

Rosa Maria de Castro Fernandes Vasconcelos

**CONTRIBUIÇÃO À APLICAÇÃO DE TÉCNICAS
DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA
TECNOLOGIA DA FIAÇÃO**

Tese submetida à Universidade do Minho
para a obtenção do grau de Doutor em
Engenharia - Tecnologia e Química Têxtil
Especialidade em Tecnologia Têxtil

Universidade do Minho

1993

**Ao Luis,
à Catarina e à Inês**

AGRADECIMENTOS

Desejo agradecer a todos os que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, em particular :

Ao Prof. Cabeço Silva, pela supervisão desta tese, bem como pelos conselhos e sugestões dadas ao longo de todos estes anos de trabalho.

Ao Prof. Altamiro Machado, pela supervisão no domínio da Informática e pelo incentivo sempre presente.

Ao Prof. José Maia Neves, pelos conselhos e sugestões dados no domínio da Inteligência Artificial.

Aos Profs. Edite Fernandes, Elisabete Cabeço Silva e Pedro Oliveira, pela ajuda e ensinamentos prestados no domínio da Estatística.

Ao Tó Zé, pelo tempo que perdeu na revisão geral da tese, bem como pelos comentários e sugestões relativos a este texto.

Ao Henrique, pela disponibilização de todo o seu conhecimento da programação em C.

Aos colegas do GSI, pelo incentivo dado bem como pela disponibilização do "cantinho de trabalho" em Braga.

A todos os colegas do DET, principalmente à Ana e à Teresa que sempre me incentivaram à realização desta tese.

Ao Nicha, por ter aturado as minhas más diposições ao longo destes anos.

À minha família, especialmente aos meus pais, pelo apoio e incentivo dado ao longo dos anos.

À Catarina e à Inês por terem permitido que lhes roubasse o tempo que deveria ser delas.

E finalmente, queria agradecer ao Luis, a paciência e o apoio ao longo da execução desta tese.

ÍNDICE

Agradecimentos	iii
Resumo.....	ix
<i>Abstract</i>	x
Palavras Chave e <i>Key Words</i>	xi
Lista de Figuras	xii
Lista de Quadros	xiii
Nomenclatura.....	xv

1. INTRODUÇÃO

1.1 Objectivos	1
1.2 Motivação	2
1.3 Metodologia	3
1.4 Aspectos de interesse	5
1.5 Estrutura da tese	7

2. POSICIONAMENTO DO PROBLEMA

2.1 Características da matéria prima	9
2.1.1 Obtenção da rama	9
2.1.2 Comprimento	10
2.1.3 Fibras curtas	12
2.1.4 Parâmetros de finura da fibra	13
2.1.5 Propriedades dinamométricas das fibras	17
2.1.6 Nepes	19

ÍNDICE

Agradecimentos	iii
Resumo.....	ix
<i>Abstract</i>	x
Palavras Chave e <i>Key Words</i>	xi
Lista de Figuras	xii
Lista de Quadros	xiii
Nomenclatura.....	xv

1. INTRODUÇÃO

1.1 Objectivos	1
1.2 Motivação	2
1.3 Metodologia	3
1.4 Aspectos de interesse	5
1.5 Estrutura da tese	7

2. POSICIONAMENTO DO PROBLEMA

2.1 Características da matéria prima	9
2.1.1 Obtenção da rama	9
2.1.2 Comprimento	10
2.1.3 Fibras curtas	12
2.1.4 Parâmetros de finura da fibra	13
2.1.5 Propriedades dinamométricas das fibras	17
2.1.6 Nepes	19

2.1.7	Grau	21
2.1.8	Ceras e gorduras	22
2.1.9	Importância relativa da influência da fibra	22
2.2	Processos de produção	24
2.3	Características do fio.....	34
2.3.1	Aglomerado de fibras para formar um fio	34
2.3.2	Especificação dos fios	37
2.3.2.1	Massa linear	37
2.3.2.2	Torção	38
2.3.2.3	Resistência de ruptura	40
2.3.2.4	Irregularidades de massa	44
2.3.2.5	Pilosidades	45
2.3.2.6	Defeitos nos fios.....	46
2.4	Processos de controlo	48
2.4.1	Controlo da matéria prima	49
2.4.1.1	Finura	50
2.4.1.2	Comprimento	51
2.4.1.3	Propriedades dinamométricas das fibras	52
2.4.1.4	Parâmetros de cor	53
2.4.1.5	Matéria estranha	53
2.4.2	Controlo do fio	55
2.4.2.1	Resistência	55
2.4.2.2	Irregularidades	57

2.4.2.3 Pilosidades	58
2.4.2.4 Torção	58
2.4.3 Controlo no processo	58

3. MODELOS ESTATÍSTICOS PARA O RELACIONAMENTO ENTRE AS PROPRIEDADES DA RAMA E AS PROPRIEDADES DO FIO

3.1 Conceitos teóricos	60
3.2 Desenvolvimento experimental	69
3.2.1 Dados utilizados	69
3.2.2 Selecção da rama em função do fio	73
3.2.2.1 Tratamento estatístico	73
3.2.2.2 Comentários ao tratamento estatístico	79
3.2.2.2.1 Instrumentos Individuais	80
3.2.2.2.2 Motion Control	81
3.2.2.2.3 Spinlab	82
3.2.3 Previsão das propriedades do fio em função das características da rama	84
3.2.3.1 Tratamento estatístico	84
3.2.3.1.1 Processo convencional	85
3.2.3.1.2 Processo não convencional (OE1)	86
3.2.3.1.3 Processo não convencional (OE2)	87
3.2.3.2 Comentários sobre a previsão das propriedades dos fios	88
3.2.3.2.1 Fio convencional	88

3.2.3.2.2 Fio OE1	89
-------------------------	----

3.2.3.2.3 Fio OE2	92
-------------------------	----

4. SISTEMA DE SUPORTE À UTILIZAÇÃO DOS MODELOS

4.1 Conceitos teóricos	94
4.1.1 Arquitectura de um sistema pericial	97
4.1.2 Métodos de representação do conhecimento	102
4.2 O SAF como protótipo	107
4.2.1 Ambiente de implementação	108
4.2.2 Estrutura funcional	109
4.2.3 Implementação	115
4.2.3.1 Pormenores de implementação	117
4.3 Comentários	135

5. CONCLUSÕES

5.1 Análise estatística	137
5.1.1 Rama-fio	137
5.1.2 Fio-rama	139
5.2 SAF	141
5.3 Recomendações para trabalho futuro	142

BIBLIOGRAFIA	143
---------------------------	------------

ANEXOS

ANEXO I - Estudo estatístico	a.2
---	------------

Parte A - Equações de regressão da rama em função das propriedades dos fios...	a.4
---	------------

Parte B - Equações de regressão para a selecção das propriedades das ramas.	a.9
Parte C - Coeficientes de regressão padronizados das equações 1 a 9.	a.18
Parte D - Equações de regressão para a previsão das propriedades dos fios.	a.26
Parte E - Coeficientes de regressão padronizados das equações 10 a 18.	a.35
ANEXO II - Manual de utilização do SAF	a.42

RESUMO

O objectivo deste trabalho era o desenvolvimento de um Sistema de Apoio à Fiação (SAF).

Este trabalho incluía duas fases:

- (i) Determinação dos modelos matemáticos para relacionar as propriedades dos fios com as propriedades das ramas e as propriedades das ramas com as propriedades dos fios. Foram determinados dezoito sistemas de equações, dependendo estes do método de controlo - Instrumentos de Alto Volume (Motion Control e Spinlab) e Instrumentos Individuais - e diferentes processos de produção - Fiação convencional (contínuo de anéis) e Fiação não convencional (OE RU 14 Spincomat e Autocoro 117). A obtenção destes modelos baseou-se numa análise estatística (regressão linear)
- ii) Implementação de um sistema de apoio à fiação para auxiliar o gestor têxtil na selecção das propriedades das ramas e na previsão das propriedades dos fios.

Este sistema foi implementado com a utilização das linguagens de programação PROLOG e C. A representação do conhecimento é efectuada sob a forma de enquadramentos com a utilização de uma ferramenta de suporte (FLEX - Forward Logical Expert Systems) ao desenvolvimento de sistemas periciais.

O sistema pode ser utilizado tanto para prever as características do fio produzido com uma determinada rama, como para seleccionar as características da rama em função das propriedades desejados do fio. Neste caso e depois de ter identificado as características desejadas, o sistema procura na base de conhecimentos características de rama previamente definidas, semelhantes às calculadas.

- Se existir alguma, o sistema fornecerá a indicação completa sobre a sua caracterização, fornecedores e as características que o fio produzido com esta base terá.
- Se não existir nenhuma rama, o sistema procurará dentro das características de fios já produzidos, para verificar se existe algum com características semelhantes às introduzidas.

ABSTRACT

The purpose of the work was the development of a system to support decision making processes related to spinning.

The work included two major phases:

- (i) Development of mathematical models that describe the relationships between the properties of cotton fibers and yarns. Eighteen different models have been identified according to different control processes (HVI-Motion Control and Spinlab and Individual Instruments) and different production processes - ring spinning and rotor spinning (OE RU 14 Spincomat and Autocoro 117). The development of these models was based on a statistical analysis.
- ii) Development of a decision support system -SAF- to be used by textile managers when making decisions concerning the purchase of raw materials.

A SAF prototype was implemented using the programming languages PROLOG and C. The knowledge-base uses a framework shell (FLEX-Forward Logical Expert Systems) that interfaces with PROLOG programming language.

The system can be used either to predict the characteristics of the yarn according to those of the available raw materials or to select the raw materials adequate to produce yarn with specific characteristics. In this case, and after having identified the desired characteristics of the raw materials, the system searches its knowledge base looking for already defined materials with similar ones (within a certain degree of confidence).

- If there are any, the system provides a complete description of those materials, including technical specifications, suppliers and predicts the characteristics of the yarn that could be obtained.
- Otherwise, the system will search for previous cases where yarn with the desired characteristics has been produced and will report which raw materials have been used (the knowledge base includes "historical" data referring to previous spinning processes).

PALAVRAS CHAVE : Análise Estatística, C, Contínuo de Anéis, Fios, Flex, Instrumentos de Alto Volume, Modelos Matemáticos, Motion Control, Open-End Turbina, Prolog, Ramas, Regressão linear, Spinlab, Sistema de Apoio à Fiação, Sistemas Pericias.

KEY WORDS : C, Cotton Fibers, Expert Systems, Flex, HVI, Linear Regression Individual Instruments, Mathematical Models, Motion Control, Prolog, Ring Spinning, Rotor Spinning, Spinlab, Statistical Analysis, Spinning Support System, Yarns.

LISTA DE FIGURAS

- 1.1 Objectivos do SAF
- 1.2 Custos de uma fiação

- 2.1 Finura da fibra e Maturidade
- 2.2 Número de nepes ao longo do processo
- 2.3 Posição das fibras na fita
- 2.4 Fases do processo de fiação
- 2.5 Disposição ideal das fibras num fio
- 2.6 Estrutura da torção num fio convencional
- 2.7 Ligação das fibras na turbina
- 2.8 Sentido da torção
- 2.9 Influência da torção na relação entre a resistência da fibra e do fio
- 2.10 A influência da torção na resistência total do fio
- 2.11 Efeito da torção na resistência dos fios
- 2.12 Fibrograma

- 4.1 Arquitectura de um Sistema Pericial
- 4.2 Componentes de uma base de conhecimento
- 4.3 Componentes do motor de inferência
- 4.4 Técnicas de Controlo
- 4.5 Procura em Profundidade
- 4.6 Procura em Largura
- 4.7 Rede Semântica Simples
- 4.8 Objectos, atributos e valores
- 4.9 Estrutura funcional global do SAF
- 4.10 Estrutura funcional do módulo Simulação Rama
- 4.11 Estrutura funcional do módulo Actualização da Base
- 4.12 Estrutura funcional do módulo Simulação do fio
- 4.13 Estrutura do SAF
- 4.14 Ficheiros existentes no SAF

LISTA DE QUADROS

- 2.I Classificação das fibras de algodão quanto ao comprimento
- 2.II Classificação das fibras de algodão quanto ao índice de uniformidade do comprimento de fibra
- 2.III Título do fio em função do comprimento de fibra
- 2.IV Classificação do algodão quanto à maturidade(ϕ)
- 2.V Escala da finura da fibra
- 2.VI Classificação do algodão quanto à resistência
- 2.VII Classificação do algodão quanto à tenacidade
- 2.VIII Classificação do algodão quanto ao alongamento
- 2.IX Classificação do algodão quanto à percentagem de impurezas
- 2.X As propriedades das fibras como factor influenciador das características do fio para um dado título
- 2.XI Operações efectuadas ao longo do processo de fiação
- 2.XII Número mínimo de fibras por secção num fio
- 2.XIII Factores que contribuem para o aspecto do fio
- 2.XIV Valores típicos do factor de torção
- 2.XV Contribuição da resistência da fibra para a resistência do fio
- 2.XVI Combinação do controlo "on-line" e "off-line" numa linha de fiação
-
- 3.I Significado dos valores obtidos com $\frac{s_e^2}{s_y^2}$
- 3.II Significado do valor de r
- 3.III Análise da variância numa regressão múltipla
- 3.IV Características das fibras analisadas com Instrumentos Individuais
- 3.V Características das fibras analisadas com Instrumentos de Alto Volume
- 3.VI Características do Fio Convencional
- 3.VII Características do Fio Não-Convencional (OE1)
- 3.VIII Características do Fio Não-Convencional (OE2)
- 3.IX Relação das equações de regressão para a selecção da rama
- 3.X Coeficientes de determinação e valor do F de Snedecor para os Instrumentos Individuais

- 3.XI Coeficientes de determinação e valor do F de Snedecor para o Motion Control
 - 3.XII Coeficientes de determinação e valor do F de Snedecor para o Spinlab
 - 3.XIII Coeficientes de determinação e valor do F de Snedecor para os Instrumentos Individuais
 - 3.XIV Coeficientes de determinação e o F de Snedecor para o Motion Control
 - 3.XV Coeficiente de determinação e o valor de F de Snedecor para o Spinlab
 - 3.XVI Características predominantes nos Instrumentos Individuais
 - 3.XVII Características predominantes no Motion Control
 - 3.XVIII Características predominantes no Spinlab
 - 3.XIX Relação das equações de regressão para a previsão do fio
 - 3.XX Coeficientes de determinação e valores de F (Snedecor) obtidos no fio Convencional
 - 3.XXI Coeficientes de determinação e valores de F (Snedecor) obtidos no fio OE1
 - 3.XXII Coeficientes de determinação e valores do F (Snedecor) obtidos no fio OE2
 - 3.XXIII Características predominantes no processo convencional
 - 3.XXIV Características predominantes no processo OE1
 - 3.XXV Características predominantes no no processo OE2
-
- 5.I Coeficientes de determinação obtidos nas equações de selecção das características da rama
 - 5.II Características predominantes nas equações de selecção da rama
 - 5.III Ordem de grandeza dos coeficientes de determinação obtidos nas equações de previsão das propriedades dos fios
 - 5.IV Características predominantes nas equações de previsão das propriedades dos fios

NOMENCLATURA

α	Nível de significância
a_i	Coefficiente de regressão
\hat{a}_i	Valores estimados dos coeficientes de regressão
α_{Ne}	Coefficiente de torção (Ne)
A_0	Área do círculo
α_{tex}	Coefficiente de torção (tex)
A	Secção transversal da fibra
C	Processo convencional
$CV_A(\%)$	Coefficiente de variação da densidade linear das fibras em percentagem
$CV_{lim}(\%)$	Coefficiente de variação limite em percentagem
$CV_r(\%)$	Coefficiente de variação resultante em percentagem
$CV_s(\%)$	Coefficiente de variação na saída em percentagem
$CV(\%)$	Coefficiente de variação em percentagem
D	Dobragem
E	Estiragem
ϵ	Erro (equação 3.1)
$E(y)$	Estimação de Y
F	Valor de F de Snedecor
F_0	Valor de F de Snedecor estabelecido com base num nível de significância
F_p	Valor de F de Snedecor da variável
I	Índice de irregularidade
II	Instrumentos Individuais
K	Constante (equação 2.7)
MC	Motion Control
n	Número de variáveis iniciais
\emptyset	Maturidade
OE1	Processo não convencional (OE RU 14 Spincomat)
OE2	Processo não convencional (Autocoro 117)
p	Número de variáveis que fazem parte do modelo
r	Coefficiente de correlação
r^2	Coefficiente de determinação
σ^2	Variância
σ_e^2	Variância da erros ao quadrado
σ_y^2	Variância da variável y ao quadrado
SP	Spinlab

B	Coefficiente de regressão padronizado
T_e	Massa linear à entrada (tex)
T_s	Massa linear à saída (tex)
tex	Sistema de numeração internacional da massa linear
V_e	Velocidade de entrada
V_s	Velocidade de saída
w1	Percentagem de fibras curtas
w2	Resistência pressley
w3	Percentagem de partículas
x1	Resistência da fibra
x10	Teor de sujidade
x2	Alongamento da fibra
x3	Comprimento de fibra
x4	Índice de uniformidade do comprimento
x5	Micronaire
x6	Reflectância
x7	Grau de amarelo
x8	Índice de cor1
x9	Índice de cor2
Y	Variável dependente
\bar{Y}	Média de Y
Y_i	Variável Y índice i
\hat{Y}_i	Estimativa da variável Y
y1	Coefficiente de torção
y10	Pontos grossos
y11	Nepes
y12	Pilosidades
y2	Número do fio
y3	Coefficiente de variação do número
y4	Resistência do fio
y5	Coefficiente de variação da resistência
y6	Alongamento
y7	Coefficiente de variação do alongamento
y8	CVUster
y9	Pontos finos
$\sum e_i$	Somatório dos desvios em Y
$\sum e_i^2$	Somatório do quadrado dos desvios em Y

1. INTRODUÇÃO

1.1 Objectivos

O objectivo central deste trabalho é a concepção e implementação de um Sistema de Apoio à Fiação (SAF) (Figura 1.1) que auxilie o gestor têxtil no sentido de seleccionar mais rapidamente as características da fibra têxtil (rama de algodão) a utilizar, para obter um fio com boa qualidade (obedecendo a um certo número de especificações) a um baixo custo, bem como o de prever as características de um fio com a utilização de uma determinada fibra (rama de algodão).

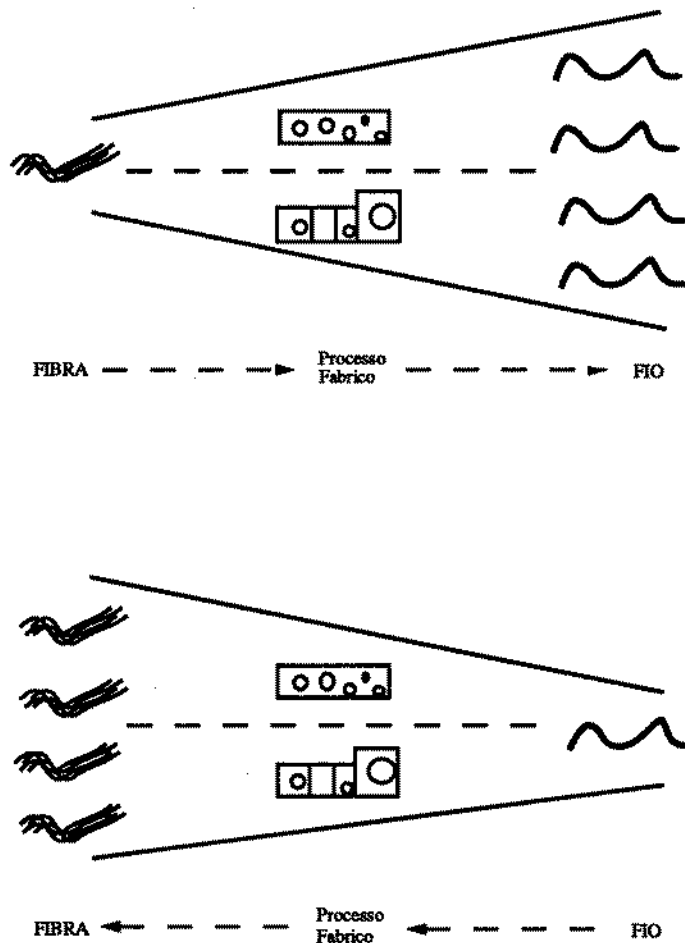


Figura 1.1 - Objectivos do SAF

O trabalho de investigação subjacente à elaboração desta tese desenvolveu-se em três fases. Numa primeira fase reviu-se a documentação e a literatura existente sobre os domínios presentes na actividade da Fiação. Foram assim analisados os aspectos relacionados com as fibras têxteis (rama de algodão), com as características do fio, os processos de produção e os processos de controlo implicados.

