
for i=1:size(DadosCNC_X,2)-1
    VetorItensCNC(i)=i;
end
% Elimina a primeira coluna - os itens
DadosCNC_X = DadosCNC_X(2:size(DadosCNC_X,1),1:size(DadosCNC_X,2)-1);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Trecho do Calculo da Matriz de Covariância e os seus autovalores e autovetores.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Matriz de Covariança
ConvDadosCNC_S =cov(DadosCNC_X);
%Calcula os Principais Componentes, os autovalores e o percentual acumulado
[PC, AutoValor, PercetualAcum]= pcacov(ConvDadosCNC_S);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Gráfico dos autovetores para os componentes principais selecionados.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
PC1 = PC(:,1);
PC2 = PC(:,2);
PC3 = PC(:,3);
% Rotate the data to the PC's
DadosCNC_Y= (DadosCNC_X * PC(:,1:2));
%Plot de PC1 x PC2
plot(DadosCNC_Y(:,1),DadosCNC_Y(:,2),'ro')
title('Grafico dos Dados no eixo PC1 x PC2')
grid on
pause;
%Plot de PC1 x VetorItens
figure;
%plot(VetorItensCNC,PC1,'b+')
bar(VetorItensCNC,PC1,0.5)
title('Grafico de Itens x PC1')
grid on
pause;
%Plot de PC2 x VetorItens
figure;
bar(VetorItensCNC,PC2,0.5)
title('Grafico de Itens x PC2')

```

```
grid on  
pause;  
%Percentual acumulado dos componentes principais  
figure;  
bar(VetorItensCNC,PercetualAcum',0.5)  
title('Grafico de PCs x Percentual Acumulado')  
grid on  
pause;  
close all;
```