Na segunda fase, através da utilização de técnicas estatísticas, determinaram-se modelos matemáticos representativos das relações existentes entre as diferentes propriedades da rama e do fio e entre as propriedades do fio e da rama, no caso do processo de fiação cardado. O tratamento estatístico foi essencialmente centrado na utilização da análise da regressão.

Na terceira parte do projecto, concebeu-se e implementou-se uma ferramenta pela utilização de técnicas de Inteligência Artificial, nomeadamente, utilização dos Sistemas Periciais [1,2], para suportar os modelos matemáticos construídos. Nesse sistema são também considerados os aspectos relacionados com a representação das características da rama, dos fios e do mercado.

1.2 Motivação

Um dos factores que nos levou à realização deste trabalho deve-se ao facto de em estudos anteriores [3], se ter verificado que a matéria prima representa uma parte substancial no custo da produção numa fiação (Figura 1.2). Este facto, por si só, é suficiente para indicar a importância da matéria prima para o fiandeiro.

Como é do conhecimento geral, uma economia excessiva em relação a matéria prima usualmente não reduz os custos, e normalmente aumenta-os, devido à sua deterioração no processo de fabricação do fio. As propriedades das fibras de algodão determinam a sua utilização e são da maior importância para os produtores, fiandeiros, acabadores e utilizadores. A maior parte das propriedades das fibras pode ser caracterizada recorrendo a aparelhos e instrumentos de medida (caracterização objectiva). Sob condições devidamente controladas a análise instrumental das propriedades das fibras pode explicar cerca de 85% de variação na resistência do fio e 80% da variação do desempenho no processo de fiação [4].

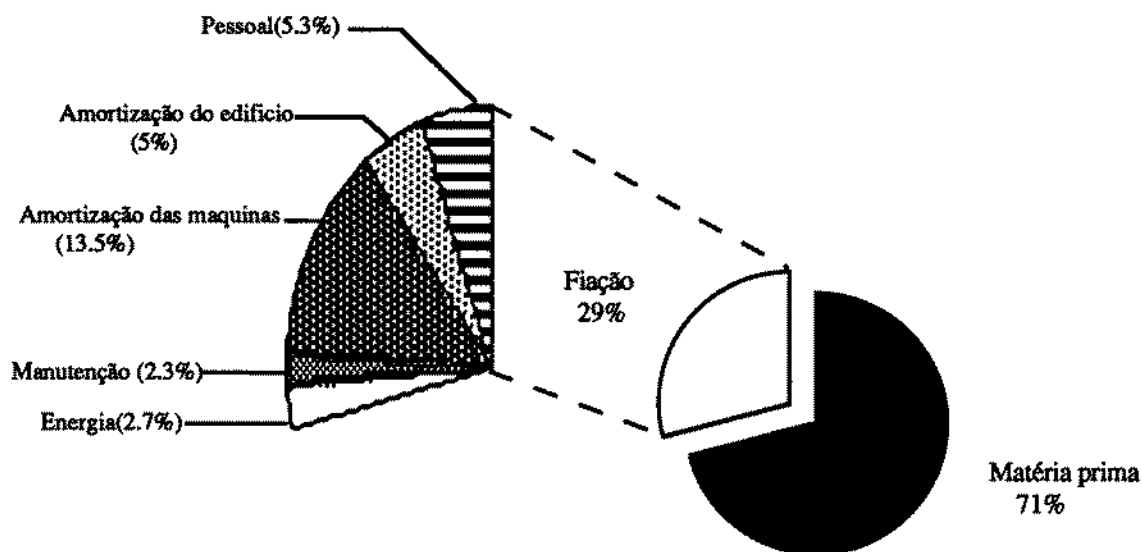


Figura 1.2 - Custos de uma fiação

A evolução tecnológica, nomeadamente no campo da electrónica e da informática [5] potenciam um aumento de produtividade e de qualidade do produto final da indústria têxtil (fio). A obtenção destas melhorias tem sido conseguida pela introdução, nas máquinas que participam no processo produtivo, de componentes que permitem efectuar um controlo em tempo real das matérias que se encontram na fase de produção. O foco da nossa atenção não é o da alteração das características das máquinas utilizadas no processo de Fiação, mas antes avaliar e estudar os reflexos das características das matérias primas (fibras) que podem vir a ter no produto final (fio), permitindo desta forma obter um fio com as características pretendidas com a utilização da matéria prima apropriada.

1.3 Metodologia

Tem sido efectuada um esforço de pesquisa considerável para identificar e quantificar as propriedades das fibras que desempenham um papel importante no processo de fabrico e no fio propriamente dito. Numerosas tentativas têm sido feitas para quantificar estes efeitos e estabelecer relações matemáticas (teóricas ou empíricas) entre as propriedades das fibras por um lado e o processo de fiação por outro. A maioria destes estudos tem-se voltado principalmente para o processo de fiação e as propriedades dos fios - resistência do fio [4, 6 - 23] e, em número mais baixo, parâmetros de irregularidade [24, 25]. Ainda hoje não se pode afirmar que existe qualquer tipo de equação que possa ser aplicada universalmente, possivelmente pelo facto de certas propriedades das fibras, como o frisado

(ou convoluções) e a fricção, serem afectados pelo conteúdo e pela natureza das substâncias não celulósicas, como a cera existente na superfície da fibra. Este factor tem um efeito significativo no processo, mas trata-se de uma característica extremamente difícil de quantificar. Outros factores que prejudicam o estabelecimento duma relação universal são inerentes a variações nas propriedades das fibras [4] mesmo dentro de um mesmo fardo e a frequente (mas não consistente) correlação entre as diferentes propriedades das fibras. Este problema tem também a ver com as interrelações entre as propriedades macro e micro, isto é entre as propriedades das fibras, como o comprimento, resistência, alongamento, finura e maturidade, por um lado e a estrutura da fibra (cristalinidade e a estrutura microfibrilar) por outro.

Neste projecto em particular, o estudo centrou-se no algodão, uma vez que este constitui a fibra têxtil de maior utilização [26]. Devido ao facto de se tratar de uma fibra natural, as suas propriedades são variáveis, dado que estas são determinadas pelos factores genéticos e pelas condições de crescimento. Um dos maiores problemas que se coloca hoje em dia perante o gestor têxtil é o da selecção das características da rama, apropriadas para a produção de um determinado fio, sendo outro dos seus problemas o da previsão das propriedades finais do fio produzido com uma determinada rama, bem como posteriormente o da determinação do processo que se encontra mais adequado para efectuar essa produção.

Desta forma, como já foi referido, os estudos da previsão das propriedades dos fios em função das características das ramas utilizadas já se encontram em desenvolvimento há vários anos, embora o número de parâmetros estudados neste caso seja superior ao utilizado pelos diferentes autores referenciados. Pretende-se assim aumentar o número de especificações referentes ao fio com o objectivo de prever o seu comportamento futuro em todas as características possíveis de quantificar, assim como aumentar este estudo com a introdução das relações existentes entre as características do fio com as características da rama. Com a determinação destes modelos, permitimos que o gestor possa obter um fio com a utilização das ramas mais apropriadas para o efeito. Este é um aspecto inovador, no que diz respeito à selecção das características da rama em função de características de fio pré-definidas, dado que até aqui, a preocupação constante dos diferentes autores que realizaram estudos semelhantes foi o da determinação das características finais do fio.

Uma das nossas primeiras preocupações foi a forma de como é que poderíamos obter os dados que nos garantissem o estabelecimento correcto das equações, de forma a termos a garantia de que o fio fosse produzido pela rama estudada. Este problema foi ultrapassado com a utilização de dados que nos garantiam esses requisitos. Seguidamente, confrontámo-nos com a escolha do método a utilizar para a obtenção dos modelos

matemáticos que nos relacionassem as propriedades das fibras com propriedades dos fios (selecção das características da rama) e as propriedades dos fios com as propriedades das fibras (previsão das características dos fios). Dado que em estudos anteriores, os autores utilizaram o método de regressão linear com bons resultados, optou-se pela utilização deste método para a realização deste trabalho. O grande volume de características envolvidas para a determinação das diferentes equações motivou a escolha de uma regressão por fases (método *backward*). A escolha deste método de resolução deve-se ao facto de ser possível observar na primeira iteração o comportamento de todas as variáveis existentes no processo tanto de controlo como de produção.

Depois de se ter determinado os modelos matemáticos que servem de suporte à selecção das características da rama a utilizar ou à previsão das características do fio, poder-se-ia calcular os valores manualmente, embora os seus cálculos fossem complexos, o que tornaria esta tarefa fastidiosa e potenciadora de erros, optou-se por desenvolver um sistema computacional que lhes serviria de suporte e diminuiria consideravelmente o tempo de resposta, bem como minimizaria os erros .

Desenvolveu-se um sistema baseado em técnicas de Inteligência Artificial (Sistema Pericial) que nos calcula os valores das características tanto da rama como do fio que deveriam ser utilizadas em função dos dados introduzidos (características de rama ou do fio), tendo como base para a sua resolução, os modelos matemáticos determinados anteriormente. De forma a complementar este sistema introduziram-se dados na base que caracterizam ramos, fios e fornecedores. Desta forma possibilita-se ao gestor uma procura na base, de ramos com características semelhantes às calculadas, e se tal existir, poderemos ter acesso às características do fio produzido pela rama obtida na pesquisa. Outro das capacidades deste sistema é o de permitir saber qual o fornecedor que tem a rama pretendida. De qualquer forma, pode acontecer que não seja encontrada na base nenhuma rama semelhante, optando-se neste caso pela procura nos fios se existe algum já produzido com características semelhantes às introduzidas.

1.4 Aspectos de interesse

Para o correcto desenvolvimento deste trabalho, torna-se necessário considerar os seguintes aspectos:

- Características da rama;
- Características do fio;

- Processos de controlo;
- Processos de fiação.

As características das fibras têxteis (rama de algodão) foram os parâmetros utilizados neste estudo para a obtenção dos modelos matemáticos que preveriam as propriedades dos fios. As propriedades das fibras de algodão determinam a sua utilização e são da maior importância para os produtores, fiandeiros, acabadores e utilizadores. Esta importância torna-se ainda mais notória quando se leva em conta o processo de produção e o tipo de matéria prima utilizada, que poderão condicionar a produtividade, bem como a qualidade.

No caso das características dos fios, foi efectuado um estudo sobre as diversas propriedades dos fios, analisando-se desta forma os parâmetros de irregularidade, nomeadamente no que diz respeito à irregularidade de massa (CVUster), os pontos finos, pontos grossos, nepes e pilosidades, os parâmetros dinamométricos, como a resistência e alongamento do fio, e os relativos à densidade linear para assim conseguirmos obter modelos que seleccionariam as propriedades das ramas a utilizar para a produção de um fio com características pré-definidas.

Quanto aos processos de controlo, como é de conhecimento geral, no seu percurso desde a rama até ao fio, as matérias primas são submetidas a uma grande sucessão de testes. Neste projecto foram unicamente considerados os testes efectuados na matéria prima (algodão) e no produto final (fio). No controlo da rama de algodão, dado a não uniformização de aparelhos de controlo utilizados nas fábricas têxteis, foi necessário obter-se dados das características da rama utilizando-se diferentes instrumentos de controlo. Isto é, hoje em dia, o controlo da rama pode ser efectuado utilizando-se Instrumentos Individuais ou então Instrumentos de Alto Volume [27, 28]. O primeiro caso é dos mais utilizados, pois o controlo da rama continua a ser efectuado por diferentes tipos de instrumentos, embora se note que há cada vez mais a tendência para que o controlo seja efectuado com Instrumentos de Alto Volume. Mesmo assim, existem tipos diferentes dentro destes, obtendo-se valores distintos para a caracterização da rama consoante o instrumento utilizado, não existindo ainda factores que os correlacionem entre eles.

Outro dos aspectos estudados foi o dos processos de produção. O processo de fiação consiste na transformação da matéria prima sob a forma de rama, em fio, o qual irá ser posteriormente utilizado. Para se conseguir atingir este objectivo, existem diversos processos, desde a utilização da fiação convencional até à fiação não convencional. As diferenças entre estes processos residem principalmente na utilização de diferentes máquinas

na fase final do processo. No caso da fiação convencional, a última fase do processo é efectuada pelo contínuo de anéis, enquanto na fiação não convencional esta pode ser efectuada das seguintes formas, dependendo do processo a utilizar [29 - 33]

Fiação open-end de turbina

Fiação open-end de fricção

Fiação por enrolamento

Fiação por jacto de ar

No presente caso, os sistemas estudados foram o sistema convencional (contínuo de anéis) e o não convencional (open end de turbina). A escolha recaiu sobre estes dois processos de Fiação, dado serem os mais utilizados na indústria portuguesa [34].

1.5 Estrutura da tese

A tese encontra-se organizada do seguinte modo:

No capítulo 2, é efectuado um posicionamento do problema no domínio têxtil. Este encontra-se dividido em quatro secções. Na primeira secção são abordados os aspectos relacionados com as diferentes características da rama de algodão, sendo mencionada a influência de cada uma destas no processo de fiação. Na segunda secção, são mencionados quais os objectivos das diferentes etapas num processo de produção. Na parte final desta secção apresentam-se os processos de produção mais comumente utilizados. No presente caso, são focados os processos convencional (contínuo de anéis) e o não convencional (open-end de turbina). Na terceira secção são abordados os conceitos teóricos para a formação de um fio, bem como as características que se encontram associadas a estes. A quarta secção encontra-se dividido em três partes. Na primeira parte, são focados os aspectos relativos à forma como é efectuado o controlo da rama, hoje em dia. São abordados, quer os Instrumentos Individuais, quer os Instrumentos de Alto Volume. Neste último caso, consideraram-se dois equipamentos distintos (Spinlab e Motion Control). Na segunda parte, são abordados os testes normalmente efectuados em fios. Finalmente, na terceira parte, são descritos alguns dos processos de controlo utilizados no processo de fiação.

O capítulo 3, encontra-se dividido em 2 secções. Na primeira secção, são abordados os conceitos teóricos necessários à obtenção dos modelos matemáticos. A

segunda secção incide sobre os modelos calculados, quer no caso das equações de selecção da rama, quer na previsão das equações do fio .

O capítulo 4 encontra-se dividido em três secções. Na primeira abordam-se os conceitos teóricos que se encontram associados à utilização de sistemas periciais. Na segunda são focados o tipo de ambiente escolhido para se implementar o sistema, é efectuada uma referência à "shell" utilizada e, por fim, apresentada a estrutura adoptada para se fazer a implementação do SAF (Sistema de Apoio à Fiação). Na terceira são feitos alguns comentários ao SAF.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões gerais do trabalho efectuado, bem como serão efectuadas as recomendações para trabalho futuro.

2. POSICIONAMENTO DO PROBLEMA

2.1 Características da matéria prima

2.1.1 Obtenção da rama

O ponto inicial num processo de fiação são as ramas utilizadas no seu processo de fabricação. Iremos apenas considerar as características da fibra de algodão dado ser esta, o objecto de estudo. Convém salientar que o efeito das propriedades das fibras no desempenho durante o processo e no fio dependem do processo utilizado, bem como do sistema de fiação e condições de funcionamento.

Devido ao facto do algodão ser uma fibra natural, as características deste são determinadas por diversos factores, tais como [35]:

- variedade, área de crescimento, condições climáticas, tempo e método utilizado na colheita, bem como a forma como é efectuado o descaroçamento.

Um dos primeiros factores mencionados, foi a área de crescimento. Também, neste campo têm sido desenvolvidos esforços para que se consiga obter melhoramentos na qualidade do algodão. Com os estudos efectuados [35, 36] procura-se aumentar a qualidade da fibra, bem como obter um acréscimo de produção.

Outro dos factores importantes que intervêm na qualidade do algodão é o modo como é efectuado o descaroçamento. Os preços do mercado dos produtores de algodão [37] divergem devido a factores de qualidade que são inerentes ao tipo de máquina utilizada no descaroçamento. Esta operação pode unicamente manter a qualidade da fibra de algodão e nunca melhorá-la. É necessário ter em conta que uma limpeza excessiva pode ser traduzida [38, 39] numa redução do comprimento da fibra, aumento do número de fibras curtas e um aumento no número de nepes existentes. Além deste facto, conclui-se [40], que mesmo que a matéria estranha não seja totalmente removida, com o objectivo de não danificar a fibra, as operações subsequentes da abertura e limpeza na fiação conseguem remover a matéria estranha.

Um dos factores mais importantes no processo de descaroçamento é a taxa de humidade a que este é processado. Quando o algodão é descaroçado com uma taxa de humidade elevada, o comprimento médio da fibra, bem como a percentagem de impurezas,

serão maiores do que se esta operação se efectuasse com uma taxa de humidade baixa. A taxa de humidade aconselhável [37] é de 7%, mas valores entre os 6 e os 7,5% são aceitáveis. Descarçamentos abaixo dos 5%, podem causar problemas sérios nas fibras e acima de 7,5% aumentam consideravelmente o conteúdo da matéria estranha.

2.1.2 Comprimento

Devido aos instrumentos de Alto Volume , este tipo de parâmetro poderá ser um dos mais importantes, sobrepondo-se ao grau, sendo isto devido ao facto de que, na comercialização da rama, bem como no processamento, ser um dos principais responsáveis pelo custo da matéria prima e pelo bom desempenho do processo. A fibra de algodão [41] pode apresentar diferentes comprimentos, de acordo com a variedade, condições de crescimento, colheita e descarçamento. Além do comprimento da fibra, outro dos parâmetros importantes é o valor do índice de uniformidade do comprimento da fibra, pois uma grande variação no comprimento [4] tende a aumentar os desperdícios e além disso provocar perturbações no processo.

O comprimento da fibra é, provavelmente, o melhor critério para determinar [42]:

- Limite de fiação.
- Resistência do fio.
- Regularidade do fio.
- Voluminosidade.
- Toque.
- Brilho.
- Pilosidade.
- Produtividade.

A produtividade é afectada pelo número de quebras, a quantidade de desperdícios, a torção necessária (o número de voltas por metro) e pelas condições gerais do processo.

Pode dizer-se que fibras com um comprimento inferior a 4-5mm vão ser perdidas no processo(como desperdícios ou esvoaços), fibras com um comprimento até 12-15 mm não contribuem para a resistência do fio, contribuindo somente para o aumento da voluminosidade e fibras com comprimento superior são responsáveis pelas características dos fios.

Embora nos fios produzidos pelo OE (Open-End) [43], o comprimento de fibra não seja um factor importante é necessário ter em conta que se utilizarmos fibras compridas, estas têm uma tendência para se enrolarem, no trajecto no interior da turbina. No cilindro da entrada, as fibras curtas separam-se melhor que as compridas, fazendo com que se orientem de uma melhor forma no trajecto no interior da turbina.

Além deste facto, foi provado [43] que a tenacidade de um fio OE diminui com o aumento do comprimento de fibra, passando-se o contrário num fio convencional. Este facto traduz a importância que esta característica tem para a escolha do processo de fiação a utilizar.

Uma classificação subjectiva do comprimento ("*pulling*") está cada vez mais a ser substituída por testes objectivos, como o da utilização do fibrógrafo, o qual fornece um gráfico do comprimento de fibra *versus* percentagem em massa de fibra. Um dos valores típicos do gráfico é o da determinação do "*span length*" a 2.5%, sendo este geralmente semelhante ao do comprimento da fibra ± 1 mm obtido pelo "*pulling*". O valor calculado com esta percentagem de fibras (fibras mais compridas) é o mais utilizado para afinar a distância entre os cilindros de estiragem, enquanto que o "*span length*" de 50% é uma medida potencial do processo de fiação e da qualidade do fio. A classificação das fibras quanto ao seu comprimento encontra-se ilustrado no quadro 2.I [44].

Quadro 2.I - Classificação das fibras de algodão quanto ao comprimento(UHML)

Comprimento de fibra (")	Classificação
< 0,99	Curta
0,99 - 1,10	Média
1,11 - 1,26	Longa
> 1,26	Extra longa

Outras das características necessárias para o fiandeiro é o índice de uniformidade de comprimento de fibra, dado este traduzir a forma de distribuição do comprimento de fibra. Esta é normalmente expressa como sendo a razão entre o comprimento médio e o comprimento médio da metade superior. As fibras de algodão podem ser classificadas [44] quanto ao seu índice de uniformidade de comprimento, conforme o apresentado no quadro 2.II.

Quadro 2.II - Classificação das fibras de algodão quanto ao índice de uniformidade do comprimento de fibra

Índice de Uniformidade(%)	Classificação
< 77	Muito Baixo
77 - 79	Baixo
80 - 82	Médio
83 - 85	Elevado
> 85	Muito elevado

Outra das características que podem ser determinadas num gráfico deste tipo é o da percentagem das fibras curtas, as quais serão mencionadas na sub-secção seguinte. Para se ter uma ideia da relação que existe entre o comprimento de fibra de algodão e o número do fio, pode ver-se o quadro 2.III.

Quadro 2.III - Título do fio em função do comprimento de fibra

Comprimento de fibra (")	Fio Cardado (tex)
7/8	> 30
7/8 - 1 1/32	20 - 30
1 1/32- 1 1/8	12 - 20
Fio Penteado (tex)	
Até 1 1/16	> 30
1 1/16- 1 1/8	15 - 30
1 1/8- 1 1/4	10 - 15
1 1/4- 1 3/8	8 - 10

2.1.3 Fibras curtas

Além do coeficiente de variação do comprimento de fibra [41], o qual determina a variação de comprimento de fibra na amostra e do comprimento médio, a percentagem de

fibras curtas é um parâmetro importante a determinar no diagrama de comprimento de fibra. Esta característica da fibra é importante, pois influencia o limite de fiação [42], resistência do fio, espessura, toque do produto, pilosidade [45] e produtividade, principalmente no caso da fiação convencional, pois na fiação open-end de turbina este parâmetro não tem uma importância tão significativa.

Esta característica tem um papel importante no processo, pois não é controlada positivamente durante a estiragem, sendo então designadas por fibras flutuantes. O valor destas torna-se importante, pois um aumento nas fibras curtas ou flutuantes vai fazer com que o número de quebras durante o processo aumente, bem como a percentagem de desperdícios e a torção inserida, causando uma deterioração nas propriedades do fio.

Na maioria dos casos, a proporção de fibras curtas é especificada como uma percentagem do peso das fibras mais curtas que 10, 11, 12 ou 12,5 mm [46]. O limite ainda não se encontra padronizado mas a média indica valores da ordem dos 12 ou 12,5 mm.

Um aumento na quantidade de fibras curtas [46] pode causar um aumento na percentagem de desperdícios, uma menor resistência no fio, bem como um aumento na irregularidade [47].

Para que este parâmetro possa ser facilmente quantificado, foi estudado um método alternativo, que o relaciona com o índice de uniformidade do comprimento da fibra [24]. Chegou-se à conclusão que o índice de uniformidade do comprimento, determinado com os Instrumentos de Alto Volume, se relaciona negativamente com a percentagem de fibras curtas. Além deste factor, verificou-se, que quando existe uma correlação entre a percentagem de fibras curtas com o processo ou então com as propriedades dos fios, existe sempre uma correlação do índice de uniformidade do comprimento com os mesmos, o qual é igual em valor absoluto, mas de sinal contrário.

Estudos efectuados demonstram que a percentagem de fibras curtas tem um efeito elevado no desempenho do processo [48], podendo estas ser responsáveis pelo aparecimento [41] de irregularidades e alterações na qualidade do fio.

2.1.4 Parâmetros de finura da fibra

A fibra de algodão é constituída por várias paredes celulósicas e um lúmen. O índice de maturidade é uma medida relativa da espessura da parede da fibra [49], dependente esta da deposição de celulose na superfície interna da fibra de algodão. O desenvolvimento das paredes do algodão dá-se em duas fases distintas, a primeira é o desenvolvimento em

comprimento, seguindo-se o desenvolvimento na largura [50]. Contudo, as condições de crescimento, tempo de colheita, ataques de doenças podem impedir o algodão de atingir a sua maturidade máxima, obtendo-se desta forma uma fibra imatura. Estas fibras imaturas (por vezes chamadas de mortas) mesmo com um comprimento normal, mostram pouco ou nenhum desenvolvimento da parede secundária e, depois da abertura da cápsula, estas aparecem com a forma de fitas, com uma secção transversal mais achatada. Pierce [51] definiu a maturidade como a razão entre a secção transversal (A) e a área do círculo com o mesmo perímetro. Matematicamente, ter-se-á:

$$\phi = \frac{A}{A_0} \quad (2.1)$$

Schnek [42] sugere que a fibra deve ser considerada "madura" quando a parede celulósica representa 50-80% da secção transversal, como imatura quando esta representa 30-45% e como morta quando o valor for menor do que 25%. O aparecimento de 5% de fibras imaturas num fardo, pode contribuir para a diminuição da resistência do fio, um maior aparecimento de nepes, um aumento no número de fibras curtas e tingimento irregular. Idealmente, os valores da maturidade medidos por diferentes técnicas [52 - 54] deveriam medir a espessura da parede dum algodão, relativamente a outro que se encontre perfeitamente maduro. As fibras imaturas têm geralmente uma espessura da parede da ordem dos 2µm. De qualquer forma, é necessário ter em conta que as cápsulas de algodão não contêm só fibras maduras; mesmo que o seu crescimento tenha sido efectuado nas melhores condições, contêm pelo menos 0,5% de fibras imaturas. Uma proporção baixa de fibras imaturas não afectará a média da maturidade, podendo somente ter mais tendência para formar nepes, danificando desta forma a aparência do fio. O quadro 2.IV apresenta a classificação utilizada para as fibras de algodão, quanto à sua razão de maturidade [44].

Quadro 2.IV - Classificação do algodão quanto à razão de maturidade

Razão de maturidade	Classificação
< 0,7	Muito imatura
0,7 - 0,8	Imaturo
0,8 - 1,0	Maduro
> 1,0	Muito maduro

O índice micronaire, dentro de uma variedade de algodão, é geralmente a medida da maturidade [55]. Mas quando diferentes variedades de algodões se encontram envolvidos, o

índice micronaire é uma função comum, tanto da maturidade, como da finura intrínseca ou perímetro do algodão. Na prática, o efeito da mudança do índice micronaire pode ser devido a dois factores: se há mudança na maturidade da fibra (factor ambiente) ou então se há mudança na finura básica do algodão (factor genético).

O valor obtido para o índice micronaire é muito utilizado na indústria como uma medida de finura da matéria prima, talvez por ser de fácil determinação.

No caso dos têxteis lineares, a finura é especificada pela relação existente entre a massa e o comprimento:

$$\text{tex} = \frac{\text{massa(g)}}{\text{comprimento (Km)}} \quad (2.2)$$

ou

$$\text{dtex} = \frac{\text{massa (dg)}}{\text{comprimento (Km)}} \quad (2.3)$$

A finura da fibra (densidade linear da fibra) é expressa em função de uma massa por unidade de comprimento. No sistema internacional, o valor utilizado é o militex ($\mu\text{g}/\text{cm}$). Esta propriedade da fibra vai determinar quantas fibras se podem encontrar na secção transversal do fio. Um aumento do número de fibras na secção transversal, para além de aumentar a resistência faz com que estas se distribuam melhor no fio.

A finura da fibra influencia [42]:

- Limite de Fiação
- Resistência do fio
- Espessura do fio
- Toque
- Brilho
- Produtividade
- Cair do produto final
- Voluminosidade

A produtividade é influenciada pelo número de quebras que podem existir ao longo do processo, pela torção (número de voltas por polegadas) que o fio necessita. Na produção de misturas é necessário ter em conta, pelo menos nos processos convencionais, que as fibras finas localizam-se, na sua maioria, na parte central do fio, enquanto que as fibras

grossas se encontram na periferia.

No processo, também o valor do índice micronaire vai ter influência, pois algodões com baixos índices micronaire e imaturos produzem uma maior quantidade de desperdício. Isto devido ao facto das fibras imaturas terem uma menor resistência, atingindo o ponto de ruptura com mais facilidade, o que vai aumentar o conteúdo em fibras curtas e, conseqüentemente, a percentagem de desperdício. Estas também têm a tendência de se enrolarem sobre partículas de impurezas, dificultando desta forma a limpeza e aumentando o número de fibras boas que se retiram com a matéria estranha. A razão [56] para penalizar os algodões com baixos índices micronaire é, em primeiro lugar, resultado da imaturidade, produzindo-se desta forma fios com muitos defeitos, os quais não podem ser tingidos uniformemente e apresentam uma grande quantidade de nepes.

As fibras imaturas têm uma rigidez muito baixa e enrolam-se com extrema facilidade, formando desta forma nepes, particularmente durante a cardação, aumentando este efeito drasticamente quando o índice micronaire se encontra abaixo de 4. A finura da fibra é tão importante como a maturidade para a determinação de nepes na carda. Foi determinado que um algodão, durante o descaroçamento, tem uma tendência para formar nepes que é inversamente relacionada com a maturidade e directamente relacionada com a quantidade de impurezas [57]. A combinação de fibras finas e longas é um factor potencial para a formação de nepes durante a manipulação mecânica do algodão.

O efeito da finura da fibra na fiação convencional não se apresenta muito relacionado. Mas, de qualquer forma, as fibras com títulos mais baixos permitem que a torção, tanto da mecha, como a do fio sejam menores (a finura é um factor crítico para a determinação do coeficiente de torção), devido ao aumento do número de fibras na secção que se encontra associado. Os algodões mais finos, por outro lado melhoram o desempenho do processo produtivo (fiação) e a resistência do fio, desde que aqueles não sejam muito imaturos. Este aumento nas propriedades é devido ao facto de se aumentar o número de fibras na secção do fio.

No caso do algodão, pode ser utilizado o valor do índice micronaire para especificar a finura de uma determinada fibra. A escala da finura é a apresentada no quadro 2.V [58].

Quadro 2.V - Escala do valor do índice micronaire

Índice micronaire	Finura
< 3,5	Muito fina
3,5 - 3,9	Fina
4,0-4,9	Média
5,0-5,9	Grossa
> 6	Muito grossa

É necessário relembrar que o valor obtido no índice micronaire não representa por vezes a finura da fibra. A figura 2.1 ilustra a relação existente entre o índice micronaire, finura da fibra, razão da maturidade e o diâmetro teórico da fibra [44].

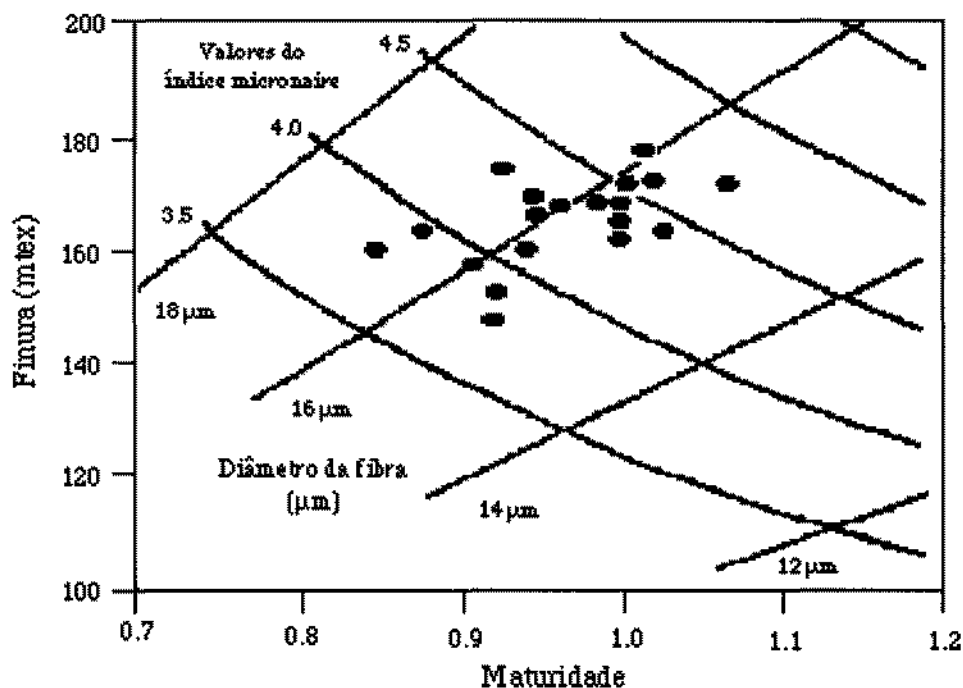


Figura 2.1 - Finura da fibra e Maturidade

2.1.5 Propriedades dinamométricas das fibras

Consideram-se como propriedades dinamométricas, a resistência e o alongamento. Estas são provavelmente as mais importantes na caracterização das fibras de algodão. Este facto justifica-se pela contribuição destas para o comportamento durante o processo e para as

características do produto final.

No caso da resistência, esta influencia o processo produtivo, pois algodões mais resistentes não dão normalmente tantos problemas e não formam tantos nepes, durante o processo, do que os algodões mais fracos. O efeito da resistência da fibra no processo parece ser pequena, mas a realidade é que com algodões mais resistentes o processo é mais rentável.

As diferenças de resistências entre diferentes tipos de algodões podem ser atribuídos a diferenças na estrutura e na morfologia destes, tais como os ângulos de convoluções e a orientação molecular.. A resistência da fibra pode ser quantificada com dois tipos de aparelhos (Pressley e Stelometer). Esta é calculada depois de se efectuar um teste num feixe de fibras, colocando-se estas nas maxilas do aparelho, ou separadas com um espaçador (1/8") ou então utilizando-se um espaçamento igual a zero e submetendo-se as fibras a uma força de tracção crescente até provocar a ruptura destas. Geralmente, para a distância entre amarras de zero, o qual é ainda muito comum, os resultados são dados em termos de unidades Pressley (1000 libras por polegada ao quadrado), obtendo-se a seguinte escala de valores para as fibras de algodão (quadro 2.VI) [42].

Quadro 2.VI - Classificação do algodão quanto à resistência

Escala de valores Pressley	Classificação
>93	Excelente
92- 87	Muito forte
86 - 81	Forte
80 - 75	Médio
74 - 70	Fraco
< 70	Muito fraco

De qualquer modo, a tendência é de se utilizar o espaçador (distância entre amarras de 1/8"), pois o valor obtido desta forma é mais fácil de se correlacionar com a resistência do fio.

Geralmente, este teste é efectuado no Stelometer e expresso em unidades ou gf/tex ou cN/tex. Um algodão resistente pode atingir valores de tenacidade (resistência/ unidade de comprimento) à volta dos 25 cN/tex. A classificação do algodão utilizando o Stelometer com

espaçador é a apresentada no quadro 2.VII [44].

Quadro 2.VII - Classificação do algodão quanto à tenacidade

Tenacidade(cN/tex)	Classificação
<17	Muito fraco
18 - 21	Fraco
22 - 25	Médio
26- 29	Resistente
> 30	Muito resistente

Quanto ao alongamento da fibra, esta afecta directamente o alongamento do fio mas não tem muito efeito no processo. A correlação [4] entre o alongamento do fio e da fibra é função do comprimento de fibra, do coeficiente de torção e da massa linear do fio.

Geralmente, o alongamento da fibra é medido ao mesmo tempo que a resistência, quando se utiliza o espaçador, sendo expresso como uma percentagem do comprimento inicial. A apreciação desta característica encontra-se no quadro 2.VIII [44].

Quadro 2.VIII - Classificação do algodão quanto ao alongamento

Alongamento (%)	Classificação
< 5	Muito baixo
5,0 - 5,8	Baixo
5,9 - 6,7	Médio
6,8 - 7,6	Elevado
> 7,6	Muito elevado

2.1.6 Nepes

Nepes [57] são considerados como emaranhamentos de fibras, podendo-se dividir em dois tipos. Uns que são pequenos nós de fibras e outros que contêm partículas estranhas à fibra(impurezas). O número de nepes na matéria prima é dependente de um grande número de variáveis [59]:

- Tipo de algodão.
- Área de crescimento.
- Maturidade.
- Método utilizado na colheita.
- Método utilizado no descaroçamento.

Além destes factores, o processo utilizado na produção do fio pode ter uma grande influência. Foi estudado [60] e concluído que as condições do processo contribuem mais para a formação dos nepes que propriamente as propriedades das fibras.

Uma grande parte dos nepes que aparecem na rama são produzidos no descaroçamento, sendo este número aumentado substancialmente na abertura e limpeza da rama, como se pode observar no Figura 2.2 [60]. O número destes deve ser controlado, pois estes além de darem origem a irregularidades no fio (pontos grossos), podem trazer vários problemas a nível do tingimento.

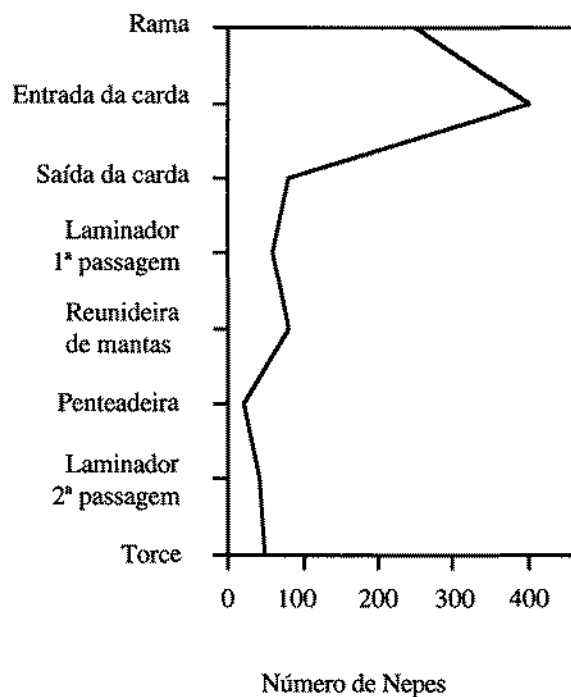


Figura 2.2 - Número de nepes ao longo do processo

2.1.7 Grau

O grau do algodão é a característica da fibra que mais afecta o valor comercial. Este é função de três parâmetros [4]: cor, preparação e conteúdo de impurezas.

Hoje em dia a cor é medida objectivamente e expressa em termos de grau de cinzento ou amarelos. Na maior parte dos casos, quando o grau de cinzento é baixo, o branqueamento pode reduzir ou até eliminar a cor existente no algodão, mas pode também fazer com que a resistência deste diminua [61]. A cor pode fornecer-nos indicações sobre a quantidade de tempo durante o qual o algodão esteve exposto ao ar livre, ou então da deterioração da fibra devido a pragas (microrganismos) e pode persistir mesmo depois do branqueamento.

A preparação é função do descaroçamento e reflecte-se na quantidade de desperdícios e na aparência do fio. A remoção de impurezas leva à quebra das fibras. Quanto maior for o conteúdo de impurezas, maior será o número de pontos de limpeza que têm que ser utilizados, o que leva a um aumento na produção de desperdício (no qual se encontram incluídas fibras boas), levando também à formação de nepes, e a que a fibra atinja à sua ruptura, causando deterioração no processo de fiação e na qualidade do fio. No quadro 2.IX apresenta-se uma classificação do algodão quanto às impurezas:

Quadro 2.IX - Classificação do algodão quanto à percentagem de impurezas

Percentagem de Impurezas	Classificação do algodão
< 1,2	Muito limpo
1,2 - 2,0	Limpo
2,0 - 4,0	Médio
4,0 - 7,0	Sujo
> 7	Muito sujo

A quantidade e a natureza da matéria estranha, micro-poeiras em particular, tem uma grande importância na fiação open-end de turbina e nas propriedades dos fios, pois aqueles causam um depósito na turbina, o qual vai interferir com a formação do fio na turbina. Impurezas localizadas no interior da turbina podem levar ao aparecimento de um defeito periódico, com um comprimento de onda igual ao perímetro da turbina [44].

Poeiras libertadas durante o processo põem outro tipo de problema, o qual se

encontra relacionado com a saúde dos operários. Partículas de poeiras mais pequenas do que 15µm, chamadas poeiras respiráveis, são de particular importância neste caso, no entanto com a utilização de novas tecnologias, este problema encontra-se resolvido, salvaguardando-se a saúde dos operários.

2.1.8 Ceras e gorduras

As ceras do algodão, que se encontram presentes principalmente na superfície da fibra na parede primária(cutícula), têm um efeito benéfico durante o processo de fiação. Um algodão tipicamente maduro contém cerca de 0,6% de ceras, variando este valor de 0,4 a 1,3%. A quantidade de cera por unidade de superfície é normalmente constante, o que significa que as fibras mais finas e menos maduras contêm mais cera quando este se expressa como percentagem da massa das fibras.

2.1.9 Importância relativa da influência da fibra

Os parâmetros tecnológicos [35] e a sua variabilidade, cuja evolução e valores presentes, correspondem de certa maneira às necessidades existentes no caso do processo convencional e que se mantêm há alguns anos constantes, permitem determinar qual é a característica que terá uma maior influência neste processo.

Contudo, nas últimas duas décadas, apareceram novos processos de fiação e reconheceu-se imediatamente que a importância de cada propriedade da fibra para a determinação da resistência do fio não era mesma. Pode mesmo afirmar-se que o comprimento de fibra deixará de ser uma característica tão importante, tornando-se a resistência e a finura as mais relevantes.

A influência das propriedades das fibras nas propriedades dos fios e no processo de fiação varia consoante as circunstâncias. A sua importância está dependente do sistema de fiação utilizado. No quadro 2.X [42], encontram-se por ordem decrescente as propriedades das fibras que vão influenciar as características do fio produzidos em diferentes sistemas.

Quadro 2.X - As propriedades das fibras como factor influenciador das características do fio para um dado título

Contínuo de anéis	OE- Turbina	Jacto de ar	OE-Fricção
Comprimento / Índice de uniformidade do comprimento	Resistência	Finura	Atrito
Resistência	Finura	Comprimento / Índice de uniformidade do comprimento	Resistência
Finura	Comprimento / Índice de uniformidade do comprimento	Resistência	Finura
	Impurezas	Impurezas	Comprimento / Índice de uniformidade do comprimento
		Atrito	Impurezas

2.2 Processos de produção

Entende-se por fiação o conjunto de operações necessárias para transformar a rama de qualquer tipo de fibra em fio.

O seu principio é simples :

De uma massa desordenada de fibras que se encontram emaranhadas, devido às fortes pressões a que foram sujeitas para que o seu transporte fosse facilitado, consegue-se, através de operações de estiragem e de paralelização, isto é, colocando as fibras paralelas umas em relação às outras com uma determinada secção transversal, obter-se um fio com a secção desejada (título), ao qual é inserida uma certa torção, com o objectivo de lhe conferir um determinado número de propriedades.

As propriedades e as características do fio vão depender de diferentes factores, como o tipo e características da matéria prima utilizada no processo e da linha de produção utilizada para se obter o fio desejado.

As operações fundamentais do processo de Fiação são as seguintes:

1. Abertura, limpeza e mistura
2. Formação da fita
3. Regularização da fita
4. Torção
5. Enrolamento

Na primeira fase do processo procede-se à abertura, limpeza e mistura das fibras. O algodão, quando chega à fábrica, vem normalmente sob a forma de fardo incorporando uma grande percentagem de impurezas que devem ser removidas antes de se produzir um fio. De qualquer forma, dado que o algodão se encontra extremamente emaranhado, devido às fortes pressões que sofreu para que o seu transporte fosse facilitado, é necessário proceder-se à abertura deste, antes de se começar a extracção de impurezas.

Depois de se ter procedido à abertura da rama, efectua-se a limpeza desta. O objectivo desta fase é conseguido pela passagem do algodão por máquinas abridoras e limpadores, onde o algodão é submetido a uma acção de batimento, de forma a conseguir retirar as impurezas das fibras. Durante todo este processo de abertura [62], deve evitar provocar-se danos nas fibras, bem como a perda de fibras de boa qualidade no

- Produção de uma fita com massa por unidade de comprimento constante

Depois da formação da fita, e no caso da fiação do algodão, deparamo-nos com dois processos distintos:

- O penteado
- O cardado

O processo penteado é o utilizado quando se pretende uma melhoria na qualidade do fio, principalmente sob o ponto de vista da regularidade, da massa linear e das propriedades dinamométricas. Além destes factores, opta-se por este processo se pretendermos modificar o seu aspecto e o seu toque. Para a obtenção de fios penteados, utiliza-se geralmente algodões de melhor qualidade comparativamente com os utilizados no processo cardado. O processo cardado é utilizado para a produção de fios mais grossos.

A diferença a partir deste momento do processo penteado com o processo cardado diz respeito a um conjunto de máquinas (reunideira de fitas e reunideira de mantas ou laminador-reunidor e a penteadeira) que não fazem parte do processo cardado.

As operações preparatórias da penteação tem lugar logo a seguir à carda, a qual tem a tendência para produzir ganchos no véu da carda. Ora a existência destes ganchos permite que haja uma maior facilidade para a formação de nepes. De qualquer forma, e dado que a matéria prima não poderá ir directamente da carda para a penteadeira, necessitando por isso de passar por máquinas intermédias que tem como objectivos os de:

- Eliminar os ganchos formados na carda, para que estes não tragam nenhum tipo de problema ao passarem na penteadeira.
- Formar um fluxo extremamente coerente e regular (manta) para que a penteação das fibras se torne eficaz.

Na penteadeira as operações efectuadas tem como objectivo:

- Eliminação das fibras mais curtas, a qual permite diminuir a finura média e portanto diminuir o limite de fiação
- Eliminação das impurezas existentes no algodão
- Eliminação de nepes
- Paralelização das fibras

Depois da passagem pela penteadeira, a fita formada apresenta alguns tipos de irregularidades periódicas, devido à sobreposição das fibras, efectuada na ligação das extremidades destas, que se passassem directamente para o torce não conseguiríamos corrigir. Dado este facto, é necessário proceder-se a uma regularização da matéria prima.

A partir deste momento, o processo penteado passa a sofrer o mesmo tipo de operações que o processo cardado.

A fase seguinte é a da regularização da matéria prima que se encontra sobre a forma de fitas. Associado ao conceito de regularização encontra-se a estiragem e a dobragem.

A operação de estiragem é necessária, dado que o número de fibras existentes na secção de uma fita de carda ou da penteadeira é extremamente elevada, devendo ser reduzida para se poder produzir um fio. A fita deve por isso ser submetida a um dispositivo constituído por cilindros de estiragem. Um modelo simples consiste na passagem do fluxo contínuo de fibras entre dois pares de cilindros.

No primeiro par, os rolos de alimentação têm uma velocidade superficial V_e , enquanto que o segundo par, os rolos de saída, têm uma velocidade V_s , superior a V_e ; desta forma, as fibras vão ser solicitadas a uma velocidade superior à da entrada, reduzindo desta forma a massa por unidade de comprimento da fita. A estiragem é igual à razão entre a velocidade de saída e a velocidade de entrada.

$$E = \frac{V_s}{V_e} \quad (2.4)$$

Este tipo de sistema requer que a distância entre os cilindros deva ser semelhante ao comprimento da fibra mais longa existente na fita.

A finalidade da estiragem é a de deslocar longitudinalmente as fibras com o objectivo de as colocar sucessivamente de uma tal forma que este escalonamento tenda o mais possível para o esquema teórico, apresentado, na Figura 2.3 [63].

É de notar que a operação de estiragem não provoca o alongamento das fibras, mas sim um rearranjo progressivo da sua posição relativa durante a sua transferência entre a entrada e a saída da máquina. A estiragem também pode ser definida pela razão entre o título à entrada e o título à saída:

$$E = \frac{T_e}{T_s} \quad (2.5)$$

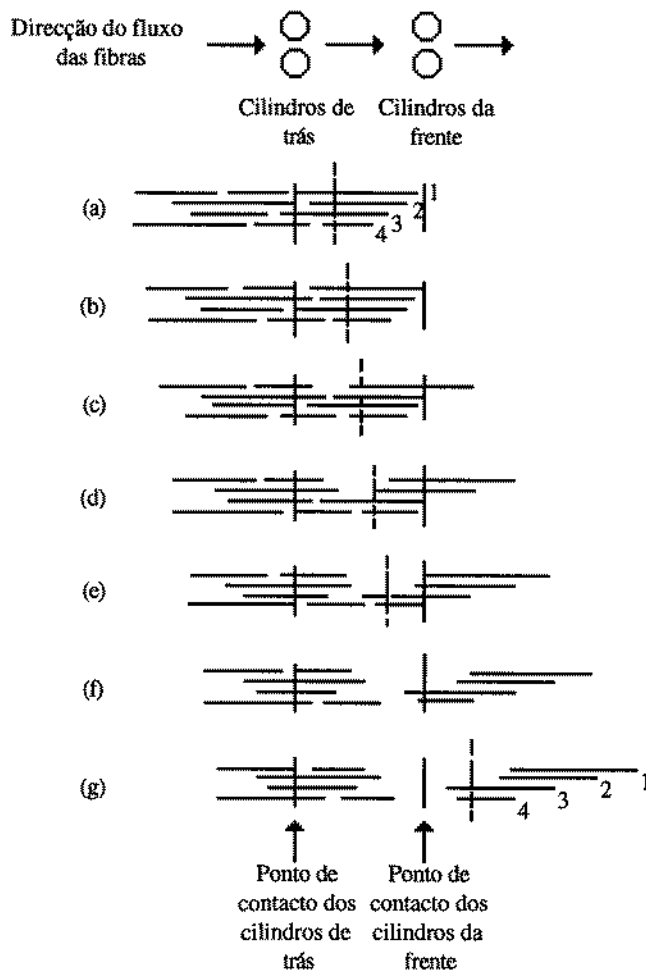


Figura 2.3 - Posição das fibras na fita

Associado ao conceito de regularização aparece a dobragem. Esta operação consiste na junção de duas ou mais fitas. A sua finalidade é regularizar a fita de modo que, em qualquer ponto da secção desta, o número de fibras existentes seja o mesmo. O parâmetro utilizado para caracterizar a regularidade (massa por unidade de comprimento) de um têxtil linear é o coeficiente de variação [CV(%)]. Baseando-nos na hipótese que a probabilidade da presença de uma fibra numa dada secção transversal de uma estrutura têxtil linear segue uma lei de Poisson, a fita deverá ter uma irregularidade mínima de:

$$CV(\%) = \frac{100}{\sqrt{n}} \quad (2.6)$$

onde,

n - média do número de fibras na secção do têxtil unidimensional

mas pelo facto da irregularidade da secção das fibras utilizadas, o coeficiente de variação mínimo deve ser o da relação de Martindale, isto é:

$$CV(\%) = \frac{100K}{\sqrt{n}} \quad (2.7)$$

onde,

K- Constante função da fibra (1,06 no caso do algodão)

Se utilizarmos somente uma fita com uma irregularidade $CV(\%)$, com uma dada estiragem E , a irregularidade desta à saída será aumentada de \sqrt{E} , ou seja [64],

$$CV_s(\%) = CV(\%) \times \sqrt{E} \quad (2.8)$$

Ao contrário se efectuarmos dobragens (D), em diversas fitas com um coeficiente de variação $CV(\%)$ em cada fita, a irregularidade da fita resultante será :

$$CV_r(\%) = \frac{CV(\%)}{\sqrt{D}} \quad (2.9)$$

Com a utilização de dobragens e estiragens simultâneas, consegue-se obter um coeficiente de variação que se traduz na equação 2.10.

$$CV_s(\%) = CV_r(\%) \times \sqrt{\frac{E}{D}} \quad (2.10)$$

A dobragem permite uma compensação estatística das irregularidades mássicas pontuais das fitas alimentadas, a qual atenua principalmente as irregularidades a curto termo, mas, em todo o caso, não poderá diminuir as irregularidades periódicas. Com a dobragem das fitas há apenas uma pequena probabilidade que as partes finas vão coincidir todas, bem como as partes grossas. Pelo contrário, estas tem tendência para se distribuir, compensando-se desta forma umas às outras. A regularização da fita vai depender do número de fitas que vão ser conjugadas. Esta duas operações (dobragem e estiragem) vão ser conjugadas na reunideira de fitas, na reunideira de mantas e no laminador, pois a fita, tanto à saída da carda como da penteadeira respectivamente, é extremamente irregular, sendo por isso proceder-se a uma regularização da matéria prima.

A estiragem não se efectua sobre uma única fita, mas sim num conjunto de fitas, efectuadas pela dobragem. Esta operação de regularização tem três objectivos [63]:

- Redução das irregularidades

- Mistura e homogeneização da matéria fibrosa
- Paralelização das fibras

A utilização repetida da dobragem e estiragem assegura uma boa homogeneização e uma mistura óptima das fibras no interior das fitas. Um forte valor de estiragem aplicada a um conjunto de fitas contribui para um aumento da paralelização e implica geralmente um melhoramento da qualidade do fio. A irregularidade de uma fita de saída é uma composição complexa da irregularidade introduzida pela estiragem e da compensação efectuada pela dobragem.

Depois de se ter regularizado o material, e devido ao facto do contínuo de anéis não ter um sistema de estiragem capaz de reduzir uma fita a fio, é necessário fazer uma passagem pelo torce.

O torce tem essencialmente três funções:

- Afinar a fita para uma mecha, na qual o título pode variar de 0.2 a 2 Ktex
- Fornecer uma coesão suficiente, pela inserção de torção, para evitar as quebras e falsas estiragens no desenrolamento das mechas no contínuo de anéis
- Formação de uma bobina, para facilitar o enrolamento da mecha

Finalmente passamos à fase da fiação propriamente dita, isto é, ao contínuo de anéis. Este tem como objectivos:

- Reduzir a mecha proveniente do torce para obter um fio com a secção desejada
- Inserir torção necessária ao fio, dependendo o seu valor da sua utilização posterior (malha, trama ou teia)
- Enrolar o fio produzido numa canela

Devido às diversas limitações existentes no contínuo de anéis, desenvolveram-se diversos sistemas não convencionais, dentro dos quais se destaca a fiação open end turbina, dado ser este o sistema com maior implantação mundial.

Se utilizarmos a fiação não convencional, isto é o open-end de turbina, as fases do processo são diferentes, como se pode verificar na Figura 2.4. Como se pode observar, não existe o torce, neste processo, devido ao facto do "sistema de estiragem" ter uma maior capacidade do que o do contínuo de anéis.

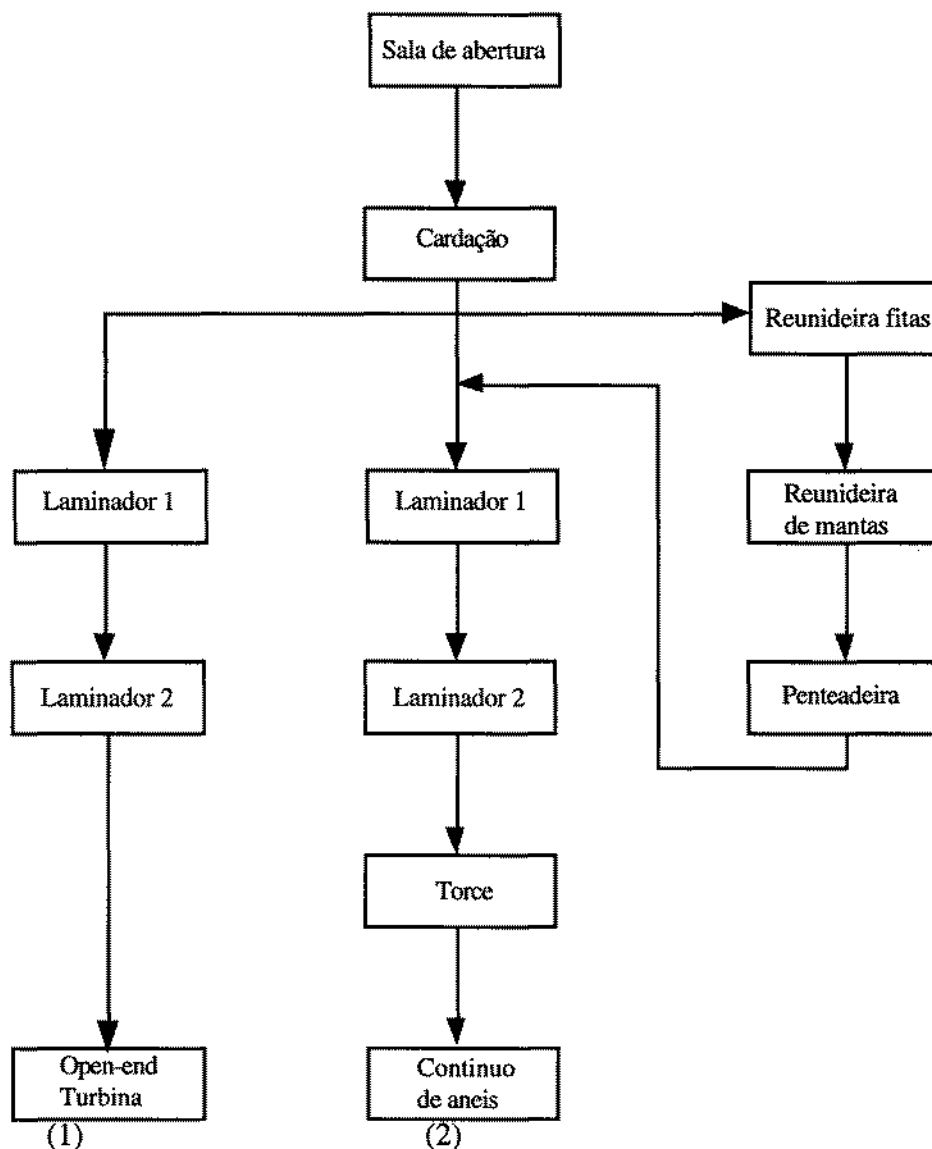


Figura 2.4 - Fases do processo de fiação

As características essenciais deste processo podem ser sintetizadas em: abertura, transporte, paralelização, sobreposição, inserção de torção e enrolamento. Como neste caso não é necessário efectuar-se uma rotação para se enrolar o fio, as limitações impostas pelo balão, no caso da fiação convencional, não se aplicam.

As vantagens da utilização da fiação open-end de turbina em relação ao contínuo de anéis consistem em:

- Maior velocidade de inserção da torção, a qual corresponde a uma maior

velocidade de produção

- Uma redução no consumo de energia por quilograma de fio produzido
- Suportes de fio com maior capacidade (à volta de 4Kg)
- Eliminação da operação de bobinagem
- Diminuição do processo de preparação da matéria (eliminação do torce)
- Possibilidade de se utilizar matéria prima mais rentável

Na Figura 2.4 pode observar-se a sequência das operações :

(1) efectuadas na fiação não convencional (open-turbina)

(2) efectuadas no processo cardado e no processo penteado na fiação convencional (contínuo de anéis)

Finalmente, tentando sumariar todo estes processos, apresentam-se as máquinas, bem como as operações por elas efectuadas ao longo de todo o processo, no quadro 2.XI.

Quadro 2.XI - Operações efectuadas ao longo do processo de fiação

Máquinas utilizadas	Operações efectuadas		
	Processo Cardado	Processo Penteado	Processo Open-End
Abre-fardos	A,L,M	A,L,M	A,L,M
Abridor	A,L,M	A,L,M	A,L,M
Limpador-abridor	A,L,M	A,L,M	A,L,M
Carda	A,L,M,F	A,L,M,F	A,L,M,F
Reunideira fitas	-----	E,M,P	-----
Reunideira mantas	-----	E,M,P	-----
Penteadeira	-----	A,L,M,E,F	-----
Laminador1	E,P,M	E,P,M	E,P,M
Laminador2	E,P,M	E,P,M	E,P,M
Torce	E,T,(M)	E,T,(M)	-----
Continuo de anéis	E,T	E,T	-----
Open-end Turbina	-----	-----	E,P,T

A = Abertura

L = Limpeza,

M = Mistura

F = Formação de fita

E = Estiragem

P = Paralelização

T = Inserção de torção

2.3 Características do fio

2.3.1 Aglomerado de fibras para formar um fio

As características do fio, além de serem dependentes das características das fibras, são igualmente dependentes da própria estrutura do fio. Os factores mais importantes serão abordados nos parágrafos seguintes [42]:

O número de fibras na secção transversal determina, além de outros parâmetros, a resistência, a regularidade, o toque e o limite de fiação.

Tendo em consideração todos estes factores, foram fixados limites para o número mínimo de fibras por secção do fio. No caso dos fios de algodão os valores normalmente aconselhados são os seguintes [42]:

Quadro 2.XII - Número mínimo de fibras por secção num fio

Fio convencional	Penteado	33 fibras
	Cardado	75 fibras
Fio não convencional	OE de Turbina	100 fibras

De qualquer forma, o limite de fiação pode ser calculado, aproximadamente pela relação :

$$n = \frac{\text{tex}_{\text{fio}}}{\text{tex}_{\text{fibra}}} \quad (2.11)$$

onde o n é a média do número de fibras na secção linear do têxtil unidimensional

Ter-se-á

$$\text{tex}_{\text{fio}} = \text{tex}_{\text{fibra}} * n$$

Convém salientar que esta fórmula não leva em conta outros parâmetros, como o comprimento de fibra ou o coeficiente de fricção, os quais afectam também o limite de fiação.

Outro dos factores é a disposição das fibras no fio. As condições para que se consiga obter uma boa resistência e aspecto do fio, e conseqüentemente um bom toque do produto, são os seguintes:

- Grau de paralelismo elevado
- Uma distribuição regular das diferentes fibras (figura 2.5a)
- Arranjo regular nas extremidades das fibras em relação umas às outras (figura 2.5b)
- Integração de todas as fibras, incluindo, se possível, as duas extremidades das fibras na estrutura do fio



Figura 2.5 - Disposição ideal das fibras num fio

Nos processos de fiação, a forma helicoidal deverá permanecer, pelo menos, em alguns tipos de fibras, como condição para que a estabilidade e a resistência do fio, originadas pela pressão das fibras devido à torção, se mantenham.

Quanto à posição das fibras na estrutura do fio, convém saber-se qual o tipo de processo utilizado. Devido à torção inserida, todas ou, pelo menos, algumas das fibras tomam uma posição helicoidal. Far-se-á referência a dois tipos, o convencional e o não convencional (open-end de turbina), pois o número de fibras afectadas pela torção, bem como o seu grau de enrolamento, são extremamente dependentes do processo de fiação utilizado.

Nos fios convencionais, a torção é inserida do interior para o exterior. Na periferia, devido ao maior grau de enrolamento, as fibras têm uma menor inclinação do que no interior do fio (figura 2.6).

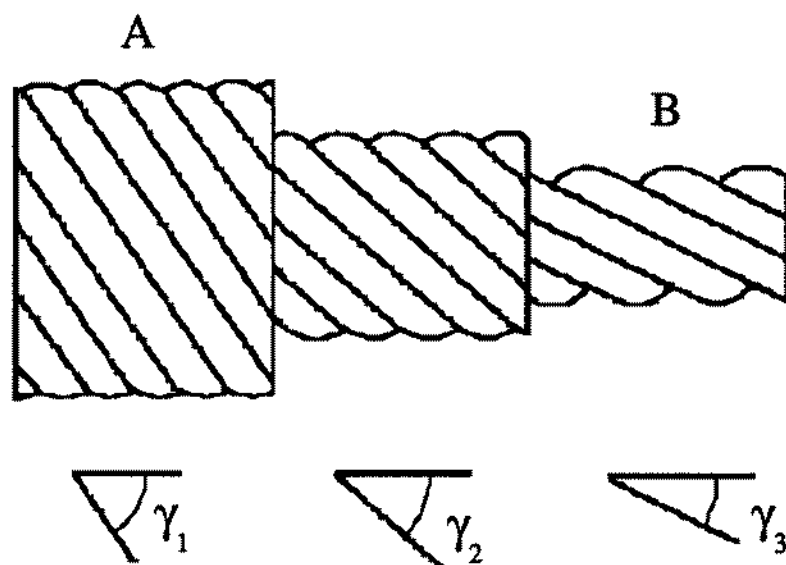


Figura 2.6 - Estrutura da torção num fio convencional

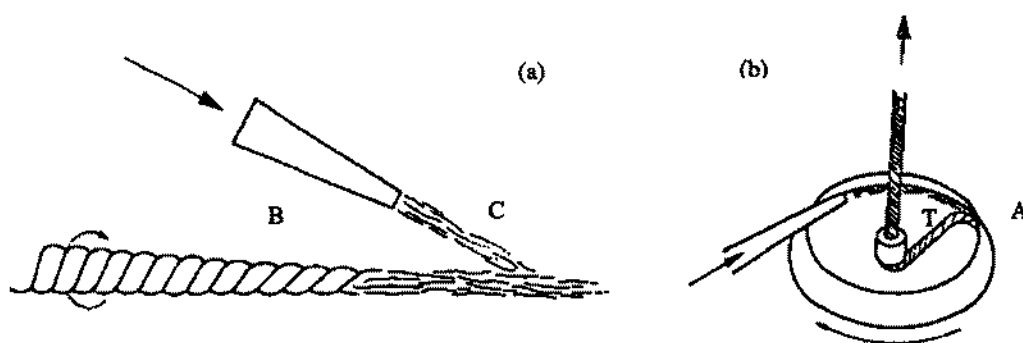


Figura 2.7 - Ligação das fibras na turbina

Contrastando com o fio produzido no processo convencional, a torção durante a fiação no processo não convencional (open-end turbina) é inserida do exterior para o interior. A turbina apanha primeiro as fibras que se encontram no centro e, com a rotação destas, as fibras que se encontram na periferia vão sendo enroladas (Figura 2.7). No interior, onde as fibras não podem evitar a torção, o aglomerado destas torna-se mais compacto e mais duro. Por outro lado, no exterior, a compactação e a dureza vão diminuindo, pois aqui as fibras quase não se encontram ligadas às fibras que se encontram no interior (alma).

No quadro 2.XIII [42] apresenta-se um resumo dos factores que contribuem para a aparência final do fio, pois esta reflecte-se na sua estrutura.

Quadro 2.XIII - Factores que contribuem para o aspecto do fio

	Processo convencional	Processo não convencional	
	Continuo de anéis	OE-Turbina	OE-Fricção
Disposição das fibras			
- No exterior	Paralelas	Menos paralelas	Menos paralelas
	Helicoidais	Helicoidais	Helicoidais
- No interior	Paralelas	Mais ao acaso	Menos paralelas
	Helicoidais	Menos torcidas	Helicoidais
Orientação das fibras	Muito boa	Menos boa	Menos boa
Compactação	Compacta	Aberta	Compacta e aberta
Toque	Macio	Duro	Duro
Pilosidades	Não elevadas	Muito baixo	Baixo

2.3.2 Especificação dos fios

Ao ser efectuado algum tipo de especificação do fio a ser produzido, devem ser mencionados diferentes tipos de características, para que, de alguma forma, seja depois possível identificá-los. Dentro dos diferentes tipos de características, as mais significativas são a massa por unidade de comprimento, características estruturais, natureza da fibra e a indicação de algum tipo de tratamento mecânico ou químico.

2.3.2.1 Massa linear

Na indústria têxtil, em vez de se determinar com exactidão a secção do têxtil linear, utiliza-se a massa linear para definir este parâmetro.

Para se especificar a massa linear são hoje em dia utilizados diferentes sistemas:

1) Massa por unidade de comprimento. Este é o método directo, onde quanto maior for o valor obtido maior é a sua secção.

2) Comprimento por unidade de massa. Este é o método indirecto, onde quanto maior for o valor obtido menor é a sua secção,

No sistema directo, aparecem-nos dois tipos de sub-sistemas:

- tex, a que corresponde a massa do comprimento de um quilometro de material (fibra ou fio)

- denier (de), a que corresponde a massa obtida para um comprimento de 9000 metros de material (fibra ou fio)

No sistema indirecto, aparecem-nos dois tipos de sub-sistemas:

- Número inglês (Ne), a que corresponde o número de meadas de 840 jardas necessárias para obter o peso de uma libra. Uma forma expedita para a sua utilização é a expressão 2.12.

$$Ne = 0,59 \frac{C(m)}{P(g)} \quad (2.12)$$

- Número métrico (Nm), a que corresponde o comprimento em metros necessário para se obter um peso de 1 g.

O sistema internacional de medida de massa linear é o tex, embora na indústria algodoeira seja ainda usual a utilização do número inglês (Ne).

2.3.2.2 Torção

O objectivo da torção é o de promover a união das fibras no fio, de maneira a torná-lo coeso, por meio da geração de pressões laterais [51]. Esta pode ser definida teoricamente da seguinte forma:

Quando duas pontas de um fio são rodadas, uma em relação à outra, as fibras na superfície do fio tomam a forma de hélice em volta do seu eixo. Por outras palavras, um fio é torcido quando as fibras que se encontram à sua superfície, se deformam fazendo um determinado ângulo com o eixo. Esta definição só pode ser aplicada teoricamente, pois, no processo a diversidade de diâmetros dos fios, a contracção devido à torção, a migração das fibras e o deslizamento destas são alguns dos factores que fazem com que a estrutura do fio seja diferente da ideal.

Um dos factores que contribuem para a determinação do valor ideal da torção é o comprimento de fibra. Se utilizarmos fibras compridas na produção, estas terão uma maior superfície de contacto. É necessária uma menor torção para produzir fios com uma resistência similar com fibras compridas do que a que é habitual com fibras mais curtas. Do ponto de vista do processo, a utilização de fibras mais compridas é desejável, melhorando-se a resistência do fio e a macieza (com um valor mais elevado de torção obtem-se um fio mais duro), bem como a sua aparência.

Quando se especifica um determinado fio, além do valor da torção, a inserir é necessário saber-se em que sentido é que esta deve ser introduzida. Esta pode ser designada de duas formas distintas:

1. Torção S ou o sentido dos ponteiros do relógio (figura 2.8 a).
2. Torção Z, no sentido contrário à dos ponteiros do relógio (figura 2.8 b).

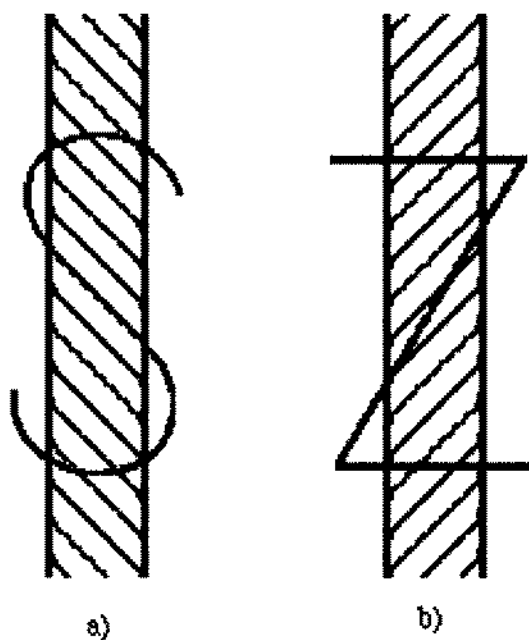


Figura 2.8 - Sentido da torção

A quantidade de torção a inserir num fio depende do título do fio, do comprimento da fibra e da sua aplicação final.

O coeficiente de torção é uma medida da dureza de um fio e é dado pelo produto da torção do fio pela raiz quadrada do título no sistema directo ou a razão entre as voltas por unidade de comprimento e a raiz quadrada do número no sistema indirecto.

Segundo Koechlin:

$$\alpha_{\text{tex}} = \frac{\text{voltas}}{\text{m}} * \sqrt{\text{tex}} \quad (2.13)$$

ou

$$\alpha_{\text{Ne}} = \frac{(\text{Voltas}''')}{\sqrt{\text{Ne}}} \quad (2.14)$$

Os valores típicos para um fio de algodão são os que se apresentam no quadro 2.XIV [51]:

Quadro 2.XIV - Valores típicos do factor de torção

	$\sqrt{\text{tex}} * \text{V/cm}$	$\frac{(\text{V}''')}{\sqrt{\text{Ne}}}$
Trama	3200- 3500	3,0 - 3,3
Teia	3800 - 4300	4,0 - 4,5
"Voile"	4900 - 5300	5,5 - 5,5
"Crepe"	5700 -7700	6,0 - 8,0

2.3.2.3 Resistência de ruptura

A resistência do fio é uma das características fundamentais, sendo normalmente utilizada como um índice de qualidade, devido à sua grandeza ser influenciado por uma combinação de factores. Entre estes, salientam-se diversas propriedades das fibras, a estrutura do fio e parâmetros inerentes ao processo.

Uma das explicações tradicionais do fenómeno da variação de resistência com a torção é baseado na combinação de factores como o deslizamento das fibras e a própria resistência da fibra [63]. Além destas características, outro dos factores a ter em consideração é o efeito das próprias fibras ao serem enroladas ao longo do seu eixo, isto é, com a inserção de torção, a qual influencia a resistência e o alongamento do fio.

A origem da resistência da fibra reside na sua estrutura molecular, pois a sua longa cadeia de moléculas tem tendência para ficar orientada na direcção do seu eixo. Com o aumento de torção no fio, o ângulo de inclinação da fibra aumenta e, desta forma, a

componente da resistência da fibra na direcção do eixo da fio diminui. Teoricamente, a resistência da fibra transmite a sua contribuição máxima para a resistência do fio quando as fibras se encontram paralelas ao eixo do fio, isto é, quando o fio não se encontra torcido.

A contribuição da resistência da fibra para a resistência do fio é indicado na figura 2.9 sob a forma de uma linha tracejada. Um aumento de torção faz com que a inclinação do ângulo da fibra de β_1 a β_2 se modifique diminuindo a contribuição da resistência da fibra para a resistência do fio de S_1 para S_2 .

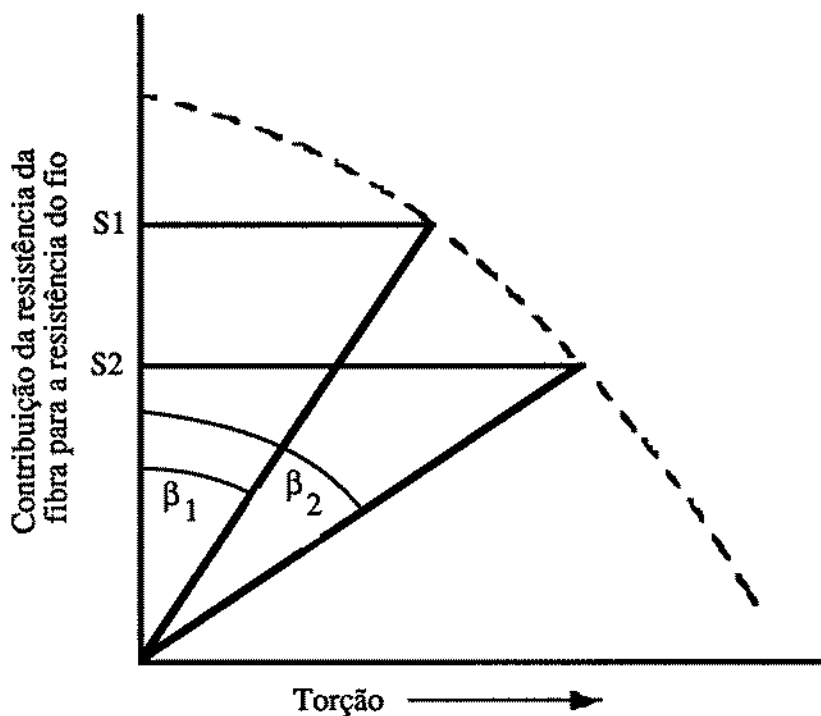


Figura 2.9 - Influência da torção na relação entre a resistência da fibra e do fio

Na figura 2.10 representa-se sob a forma de uma linha tracejada a contribuição da resistência ao deslizamento da fibra para a resistência do fio e sob formas de curvas a cheio a contribuição da resistência da fibra para a resistência do fio para duas fibras de diferentes resistências. Neste caso, verifica-se que a fibra com menos resistência necessita de uma torção menor, para obter o valor máximo na resistência do fio (T_5, S_5) comparado com a fibra mais resistente (T_6, S_6), embora a resistência máxima do fio seja superior neste último caso.

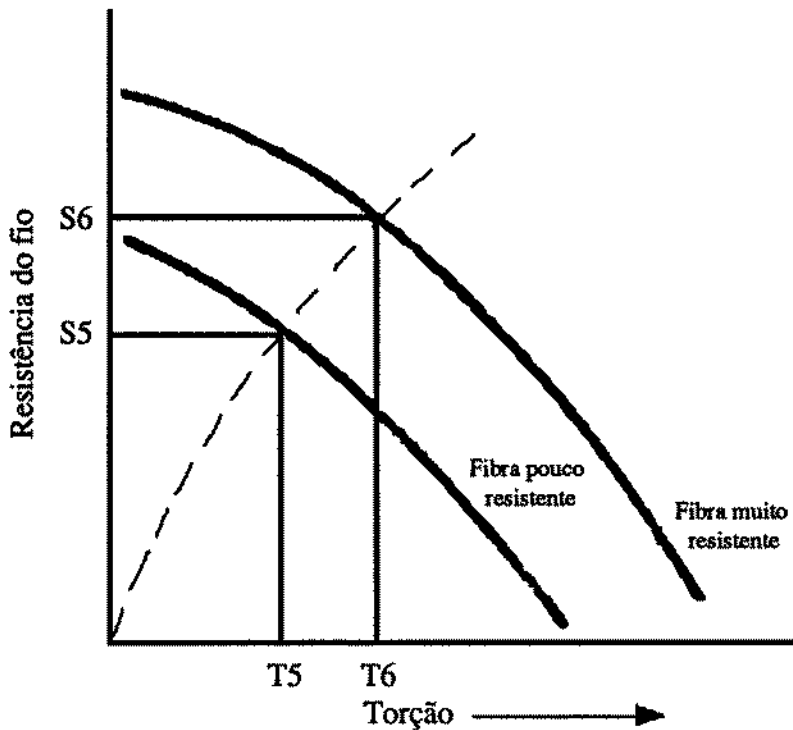


Figura 2.10 - A influência da torção na resistência total do fio

O valor de torção para o qual se obtém o valor máximo da resistência é geralmente designado por torção ótima. A explicação dada a este fenómeno da variação da resistência com a torção baseia-se na combinação do deslizamento e na ruptura das fibras. A figura 2.11 [51] apresenta um diagrama representando este fenómeno.

Pela análise do diagrama é evidente que um fio sem torção não tem resistência uma vez que as fibras deslizam umas sobre as outras quando submetidas a uma força de tracção. Na parte inicial da curva, a resistência ao deslizamento aumenta mas o número de fibras que deslizam em vez de romperem diminui ligeiramente à medida que o efeito da torção aumenta. A tendência ao abaixamento da curva com torções elevadas é provocada pela obliquidade no fio.

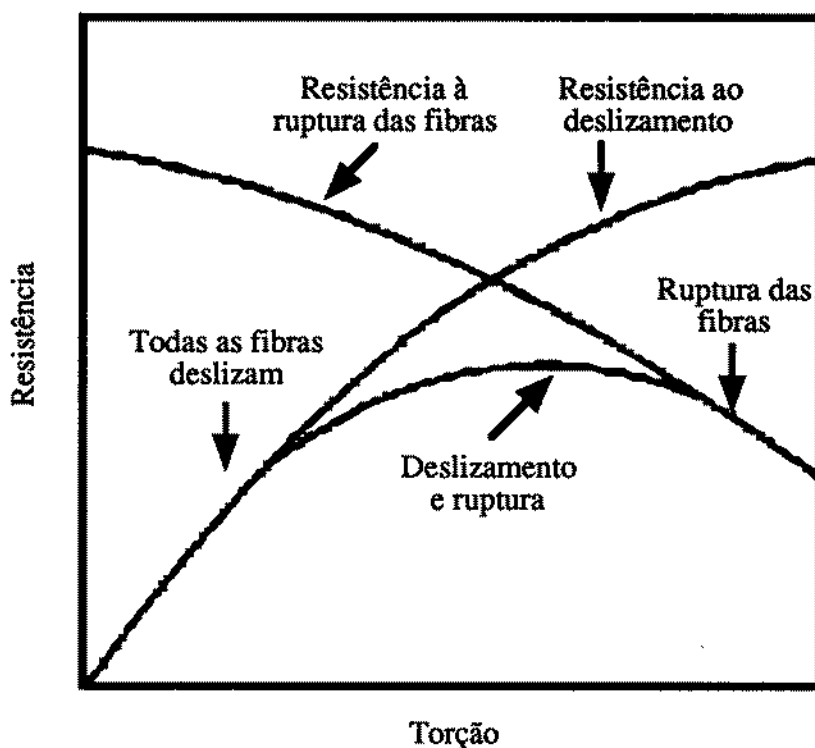


Figura 2.11 - Efeito da torção na resistência nos fios

Outros factores que influenciam a resistência de ruptura do fio são [51]:

- A capacidade de migração da fibra no fio: este factor é responsável pelo aumento de tensão na fibra .
- A finura da fibra: o aumento de tensão na fibra é proporcional à superfície da sua secção transversal, enquanto que a resistência ao deslizamento é proporcional ao perímetro e, desta forma, ao raio da fibra. Consequentemente, quanto maior for o raio da fibra, maior será a tendência para que a tensão da fibra se sobreponha às forças de atrito para resistir ao deslizamento. Por outras palavras, quanto mais fina for a fibra, mais resistente será o fio.
- O número de fibras na secção transversal do fio: este vai afectar a pressão gerada nos pontos de contacto com as restantes fibras. Da equação (2.11) verifica-se que o número de fibras existentes num fio é dependente do título destas e do fio. Desta forma, para uma dada finura da fibra, a finura do fio afectará a resistência.

2.3.2.4 Irregularidades de massa

A irregularidade do fio, isto é a variação de massa por unidade de comprimento, é considerado como sendo um factor importante e crítico. As irregularidades podem ser encontradas em qualquer fase do processo têxtil, isto é, estas aparecem em mantas, fitas, mechas e nos fios.

O comprimento e o diâmetro da fibra [63] são das propriedades mais importantes para a determinação do comportamento das fibras no processo de fiação, existindo uma elevada correlação entre a irregularidade do fio e o comprimento médio da fibra.

As variações na secção transversal do fio, como nepes, pontos finos e pontos grossos, são geralmente descritos como imperfeições no fio e são analisados separadamente da irregularidade.

É importante apreciar que todos os fios são de alguma forma irregulares, sendo o seu valor o factor determinante para a aceitabilidade ou não do produto, por parte do consumidor.

Para isso foram determinados limites para se poder apreciar a regularidade do fio. Martindale [65] indica que no melhor caso possível, se todas as condições forem favoráveis, isto é, o modelo mais simples, no qual todas as fibras tem a mesma densidade linear e se encontram paralelas ao seu eixo, os limites de regularidade são determinados pela expressão 2.6.

Se considerarmos o efeito da variação na densidade linear das fibras, o modelo obtido será o seguinte:

$$CV_{lim}(\%) = 100/\sqrt{n} * \sqrt{1 + \frac{CV_A^2}{100}} \quad (2.15)$$

onde o CV_A é o coeficiente de variação da densidade linear da fibra e o n é o número médio de fibras existentes na secção do fio, no qual a equação utilizada é a (2.11). Valores típicos do $CV_A(\%)$ para o algodão transformam a equação 2.15 em:

$$CV_{Algodão}(\%) = \frac{106}{\sqrt{n}} \quad (2.16)$$

Para que se possa ter uma ideia da irregularidade do fio, Huberty [66] propõe a utilização de um índice, o qual nos dá uma ideia do desvio que o fio terá. Este é traduzido pela equação 2.17

$$I = \frac{CV(\%)}{CV_{lim}(\%)} \quad (2.17)$$

Valores médios de I variam geralmente entre 2,3 a 3,3 para os fios cardados e de 1,5 e 2,2 para os fios penteados [67].

2.3.2.5 Pilosidades

As pontas das fibras de diferentes comprimentos e formas, surgem na superfície do fio, não podendo, por razões do processo, permanecer no seu interior, originando desta forma as pilosidades.

As pilosidades são um aspecto característico dos fios e são em diversos casos desejáveis para se conseguir um determinado tipo de efeito. Contudo, em certos casos, um número elevado pode causar defeitos no produto final.

Barella, [68] chegou às seguintes conclusões:

- Os fios produzidos num sistema convencional apresentam um número superior de pilosidades do que os produzidos na fiação open-end turbina
- As pilosidades aumentam quando o título do fio aumenta independentemente do processo de fiação utilizado
- Os parâmetros da fibra que mais afectam o valor da pilosidade são o comprimento de fibra e o índice de uniformidade

Como se sabe, a torção influencia a mobilidade das fibras, influenciando primeiramente as fibras finas e as fibras curtas. No caso do fio open-end de turbina, quando se diminui o valor da torção [69], aumenta-se a pilosidade do fio (a coesão entre as fibras existentes no fio torna-se menor), isto é, se pretendermos um fio com um grau elevado de pilosidade, diminui-se a torção até um certo limite, para que a coesão não seja prejudicada. Por outro lado, para se obter um fio não piloso, convém aumentar o valor de torção a inserir ao fio, tendo sempre em conta que quanto maior for a torção, maior será o custo do fio produzido.

As pilosidades são inversamente proporcionais ao comprimento de fibra e directamente proporcionais ao número de fibras existentes na secção do fio bem como a rigidez à flexão da fibra.

2.3.2.6 Defeitos nos fios

Por defeitos entendem-se as imperfeições existentes nos fios, as quais podem ter diferentes origens tais como [63]:

- Matéria prima
- Selecção de matéria prima de forma não conveniente
- Falhas mecânicas
- Parâmetros da máquina incorrectos
- Falta de limpeza
- Falhas do operador
- Má organização

De acordo com investigações efectuadas pela empresa Zellweger Uster [63], aproximadamente 25% dos defeitos, mais pequenos que 40 mm são devidos ao processo de colheita e a defeitos na matéria prima e os restantes 75% são introduzidos durante o processo.

Os fios contêm defeitos, os quais podem ser divididas em três grupos distintos.

1. Pontos finos.
2. Pontos grossos.
3. Nepes.

As diferenças entre estes diferentes tipos de defeitos não só se encontram na matéria prima como no processo.

Aos pontos finos e pontos grossos, referindo-nos àqueles que podem ser classificados com o termo "imperfeições", têm uma razão de $\pm 50\%$ em relação ao valor médio da secção transversal enquanto que os nepes são aqueles que atingem o valor de $+200\%$ [70].

Todos estes tipos de imperfeições podem influenciar a aparência do tecido ou da malha de formas distintas. Talvez, de todos eles, os nepes sejam os mais indesejáveis, pois trazem problemas em todo o processo de fabrico.

Os pontos finos e os pontos grossos num fio, podem afectar consideravelmente a aparência de um tecido. Além de provocar diferenças na resistência deste, um aumento no número de pontos finos ou grossos dá-nos uma indicação de que a matéria prima apresenta uma diminuição na sua qualidade. Os pontos finos podem trazer diversos problemas na tecelagem [71], como por exemplo, a perda de produtividade do tear devido ao número de paragens por quebras. Esta característica do fio deverá, então, ser devidamente controlada.

Os pontos finos e grossos influenciam também o valor da torção inserida no fio. No caso dos pontos finos, devido ao menor número de fibras na secção transversal, a resistência à torção nestas zonas será menor, aumentando assim o valor da torção. Com os pontos grossos, acontece precisamente o contrário. Um maior número de fibras na secção transversal oferece uma maior resistência à torção, pelo que, na maior parte dos casos, o valor de torção encontra-se abaixo da média.

Quanto aos nepes, a sua origem pode ser devida a diferentes factores, como:

i) Nepes devidos à matéria prima.

Estes podem ter diferentes origens [72], tais como:

- Emaranhamento de fibras com a cápsula
- Emaranhamento das fibras com matérias estranhas
- Emaranhamento de fibras com material não fibroso

O primeiro tipo pode aparecer devido a um não amadurecimento da fibra, ou então a uma má sementeira, bem como à acção da descaroçadora.

O segundo tipo é devido ao tipo de colheita efectuada e à forma como é efectuado o descaroçamento, mas também pode ser explicado por factores genéticos.

O terceiro tipo pode ser devido a diferentes causas, incluindo a finura e a imaturidade da fibra, sendo estas duas afectadas pelas condições ambientais e pelas condições genéticas.

ii) Nepes devido ao processo de fabrico.

Estes são normalmente produzidos nas cardas, sendo o tipo de puado utilizado bem como o seu estado e a velocidade de cardação os factores mais importantes neste caso.

2.4 Processos de controlo

Na indústria têxtil, a produção e a qualidade têm igual importância, sendo isto referenciado a cada passo da produção, desde a matéria prima até ao fio. No seu percurso desde a rama até ao produto final, as matérias têxteis e os produtos têxteis são submetidos a uma série de testes e controlos. A necessidade deste controlo apresenta objectivos diferentes. O seu campo de aplicação vai desde a determinação das propriedades das matérias primas, passando pela optimização da produção e ajuste das máquinas, bem como controlos para manter os padrões previamente determinados.

O sistema utilizado para classificar [73], comercializar e processar as fibras de algodão é complexo, comparativamente com os outros materiais. A rama pode ser transformada numa grande variedade de produtos, os quais tem propriedades diferentes. É lógico que, acompanhando toda esta evolução nas propriedades, se encontra o custo da rama, o qual é um dos factores determinantes da sua compra .

A juntar-se ao Stelometer, fibrógrafo, analisador de desperdícios, os comumente chamados de Instrumentos Individuais, dado que com a sua utilização é determinada uma característica da fibra, aparecem hoje em dia outros sistemas que trabalham de uma forma automática, utilizando computadores e microprocessadores. Este tipo de equipamentos permite efectuar um grande número de ensaios num curto período de tempo.

Estes podem ser classificados em três grandes grupos [74]:

- Equipamento totalmente automático: O instrumento é na sua globalidade controlado por um computador
- Equipamento semi-automático: A unidade de testes é controlada por um computador, mas o processo de medida tem que ser supervisionado e controlado por um operador
- Aparelhos de utilização manual: Estas unidades são operadas manualmente e um operador é necessário para verificar e anotar os resultados obtidos

De qualquer forma, com o avanço da tecnologia, surge uma nova classe de instrumentos de controlo [75], os Instrumentos de Alto Volume, os quais conseguem fornecer um maior número de informações, com uma maior precisão num curto espaço de tempo.

2.4.1 Controlo da Matéria Prima

Comparativamente com outro tipo de indústrias, esta [76] confronta-se com um grave problema, pois parte da matéria prima utilizada é um produto natural. Associando-se a este facto, verifica-se que as características dos materiais utilizados não são constantes, o que traz vários problemas para esta indústria. Temos como exemplo a fibra de algodão, na qual nunca se consegue obter uma homogeneidade total das características, ao contrário do que acontece nas fibras sintéticas. As características desta fibra são dependentes de factores como a variedade, condições climáticas e do descaroçamento.

Há mais de 100 anos que a quantificação da qualidade do algodão é feita de uma forma subjectiva. A qualidade do algodão era determinada por especialistas, os quais davam a sua opinião, de uma forma que poderá ser considerada subjectiva, pois a avaliação era efectuada qualitativamente. O valor de mercado do algodão é avaliado, na sua maioria, por um elevado número de determinações subjectivas de um número limitado de parâmetros. Tradicionalmente, o seu valor era obtido pelo grau (preparação, cor e corpos estranhos), comprimento da fibra e finura. O grau era determinado visualmente pela comparação com algodões padronizados, o comprimento de fibra pelo "pulling" e a finura da fibra instrumentalmente.

Durante vários anos, a classificação subjectiva do algodão foi sempre utilizada sem que houvesse conflito de interesses entre os utilizadores e os produtores, podendo este facto ser atribuído a três factores:

- A existência da fiação convencional, na qual tanto os produtores como os utilizadores se encontravam bastante familiarizados com a qualidade desejada da matéria prima
- Uma relativa estabilidade do mercado
- Falta de métodos para que os testes fossem efectuados rapidamente e com uma boa precisão

A maior desvantagem dos métodos existentes para a classificação do algodão, reside na definição estática do que constituem os parâmetros de qualidade desejáveis para uma determinada tecnologia ou produto final. Parâmetros de qualidade que não são devidos às características do algodão (preparação e impurezas) têm uma contribuição elevada na determinação do seu valor.

Recentemente, algumas áreas começaram a utilizar instrumentos para quantificar as características da rama de algodão. A utilização de instrumentos para avaliar automaticamente o algodão foi desenvolvida nos Estados Unidos. Foi durante os anos 60 que a ideia de colocar todos os instrumentos individuais em linha apareceu. Esta linha foi desenvolvida primeiro pela Motion Control em 1963 e seguidamente pela Spinlab.

Os métodos de controlo tradicionais estão a ser substituídos por Instrumentos de Alto Volume (HVI), os quais são capazes de efectuar ensaios rápidos e com uma precisão elevada de várias propriedades das fibras. Este tipo de avaliação torna-se necessário devido à evolução verificada nos processo de fiação, sendo essencial utilizar um método de controlo da matéria prima mais efectivo para determinar o valor do algodão no mercado actual, baseando-se este na contribuição da rama para a qualidade do produto final.

Quando utilizados como uma unidade [25], estes dois sistemas fornecem os valores da resistência, comprimento, micronaire, índice de uniformidade do comprimento, alongamento e conteúdo em impurezas. Estes aparelhos têm como objectivo o de auxiliar os técnicos em programas de controlo de qualidade da matéria prima na sua chegada à fábrica, para assegurar a uniformidade do material para se obter uma maior eficiência no processo e um produto final de boa qualidade.

Devido ao facto dos Instrumentos de Alto Volume serem de utilização recente [25, 28, 61, 77], a maior parte dos produtores, bem como dos consumidores de algodão, não se encontram ainda sensibilizados para os valores encontrados por este aparelho.

2.4.1.1 Finura

A finura da fibra de algodão é quantificada por meio da perda da carga provocada pela introdução de um provete de fibras comprimido até um volume constante, no circuito pneumático do porosímetro, tendo-se determinado anteriormente a sua massa. O valor obtido tem como unidades a micrograma por polegada, sendo o mesmo que a medida do micronaire.

Se utilizarmos o Finess Maturity Tester "IIC-Shirley" podemos ter acesso parâmetros seguintes:

- Índice micronaire
- Finura das fibras (mtex ou dtex)

- Grau de maturidade (ASTM 1442), a qual é definida como a percentagem de fibras mortas

Dado que com a utilização deste aparelho conseguimos obter uma melhor caracterização da fibra, os construtores de Instrumentos de Alto Volume pretendem introduzir esta medida de caracterização nos seus aparelhos.

2.4.1.2 Comprimento

Nos sistemas de Alto Volume a análise do comprimento de fibra é efectuada por uma certa quantidade de fibras paralizadas mas não alinhadas ("*tuft*") enquanto que no classificador de pentes a amostra encontra-se paralizada e alinhada.

Com a utilização dos Instrumentos de Alto Volume classifica-se as fibras existentes num "*tuft*" por ordem decrescente obtendo-se um fibrograma (figura 2.12). A preparação da amostra é dependente do aparelho utilizado. Normalmente, os parâmetros utilizados para a distribuição do comprimento de fibras são os seguintes:

- "*Span Length*" 2,5% - SL2,5%
- "*Span Length*" 50% - SL50%
- Comprimento Médio ("*Mean length*") - ML
- Comprimento Médio da Metade Superior ("*Upper Half Mean Length*") - UHML
- Comprimento Médio do Quartil Superior ("*Upper Quartile Mean Length*") - UQML
- Índice de Uniformidade- $\left(\frac{100ML}{UHML}\right)$ - UI% (2.18)
- Razão de Uniformidade- $\left(\frac{100SL50\%}{SL2,5\%}\right)$ - UR% (2.19)

De todas estas características determinadas, as mais utilizadas são "*Span Length*" 2,5% e a "*Span Length*" 50% .

Quanto ao índice de uniformidade, este permite quantificar a dispersão existente na população fibrosa. É do conhecimento geral que quanto melhor for a uniformidade, maior será a qualidade do fio a ser produzido com essa rama e além disso é considerado uma vantagem ter a melhor uniformidade possível.

O valor obtido para a razão de uniformidade, caracteriza a importância das fibras curtas na amostra.

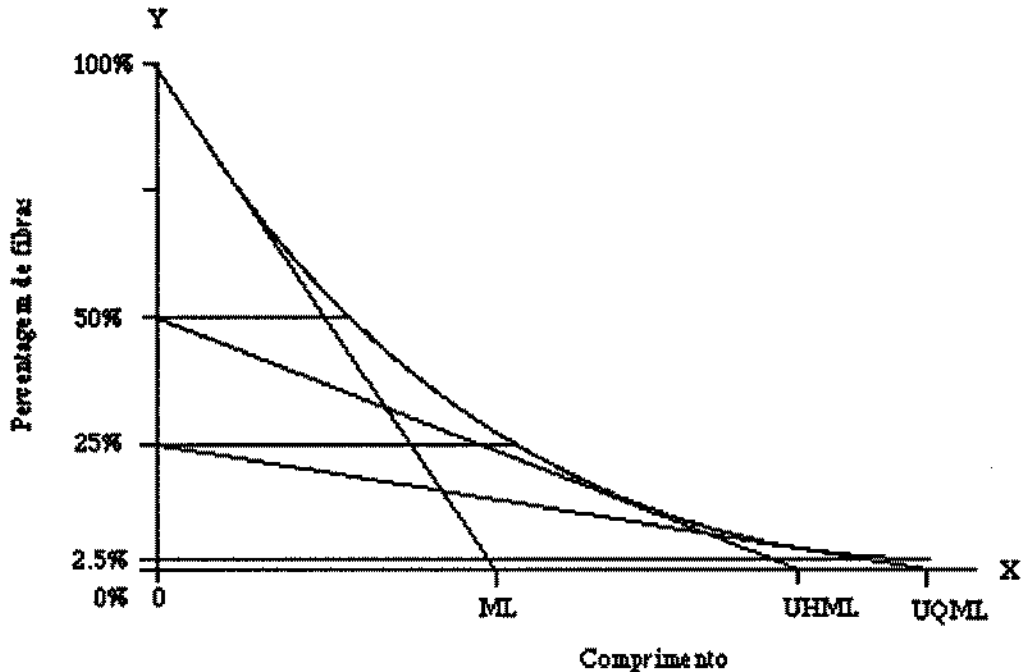


Figura 2.12 - Fibrograma

2.4.1.3 Propriedades dinamométricas das fibras

Para a determinação da resistência à ruptura e do alongamento de fibras podem ser utilizados diferentes métodos.

Se utilizarmos o Pressley (dinamómetro de plano inclinado), este permite realizar ensaios de tracção a feixe de fibras com a utilização ou não de um espaçador. Os valores obtidos com a utilização deste aparelho depois de dividido pela massa de fibras testadas fornece-nos o índice Pressley.

Com a utilização de Instrumentos de Alto Volume, a massa a ser testada é a mesma que foi utilizada para obter o fibrograma. Estas fibras vão ser sujeitas a uma carga que as conduz à ruptura, traçando desta forma uma curva carga-alongamento. Além deste gráfico, estes aparelhos fornecem-nos outro tipo de informações (tenacidade, módulo inicial, energia de ruptura).

O alongamento de ruptura é obtido sempre com a utilização de um espaçador, tanto no Pressley como nos Instrumentos de Alto Volume.

2.4.1.4 Parâmetros de cor

A cor de uma amostra de algodão neste tipo de instrumentos é medida por um colorímetro substituindo a avaliação subjectiva efectuada pelos peritos.

A amostra é iluminada sob um dado ângulo por meio de duas lâmpadas caracterizadas por um espectro luminoso e uma energia de emissão constante. A luz reflectida pela amostra passa através de um difusor antes de atingir duas células fotoeléctricas diante das quais são interpostos dois filtros coloridos com características espectrais precisas. Os valores depois de tratados com um microprocessador convertem-se em:

- Reflectância (Rd%)

Este parâmetro indica o grau de cinzento da amostra. O seu valor pode variar entre 0% (preto) e 100% para o branco absoluto.

- Grau de amarelo (+b)

A dominante amarelada da amostra é medida utilizando um filtro amarelo. Os valores podem variar de 0 a 10, considerando-se como amarelo um algodão que atinja este ultimo valor para o +b.

- Grau (*USDA Color Grade*)

A partir de um gráfico proposto por Nickerson-Hunter, onde estão representadas em ordenadas os valores da reflectância (Rd%) e em abcissas o valor do grau de amarelo (+b), é possível quantificar o valor do grau, para algodões americanos.

2.4.1.5 Matéria estranha

A determinação da matéria estranha era efectuada de uma forma subjectiva antes do aparecimento dos aparelhos utilizados na sua quantificação.

Os métodos utilizados baseiam-se na técnica de análise de imagem. Neste caso, as partículas de impurezas caracterizadas por uma reflectância inferior a 30% da do fundo são então quantificadas.

O número e a superfície relativa das partículas permitem avaliar o conteúdo de impurezas superficiais da amostra e estimar a massa do conteúdo de impurezas e um índice de limpeza (*USDA-Leaf Code*).

Podemos assim através da análise da imagem e com a utilização de *software* apropriado determinar:

- Área ocupada pelas impurezas (A)
- Quantidade de impurezas (C)
- Massa de impurezas (WT%)

Com a utilização da área e da quantidade de impurezas podemos determinar o "*Leaf*", parâmetro este que permite quantificar o conteúdo de impurezas vegetais segundo a USDA.

As vantagens da utilização de Instrumentos de Alto Volume consistem em [28]:

- Obter um maior número de parâmetros para a caracterização da rama de algodão
- Haver uma maior confiança nos resultados, devido à precisão dos métodos utilizados
- Eliminar a possibilidade de erro humano
- Efectuar os testes num curto espaço de tempo, conseguindo-se uma caracterização completa em dois minutos
- Armazenar os dados num computador, para tratamento posterior

Mas a utilização deste tipo de aparelhos apresenta também desvantagens, como:

- Custo elevado
- Utilização unicamente de algodões americanos para fazer a calibragem
- Parâmetros ainda não quantificados

A determinação da percentagem de fibras curtas é um dos factores que neste momento ainda não pode ser quantificado pelos Instrumentos de Alto Volume. Estudos

efectuados [78] mostram que esta característica desempenha um papel importante no processo de fiação, bem como na qualidade do fio. A sua determinação pode ser efectuada no Peyer AL-101 [78 - 80]. Tal como acontece com a percentagem de fibras curtas, também o número de nepes é um factor não qualificável nestes aparelhos. Ao longo dos anos, a quantidade de nepes [81] foi determinada de variadíssimas formas. Uma das primeiras, foi a de retirar uma amostra da rama e o técnico fazia a separação das fibras e dos nepes, contando-os. Outro dos métodos, é o de retirar um pouco de manta de carda e contar os nepes existentes. Actualmente a Uster fabricou um instrumento que nos dá esse valor com elevada precisão e em pouco tempo. A análise efectuada pelo AFIS-N [59, 82] fornece-nos os seguintes resultados:

- O tamanho da amostra em gramas
- Número de nepes na amostra
- Tamanho médio dos nepes, como uma medida do diâmetro
- Número de nepes por grama
- Valores médios do número de nepes e do tamanho destes
- Desvio-padrão e coeficiente de variação destes parâmetros

2.4.2 Controlo do fio

Depois de se ter produzido o fio, é necessário controlá-lo, para verificar se corresponde às especificações.

2.4.2.1 Resistência

A resistência do fio é influenciada pela combinação de diferentes factores, como a resistência da fibra, coesão das fibras, torção do fio e a sua variação, bem como pela irregularidade do fio. Esta pode ser avaliada por recurso a diferentes métodos [63]. Dependendo da informação que se pretende obter, existem diferentes tipos de testes, nomeadamente:

- Testes a fios individuais
- Teste da meada

1. Testes a fios individuais

A resistência do provete é a do seu elemento mais fraco; consequentemente, espécimes com comprimentos diferentes dão resultados diferentes. Um valor médio mais baixo da resistência é obtido com um provete de maior comprimento, devido à irregularidade do fio.

Um aumento de velocidade na aplicação da carga dá origem a um aumento aparente na resistência do fio. Segundo as normas os fios devem ser testados com um comprimento de 500 mm e um tempo de ruptura de 20 ± 3 s. O número mínimo de provetes a serem testados é de 50.

A desvantagem deste tipo de teste, é o de incluir um pequeno comprimento de fio testado na sua totalidade, mas por outro lado dá-nos indicações sobre a variação da resistência de curto comprimento de onda, sendo também possível determinar o valor do alongamento à ruptura.

2. Testes com meadas

Um teste alternativo é o da meada. É um teste rápido e de fácil determinação num comprimento relativamente grande de fio. O resultado combina dois factores (número do fio e resistência) para se obter o CSP("Count Strength Product").

Os testes com a meada dão um CV(%) da resistência mais baixo do que aquele que se obtém quando esta é determinada individualmente. A resistência da meada é condicionada pela resistência das partes mais finas do fio e pela distribuição da torção. As secções do fio onde existem pontos finos desenvolvem a sua resistência máxima para um valor de torção mais baixo do que aquele que é necessário nos pontos grossos; desta forma com um valor médio da torção baixo obter-se-á uma resistência maior com um fio em meada do que individualmente.

A "tenacidade" média do teste da meada é mais baixa 20 a 30% que a dos testes individuais.

As desvantagens deste teste residem na susceptibilidade de erros de ordem pessoal, tais como inserção de torção na meada, insensibilidade quanto à presença de pontos fracos no fio e, por último, a falta de informação do alongamento do fio [17].

Nos testes individuais, estas desvantagens foram eliminadas, pelo que com o aparecimento de instrumentos automáticos, que reduzem o tempo de execução e diminuem os problemas causados pelo operador, se tornaram mais utilizados.

Além da determinação da resistência, é usual calcular a tenacidade. Esta é definida pela razão entre a força média de ruptura e o título do fio, expressando-se em N/tex.

A percentagem de contribuição da resistência da fibra para a resistência do fio é determinada pela razão entre a tenacidade média do fio e a tenacidade média da fibra. Isto é uma medida da forma como efectivamente a tenacidade da fibra é utilizado no fio. A percentagem de contribuição da resistência em testes com fios individuais encontra-se no quadro 2.XV [63]:

Quadro 2.XV - Contribuição da resistência da fibra para a resistência do fio

Tipo de fibra	Contribuição da fibra(%)
Algodão	30 a 40
Fibras sintéticas	30 a 64
Lã	32 a 58

2.4.2.2 Irregularidades

Quanto à irregularidade do fio, esta pode ser analisada visualmente, pelo enrolamento do fio num quadro preto, sendo assim possível comparar o aspecto do fio com padrões. O método básico para testar a irregularidade consiste no corte e pesagem de determinados comprimentos de fio, numa atmosfera-padrão, calculando-se a média e o coeficiente de variação. Este é o método fundamental e foi a base dos diferentes métodos de determinação, mas devido ao facto de ser lento, não é muito utilizado na rotina laboratorial.

Hoje em dia, para a determinação da irregularidade dos fios, utilizam-se equipamentos automáticos baseados em princípios de medida capacitivos. Além de nos fornecerem indicações sobre o valor da irregularidade média, obtêm-se o espectrograma. Este corresponde a uma análise harmónica das irregularidades periódicas do fio. As ordenadas representam a proporção de irregularidade associada com o comprimento de onda, representado pela abcissa numa escala logarítmica.

2.4.2.3 Pilosidades

Quanto à determinação das pilosidades, devido aos inúmeros problemas que estas podem trazer, têm-se desenvolvido durante estes últimos anos [83] vários tipos de aparelhos com o objectivo de quantificar este parâmetro, o qual pode ser complementado com um julgamento visual.

Vários métodos de medida objectiva das pilosidades foram desenvolvidos, incluindo uma câmara de televisão, a qual apresenta automaticamente três parâmetros (número, comprimento e diâmetro das fibras soltas).

Hoje em dia, existem já diversos tipos de aparelhos comercializados que determinam este valor. Entre estes encontramos, o aparelho da Digital-ITQT [84], o Medidor de pilosidades Shirley [83], o G 567 da Zweigle [85, 86] e o Uster Tester 3 [87].

2.4.2.4 Torção

A torção do fio é também um dos factores que se deve controlar. Quando se testa a torção num fio, é importante saber o objectivo deste teste. Se se pretender determinar a variação da torção, então um elevado número de ensaios devem ser realizados, em provetes com um comprimento pequeno, existindo diversos métodos para se fazer esta avaliação [88].

2.4.3 Controlo no processo

Cada máquina pode ser considerada como uma fonte de perturbações. O objectivo do controlo é o de detectar variações na matéria antes desta se propagar ao longo do processo. Um defeito introduzido num início do processo, pode não ser detectado até que se verifique, por exemplo, que o número de quebras no contínuo sofreu um grande aumento. É necessário, devido a este facto, que o controlo seja efectuado "on-line" e "off-line", para garantir que tal perturbação seja logo detectada.

Neste momento existem já máquinas equipadas com dispositivos de auto-regulação, o que vem facilitar este controlo, pelo menos no que diz respeito ao título desejado.

O quadro 2.XVI [89] apresenta a combinação do controlo "on-line" e "off-line" numa linha de fição.

Quadro 2.XVI - Combinação do controlo "on-line" e "off-line" numa linha de fição

	Método do teste	Parâmetro de qualidade	Conjunto de fibras	Intervalo do teste	Tamanho da amostra
Linha de abertura	OFF-LINE	Quantidade de impurezas Conteúdo em micro poeiras	Fibras em flocos Desperdícios	1 vez / semestre	
Carda com auto regulação	ON-LINE	Título da fita CV% 100m fita CV% 1cm Espectrograma	Fita	Continuamente	100% da produção
	OFF-LINE	Título da fita CV% 1cm Espectrograma Diagrama	Fita Fita	1 vez / mês 1 vez / mês	1 X 100m min 125m
		Neps	Fita/véu	1 vez / mês	
		Quantidade de desperdícios	Fita/Desperdícios	1 vez / semestre	
Reunideira de fitas	OFF-LINE	Peso da manta	Manta	1 vez / dia	6 mantas
Reunideira de mantas	OFF-LINE	Peso da manta	Manta	1 vez / semana	8 mantas
Penteadeira	OFF-LINE	Título da fita CV1%	Fita Fita	1 vez / semana 1 vez / semana	3X10m pelo menos 125m
		Espectrograma Diagrama			
		Desperdício penteadeira		1 vez / semana	
Laminador 1	ON-LINE	Título da fita CV% 1m CV % 1cm Espectrograma	Fita	Continuamente	100% produção
	OFF-LINE	Título da fita CV% 1cm Espectrograma Diagrama	Fita Fita	1 vez / semana 1 vez / semana	3 X 10m pelo menos 125m
Laminador 2	ON-LINE	Título da fita CV% 1m CV % 1cm Espectrograma	Fita	Continuamente	100% produção
	OFF-LINE	Título da fita CV% 1cm espectrograma Diagrama	Fita Fita	1 vez / semana 1 vez / semana	3 X 10m pelo menos 125m
Torção	OFF-LINE	Título da mecha	8 bobinas (4 da frente e 4 de trás)	1 vez / semana	Cada 1X 10m
		CV% 1cm Espectrograma Diagrama	8 bobinas (4 da frente e 4 de trás)	1 vez / semana	Pelo menos 125m
Contínuo	ON-LINE	Quebras do fio	Fio	Continuamente	100% produção
	OFF-LINE	Título do fio CV% 100m	20 cones	1 vez/mês	cada 1X100m
		CV% 1cm IPI Espectrograma Diagrama	10 cones	1 vez / mês	cada 1000m
		Pilosidades	10 cones	1 vez / mês	cada 1000m
		Força de ruptura Aalongamento	10 cones	1 vez / mês	20 amostras/canela 20 amostras/canela
		Torção do fio	10 cones	Por mudança de torção	10 amostras/canela
Defeitos nos fios	Cones	1 vez / mês	300000 m		

3. MODELOS ESTATÍSTICOS PARA O RELACIONAMENTO ENTRE AS PROPRIEDADES DA RAMA E AS PROPRIEDADES DO FIO

3.1 Conceitos teóricos

Para que se pudesse definir o modelo matemático que relacionasse as propriedades das fibras em função das características dos fios e vice versa, recorreu-se a técnicas estatísticas. A técnica utilizada para construir os modelos foi a análise de regressão múltipla. Para tal, a regressão faz uso de dados experimentais e determina relações funcionais que mostram qual é a influência das diferentes variáveis independentes na variável dependente de um determinado sistema. Com este objectivo e utilizando dentre os diferentes métodos de ajustamento de valores [90], o método dos mínimos quadrados, ter-se-á como fórmula geral a equação 3.1 [91].

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_p X_p + \varepsilon, \quad (3.1)$$

onde o Y representa a variável dependente, X_i as variáveis independentes, e o ε é o erro aleatório (ou residual), assumindo este, o valor da variação de Y que não é considerada na relação múltipla. Os parâmetros a_j são os coeficientes de regressão, os quais necessitam ser estimados. As variáveis independentes X_i , não são variáveis aleatórias, assumindo valores fixos. Assume-se que os erros ε são independentes e têm uma distribuição normal com média 0 e variância σ^2 , independentemente dos valores de X_i considerados. Considerando o valor esperado dos dois lados da equação (3.1), teremos :

$$E(Y) = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_p X_p, \quad (3.2)$$

verificando-se que o valor estimado do erro é zero .

Na equação 3.1 os ε encontram-se distribuídos normalmente e a variável aleatória Y tem uma distribuição normal com média $a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_p X_p$ e variância σ^2 . Na equação 3.2, a variável aleatória Y, para um dado valor de X_i , tem uma distribuição normal com média $a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_p X_p$ e variância σ^2 . A principal diferença entre (3.1) e (3.2), é que em (3.1) os valores de X_i são fixos, e valores repetidos de Y podem ser obtidos para alguns valores de X_i , enquanto que na equação (3.2) X_i e Y têm uma distribuição conjunta, e se X_i tem uma distribuição contínua (como a normal), então valores repetidos de Y para um dado valor de X_i não são obtidos através da amostra.

3. MODELOS ESTATÍSTICOS PARA O RELACIONAMENTO ENTRE AS PROPRIEDADES DA RAMA E AS PROPRIEDADES DO FIO

3.1 Conceitos teóricos

Para que se pudesse definir o modelo matemático que relacionasse as propriedades das fibras em função das características dos fios e vice versa, recorreu-se a técnicas estatísticas. A técnica utilizada para construir os modelos foi a análise de regressão múltipla. Para tal, a regressão faz uso de dados experimentais e determina relações funcionais que mostram qual é a influência das diferentes variáveis independentes na variável dependente de um determinado sistema. Com este objectivo e utilizando dentre os diferentes métodos de ajustamento de valores [90], o método dos mínimos quadrados, ter-se-á como fórmula geral a equação 3.1 [91].

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_p X_p + \varepsilon, \quad (3.1)$$

onde o Y representa a variável dependente, X_i as variáveis independentes, e o ε é o erro aleatório (ou residual), assumindo este, o valor da variação de Y que não é considerada na relação múltipla. Os parâmetros a_j são os coeficientes de regressão, os quais necessitam ser estimados. As variáveis independentes X_i , não são variáveis aleatórias, assumindo valores fixos. Assume-se que os erros ε são independentes e têm uma distribuição normal com média 0 e variância σ^2 , independentemente dos valores de X_i considerados. Considerando o valor esperado dos dois lados da equação (3.1), teremos :

$$E(Y) = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_p X_p, \quad (3.2)$$

verificando-se que o valor estimado do erro é zero .

Na equação 3.1 os ε encontram-se distribuídos normalmente e a variável aleatória Y tem uma distribuição normal com média $a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_p X_p$ e variância σ^2 . Na equação 3.2, a variável aleatória Y, para um dado valor de X_i , tem uma distribuição normal com média $a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_p X_p$ e variância σ^2 . A principal diferença entre (3.1) e (3.2), é que em (3.1) os valores de X_i são fixos, e valores repetidos de Y podem ser obtidos para alguns valores de X_i , enquanto que na equação (3.2) X_i e Y têm uma distribuição conjunta, e se X_i tem uma distribuição contínua (como a normal), então valores repetidos de Y para um dado valor de X_i não são obtidos através da amostra.

De forma a estimar a relação existente entre Y e X_1, X_2, \dots, X_p , supõe-se a existência de n observações de $(Y, X_1, X_2, \dots, X_p)$. Pelas equações (3.1) e (3.2), poderemos escrever a relação assumida entre as diferentes variáveis, como:

$$Y = E(Y) + \varepsilon \quad (3.3)$$

onde o Y representado do lado esquerdo da equação representa a média Y , para um dado X_1, X_2, \dots, X_p . Se considerarmos, $\hat{a}_0, \hat{a}_1, \hat{a}_2, \dots, \hat{a}_p$ como os estimadores dos parâmetros $a_0, a_1, a_2, \dots, a_p$, então uma estimativa de $E(Y)$ seria $\hat{Y} = \hat{a}_0 + \hat{a}_1 X_1 + \hat{a}_2 X_2 + \dots + \hat{a}_p X_p$. Desta forma, para cada observação Y_i , podemos escrever:

$$Y_i = \hat{Y}_i + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (3.4)$$

onde \hat{Y}_i é uma estimativa de $E(Y_i)$ e ε_i é uma estimativa de ε_i .

Desta forma, se $E(Y)$ for uma relação linear,

$$\begin{aligned} Y_i &= a_0 + a_1 X_{1i} + a_2 X_{2i} + \dots + a_p X_{pi} + \varepsilon_i = \\ &= \hat{a}_0 - \hat{a}_1 X_{1i} - \hat{a}_2 X_{2i} - \dots - \hat{a}_p X_{pi} + \varepsilon_i \end{aligned} \quad (3.5)$$

O problema agora é o de obter estimativa de $\hat{a}_0, \hat{a}_1, \hat{a}_2, \dots, \hat{a}_p$ da amostra do parâmetros desconhecidos $a_0, a_1, a_2, \dots, a_p$. A melhor forma de efectuar este cálculo é com a utilização do método dos mínimos quadrados. Este método minimiza as somas dos quadrados das diferenças entre os valores estimados e os valores experimentais para a variável dependente.

Neste caso tem-se n observações de $Y, X_1, X_2, X_3, \dots, X_p$ e o quadrado dos desvios é determinado por [91]:

$$\begin{aligned} \sum_1 \varepsilon_i^2 &= \sum_1 (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \\ &= \sum_1 (Y_i - \hat{a}_0 - \hat{a}_1 X_{1i} - \hat{a}_2 X_{2i} - \dots - \hat{a}_p X_{pi})^2 \end{aligned} \quad (3.6)$$

função de $\hat{a}_0, \hat{a}_1, \hat{a}_2, \dots, \hat{a}_p$, cujas condições de estacionaridade são:

$$\frac{\delta \sum_1 \varepsilon_i^2}{\partial \hat{a}_i} = 0 \quad (3.7)$$

Efectuando-se a derivação obtêm-se o seguinte sistema de equações normais (3.8), onde em todos os somatórios i varia entre 1 e n .

$$\begin{aligned} \hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_1 X_{1i} + \hat{\alpha}_2 X_{2i} + \dots + \hat{\alpha}_p X_{pi} &= \sum Y_i \\ \hat{\alpha}_0 \sum X_{1i} + \hat{\alpha}_1 \sum X_{1i}^2 + \hat{\alpha}_2 \sum X_{1i} X_{2i} + \dots + \hat{\alpha}_p \sum X_{1i} X_{pi} &= \sum X_{1i} Y_i \\ \hat{\alpha}_0 \sum X_{2i} + \hat{\alpha}_1 \sum X_{1i} X_{2i} + \hat{\alpha}_2 \sum X_{2i}^2 + \dots + \hat{\alpha}_p \sum X_{2i} X_{pi} &= \sum X_{2i} Y_i \\ &\vdots \\ \hat{\alpha}_0 \sum X_{pi} + \hat{\alpha}_1 \sum X_{1i} X_{pi} + \hat{\alpha}_2 \sum X_{2i} X_{pi} + \dots + \hat{\alpha}_p \sum X_{pi}^2 &= \sum X_{pi} Y_i \end{aligned} \quad (3.8)$$

Para se obter os valores estimados de $\hat{\alpha}_0, \hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2, \dots, \hat{\alpha}_p$, é necessário resolver o sistema (3.8) de $p+1$ equações lineares.

A primeira equação do sistema (3.8) pode escrever-se da seguinte forma [92]:

$$\sum e = \sum (Y_i - \hat{Y}_i) = 0 \quad ; \quad \sum Y_i = \sum \hat{Y}_i \quad (3.9)$$

com a vantagem de mostrar que os erros e_i têm média nula, isto é $\bar{e} = 0$, e que os valores \hat{Y}_i têm média igual às dos Y_i , isto é, $\bar{\hat{Y}} = \bar{Y}$.

As equações de regressão determinam-se com o objectivo, de estimar ou de prever o valor de uma variável sendo conhecido o valores das restantes, no caso de uma equação de regressão múltipla. De qualquer forma as aplicações destas equações são acompanhadas sempre da preocupação de avaliar o grau de precisão atingido pelas estimativas. Geralmente opta-se pela variância dos erros (equação 3.10), como medida de precisão do ajustamento, partindo do princípio que os erros a cometer não diferem dos erros cometidos ao tomar \hat{Y} como estimativa do valor Y já conhecido.

$$\sigma^2 = \frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n} \quad (3.10)$$

A variância dos erros indica as variações existentes entre os valores estimados e conhecidos. O maior inconveniente da variância dos erros encontra-se no facto desta se exprimir em (unidades de Y)². Desta forma, se os valores de Y_i são pequenos, pode-se

obter um valor muito pequeno, apesar de ser muito reduzida a eficácia da equação de regressão relativamente à ordem de grandeza dos Y_i . Para se obter uma medida de precisão relativa, utiliza-se o quociente 3.11.

$$\frac{\sigma_e^2}{\sigma_Y^2} = \frac{\frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}}{\frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}{n}} = \frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (3.11)$$

Este quociente, mede a relação entre as variâncias dos erros cometidos quando se empregam os seguintes métodos de estimação [92]:

- estimação dos Y_i por meio da equação de regressão \hat{Y}_i , isto é, aproveitamento da informação que os X_i (que entram, evidentemente, na expressão de \hat{Y}_i) podem dar sobre Y_i ;
- estimação dos Y_i por uma constante igual à sua média \bar{Y} , desprezando, portanto a informação que o conhecimento dos X_i possa dar sobre os Y_i .

Quadro 3.1 - Significado dos valores obtidos com $\frac{\sigma_e^2}{\sigma_Y^2}$

= 0	Correlação máxima
> 0	Variáveis estatisticamente relacionadas
< 1	
= 1	Correlação linear nula

Se existir alguma relação estatística ente a variável dependente e as independentes, o método (a) será superior ao método (b), pois por força dessa relação, a estimação dos parâmetros dependentes deve ser beneficiada com o conhecimento das variáveis independentes. Neste caso o quociente $\frac{\sigma_e^2}{\sigma_Y^2}$ deverá ser menor que 1. No caso extremo de

existir uma relação linear entre as variáveis, o quociente será nulo por ser nula a variância dos erros: o processo (a) é superior. Não havendo correlação entre as variáveis, os dois processos são equivalentes, pois a contribuição do conhecimento das variáveis independentes para a determinação da variável dependente é nulo. Os valores assumidos por este quociente tem o significado estatístico apresentado no quadro 3.1.

Atendendo ao exposto, estaria justificado o emprego da relação $\frac{\sigma_e^2}{\sigma_Y^2}$ como medida da correlação existente entre as variáveis. Porém convencionou-se que ao valor 1 corresponde correlação máxima e a 0 corresponde a correlação mínima. Define-se então o coeficiente de correlação (r) pela expressão 3.12.

$$r = \sqrt{1 - \frac{\sigma_e^2}{\sigma_Y^2}} \quad (3.12)$$

Por outro lado, o quadrado do coeficiente de correlação é o coeficiente de determinação. Este dá-nos uma medida da precisão relativa da equação de regressão linear da variável dependente sobre as independentes.

Designando por $\hat{\sigma}_Y^2$, a variância dos valores \hat{Y}_i , $\hat{\sigma}_Y^2 = \frac{(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{n}$, pois como já foi referido em (3.9), verifica-se o seguinte:

$$\sigma_Y^2 = \sigma_e^2 + \hat{\sigma}_Y^2 \quad (3.13)$$

Desta relação (3.13) verifica-se que a variância de Y decompõe-se na soma da variância de \hat{Y} com a variância dos erros, isto é a variância residual. Assim uma parte da variabilidade de Y é explicada por \hat{Y} , sendo o mesmo que afirmar que esta é determinada pelos factores dependentes intervenientes na equação, e a outra parte fica inexplicada, considerando-se resultante dos factores não incluídos na relação e que actuam sobre a variável dependente mas não sobre as independentes. Voltando à equação 3.13, verifica-se que:

$$\frac{\sigma_e^2}{\sigma_Y^2} + \frac{\hat{\sigma}_Y^2}{\sigma_Y^2} = 1 \quad (3.14)$$

substituindo 3.12, ter-se-á

$$r^2 = 1 - \frac{\sigma_e^2}{\sigma_Y^2} = \frac{\hat{\sigma}_Y^2}{\sigma_Y^2}, \quad (3.15)$$

e portanto,

$$|r| = \frac{\hat{\sigma}_Y}{\sigma_Y}, \quad (3.16)$$

Com efeito a equação 3.16, mostra que $|r| \leq 1$, indicando como se deve interpretar o coeficiente de correlação, ou mais usualmente o seu quadrado r^2 . Este traduz a proporção da variância da variável dependente que é explicada pela sua regressão sobre as variáveis independentes. O coeficiente de correlação mede a exactidão do ajustamento dos dados à equação considerada. Na prática valores de $|r| = 1$ são raros de se obter. No quadro 3.II [93] apresenta-se o significado quanto aos valores obtidos para o coeficiente de correlação.

Quadro 3.II - Significado do valor de r

r	Significado
0.2	Correlação muito baixa
0,2 a 0,4	Correlação baixa
0,4 a 0,7	Correlação média
0,7 a 0,9	Correlação elevada
0,9 a 1	Correlação muito elevada

No quadro 3.III apresenta-se sob uma forma esquemática a análise da variância numa regressão linear múltipla [94].

Quadro 3.III - Análise da variância numa regressão múltipla

Fonte	Graus de liberdade	Soma dos desvios	Média dos desvios
Regressão	p	$\sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$	$\frac{\sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{p}$
Erro	n-p-1	$\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2$	$\frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-p-1}$
Total	n-1	$\sum (Y_i - \bar{Y})^2$	

Outro dos parâmetros estatísticos utilizados foi a distribuição F de Snedecor, a qual pode ser considerada como um instrumento de larga utilização na inferência estatística. Neste caso, este foi utilizado para indicar como o modelo calculado explica o comportamento da variável dependente. Ao tentar fixar decisões, é conveniente a formulação de hipóteses acerca das populações interessadas. Essas suposições, que podem ser verdadeiras ou falsas são denominadas hipóteses estatísticas e geralmente consistem em considerações acerca das distribuições de probabilidades das populações. As hipóteses formuladas, com o intuito de serem rejeitadas são denominadas de hipóteses nulas e representam-se normalmente por H_0 . Os processos que habilitam a decidir se se aceitam ou rejeitam as hipóteses, ou a determinar se a amostra observada difere, de modo significativo, dos resultados esperados, são denominados testes de hipótese ou de significância.

Neste caso podem ser admitidos dois tipos de erros:

i) Se a hipótese nula for rejeitada quando esta é verdadeira, diz-se que foi cometido um erro Tipo I.

ii) Se a hipótese nula é aceita quando deveria ser rejeitada, diz-se que foi cometido um erro Tipo II.

Ao testarmos uma hipótese estabelecida, a probabilidade máxima com a qual se sujeitará a correr o risco de um erro Tipo I é denominada nível de significância do teste (α).

No estudo efectuado, utilizou-se este factor para testar a hipótese de que todos os parâmetros são zero, excepto o a_0 , isto é [91, 95]:

$$H_0: a_1 = a_2 = \dots = a_p = 0$$

A análise da variância quantifica-nos o valor de F através da equação 3.17.

$$F = \frac{\frac{\sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{p}}{\frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-p-1}} \quad (3.17)$$

Ao valor calculado e associado o grau de significância é necessário compará-lo com o valor tabelado de $F_{p,(n-p-1),1-\alpha}$. A região crítica é $F > F_{p,(n-p-1),1-\alpha}$.

Além destes parâmetros estatísticos é necessário determinar as contribuições de cada uma das variáveis independentes para o cálculo da variável dependente, dado o valor das

grandezas em questão ser muito diferente. Para tal, calculou-se o valor β_i , isto é, o coeficiente de regressão padronizado. Este é definido como:

$$\beta_i = a_i \frac{\sigma_{X_i}}{\sigma_Y}, \quad (3.18)$$

Multiplicando o coeficiente de regressão (a_i), pela razão entre o desvio padrão da variável independente (σ_{X_i}) e o desvio padrão da variável dependente (σ_Y), teremos um coeficiente adimensional, o qual torna viáveis conclusões sobre a importância de uma dada variável na equação.

Depois se terem apresentado alguns dos conceitos teóricos, que irão ser utilizados ao longo deste estudo e neste caso, devido ao facto de se tratarem de um elevado número de variáveis optou-se por efectuar uma regressão por fases. Neste caso é necessário encontrar uma equação empírica que os relacione e que satisfaça simultaneamente dois critérios: tenha um valor elevado do r^2 e utilize unicamente as variáveis independentes mais importantes. Os métodos mais utilizados para efectuar estes cálculos são [96]:

- Todas as regressões possíveis
- Eliminação de trás para a frente (backward)
- Selecção da frente para trás (forward)
- Regressão por escada (stepwise)

O método utilizado foi o "Backward", o qual inicia a sua iteração utilizando todas as variáveis, fazendo a eliminação de variáveis dependendo da importância da sua contribuição para a diminuição da soma dos quadrados dos erros.

Este método de selecção da melhor equação consiste em:

- Numa primeira fase calcular uma equação de regressão que contém todas as variáveis existentes
- Efectuar um teste F (Snedecor), o qual é aplicado a cada variável, sendo esta tratada como se fosse a última variável a fazer parte da equação de regressão. O valor mais baixo de F, F_p é comparado com um valor pré seleccionado, com um nível de significância F_0 , e neste caso se,

1. $F_p < F_0$, é necessário retirar a variável X_p , e refazer os cálculos para as restantes variáveis obtendo-se desta forma uma nova equação de regressão.

2. $F_p > F_0$, a equação de regressão que deverá ser utilizada é a calculada.

O estudo estatístico foi efectuado utilizando-se o *package* estatístico SPSS [95] em ambiente MS-DOS. Foram determinadas as equações de regressão nos diferentes sistemas de controlo de rama utilizados (Instrumentos Individuais, Motion Control e Spinlab).

3.2 Desenvolvimento experimental

3.2.1 Dados utilizados

Atendendo aos requisitos de fiabilidade imprescindíveis ao correcto estabelecimento das equações características das diferentes condições estudadas, houve necessidade de recorrer a bases de dados capazes de nos fornecerem essa garantia.

Nesse sentido, foram utilizadas dados recolhidos em estudos realizados na Universidade do Texas, para a determinação das propriedades dos fios e das ramas processadas em diferentes linhas de produção e abrangendo todo o conjunto de algodões produzidos nos Estados Unidos.

Quadro 3.IV - Características das fibras analisadas com Instrumentos Individuais

Variável	Média	Mínimo	Máximo
Resistência Stelometer (cN/tex)(x1)	25,17	22,37	27,60
Alongamento Stelometer (%)(x2)	5,70	4,93	6,87
Comprimento 2,5% (")(x3)	1,0	0,89	1,09
Uniformidade de Comp. (%)(x4)	45,41	43,20	47,20
Percentagem de Fibras Curtas(%)(w1)	5,49	1,95	8,26
Micronaire (Unidades) (x5)	3,77	2,95	4,33
Percentagem de Partículas(%)(w3)	2,61	0,90	5,57

Devido à grande diversidade de aparelhos utilizados nos laboratórios de controlo de qualidade das empresas têxteis foram consideradas as características da rama obtidas através de diferentes instrumentos de controlo, designadamente Instrumentos Individuais e Instrumentos de Alto Volume. Neste último caso, foram utilizados os valores obtidos nos Spinlab e pela Motion Control 900. Os valores médios, máximos e mínimos obtidos nas diferentes técnicas de caracterização encontram-se nos quadros 3.IV (Instrumentos Individuais) e no quadro 3.V (Instrumentos de Alto Volume).

Quadro 3.V - Características das fibras analisadas com Instrumentos de Alto Volume

Variável	Motion Control			Spinlab		
	Médio	Mínimo	Máximo	Médio	Mínimo	Máximo
Resistência (cN/tex) (x1)	25,98	22,75	29,75	25,73	21,60	29,70
Alongamento (%) (x2)	5,85	5,28	6,35	5,67	5,00	6,30
Comprimento (") (x3)	1,02	0,94	1,11	1,04	0,95	1,14
Uniformidade de Comp. (%) (x4)	79,78	76,50	84,00	78,81	72,00	85,00
Micronaire (Unidades) (x5)	3,80	2,95	4,35	3,84	2,90	4,50
Reflectância(%Rd) (x6)	75,56	70,00	82,40	75,91	70,80	82,00
Grau de Amarelo (Unid+b) (x7)	8,13	6,60	9,70	8,61	7,40	10,30
Índice de Cor 1 (x8)	34	11	41	32	11	41
Índice de Cor 2 (x9)	2	1	4	2	1	4
Teor de sujidade (x10)	32	20	60	-	-	-

Como se pode verificar pela análise dos quadros, os valores das características da rama de algodão são ligeiramente diferentes dependendo do método de controlo utilizado. Tal diferença foi tomada em consideração, tendo sido efectuado um estudo separado para cada tipo de instrumento de controlo.

De entre os processos de obtenção dos fios foram seleccionados os processos mais comumente utilizados na nossa indústria: processo convencional (contínuo de anéis) e o processo não convencional (Open-end turbina). Neste último caso estudaram-se os fios produzidos em duas máquinas distintas, a OE RU 14 Spincomat e a Autocoro 117. Estes fios serão a partir deste momento denominados como fio OE1 e fio OE2.

Os valores obtidos nos três casos, foram utilizados na determinação da correlação existente entre eles e a rama que foi utilizado no seu processamento. As características médias, máxima e mínima encontram-se no quadro 3.VI (processo convencional) e nos quadros 3.VII e VIII (processo não convencional).

Quadro 3.VI - Características do Fio Convencional

Variáveis	Médio	Mínimo	Máximo
Coefficiente de Torção (y1)	4	4	4
Número do Fio (Ne) (y2)	22,37	15,77	30,67
Coefficiente Variação(%) (y3)	2,1	1,1	9
Resistência (cN) (y4)	430,5	232	937
Coefficiente Variação(%) (y5)	14,6	11,7	19,4
Alongamento (%) (y6)	5,69	4,73	7,21
Coefficiente Variação(%) (y7)	11,78	9,3	15,3
CVUster (%) (y8)	23,75	19,01	29,45
Pontos Finos /1000m (y9)	815	143	2186
Pontos Grossos/1000m (y10)	1389	463	2614
Nepes /1000m (y11)	485	54	1856
Pilosidades/100m (y12)	1181	804	1666

Embora todos estes fios tenham sido produzidos com a mesma rama, convém salientar a diferença existente entre as propriedades dos fios em questão. Esta diferença torna-se mais notória quando se compara um fio produzido pelo processo convencional (contínuo de anéis) com um produzido pelo processo não convencional (open-end turbina). A influência do processo de produção foi também determinado atendendo à diferença existente entre os valores.

Desta forma, a metodologia utilizada foi a seguinte:

1 - Selecção das propriedades das ramas em função das propriedades dos fios, em função:

- a) Processo de controlo
- b) Processo de produção

Foram determinadas nove sistemas de equações, que permitem seleccionar as propriedades da rama necessárias à produção de um fio com características pré-definidas, dependendo do processo de controlo e do processo de produção utilizado.

Quadro 3.VII - Características do Fio Não-Convencional (OE1)

Variáveis	Médio	Mínimo	Máximo
Coefficiente de Torção (y1)	4,81	4,78	4,85
Número do Fio (Ne) (y2)	20,42	9,76	30,49
Coefficiente Variação(%) (y3)	1,4	0,6	2,6
Resistência (cN) (y4)	494,6	224	980
Coefficiente Variação(%) (y5)	9,9	6,4	14,4
Alongamento (%) (y6)	6,10	4,78	8,26
Coefficiente Variação(%) (y7)	8,2	5,8	12
CVUster (%) (y8)	16,98	14,27	20
Pontos Finos /1000m (y9)	80	4	302
Pontos Grossos/1000m (y10)	226	64	525
Nepes /1000m (y11)	536	42	1879
Pilosidades/100m (y12)	246	99	562

2 - Previsão das propriedades do fio em função das propriedades da rama

a) Processo de produção

b) Processo de controlo

A previsão das propriedades do fio poderá ser de uma grande ajuda ao fiandeiro, pois com a utilização de uma determinada rama ele poderá escolher qual o processo de produção mais conveniente para obter as características desejadas no fio.

Quadro 3.VIII - Características do Fio Não- Convencional (OE2)

Variáveis	Médio	Mínimo	Máximo
Coefficiente de Torção (y1)	4,79	4,78	4,79
Número do Fio (Ne) (y2)	20,75	9,74	30,86
Coefficiente Variação(%) (y3)	1,3	0,4	2,3
Resistência (cN) (y4)	480	219	935
Coefficiente Variação(%) (y5)	10,4	6,7	15,4
Alongamento (%) (y6)	5,86	4,11	8,65
Coefficiente Variação(%) (y7)	9,77	5,1	15,5
CVUster (y8)	16,27	13,45	20,14
Pontos Finos /1000m (y9)	74	0	326
Pontos Grossos/1000m (y10)	139	14	426
Nepes /1000m (y11)	229	6	900
Pilosidades/100m (y12)	218	82	498

3.2.2 Selecção da rama em função do fio

3.2.2.1 Tratamento estatístico

O estudo estatístico iniciou-se pela determinação das equações de regressão correspondentes à relação entre as características da rama e as características do fio. A análise foi efectuada, utilizando-se como variáveis independentes as características do fio. O modelo utilizado no estabelecimento da equação de regressão foi o linear, dado estudos anteriores terem utilizado este tipo de modelo [6, 11, 13, 14, 19, 20, 21, 28]. A forma geral do modelo será:

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_n X_n + \epsilon \\
 Y_2 &= a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_n X_n + \epsilon \\
 &\dots \\
 Y_p &= a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_n X_n + \epsilon
 \end{aligned}
 \tag{3.19}$$

onde Y_p representa a variável dependente e X_n as variáveis independentes. O valor de n representa o número de características estudadas, dependendo do tipo de controlo utilizado. As equações de regressão determinadas serão denominadas da forma apresentada no quadro 3.IX.

3.IX - Relação das equações de regressão para a selecção da rama

Equação nº	Processo de controlo	Processo de produção
1	Instrumentos Individuais	Fio Convencional
2		Fio OE1
3		Fio OE2
4	Motion Control	Fio Convencional
5		Fio OE1
6		Fio OE2
7	Spinlab	Fio Convencional
8		Fio OE1
9		Fio OE2

Além da influência do processo de controlo há também a considerar a influência do processo de produção. Neste caso as propriedades dos fios não são influenciadas pelo método de controlo laboratorial, pois a forma como foi efectuada foi igual em todos os casos. Conjugando todos estes factores, obtiveram-se nove sistemas de equações que se encontram apresentadas no Anexo 1-Parte A.

O programa utilizado (SPSS) [95] além de nos calcular quais os valores correspondentes aos coeficientes de regressão $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ em questão, faz uma análise da variância do modelo, bem como determina o coeficiente de determinação do modelo matemático. Nos quadros 3.X, 3.XI, 3.XII são representados os valores obtidos para os diferentes coeficientes de determinação e para o valor F de Snedecor.

Quadro 3.X - Coeficientes de determinação e valor do F de Snedecor para os Instrumentos Individuais

	Equação 1		Equação2		Equação3	
	r ²	F	r ²	F	r ²	F
x1	0,73027	10,83	0,36634	3,95	0,60576	12,91
x2	0,64006	24,90	0,70305	19,89	0,82210	22,53
x3	0,82539	66,18	0,79536	32,65	0,72850	13,08
x4	0,60050	9,77	0,16646	4,49	0,38496	5,26
w1	0,50806	8,26	0,34412	4,41	0,48405	7,88
x5	0,69875	15,08	0,51271	8,84	0,64286	12,30
w3	0,09452	4,59	*	*	0,17586	3,13

* não existe equação

Quadro 3.XI - Coeficientes de determinação e valor do F de Snedecor para o Motion Control

	Equação4		Equação 5		Equação 6	
	r ²	F	r ²	F	r ²	F
x1	0,54221	6,43	0,33933	7,53	0,57161	11,21
x2	0,30686	9,52	0,39607	5,51	0,47801	9,84
x3	0,77707	27,89	0,74989	20,49	0,58935	15,43
x4	0,61239	12,64	0,52891	7,67	0,60097	8,61
x5	0,62711	10,93	0,53379	7,82	0,62937	11,60
x6	0,36938	3,81	0,38315	5,22	0,67879	12,08
x7	0,52068	7,06	0,35106	12,17	0,19789	5,55
x8	0,45164	6,59	0,37050	6,33	0,58990	9,83
x9	0,39737	6,76	0,28769	5,92	0,36163	4,76
x10	0,39186	4,19	0,21747	4,08	*	*

Se utilizarmos os Instrumentos Individuais para analisar a rama de algodão, as equações nos três tipos de fios apresentam um coeficiente de determinação que varia entre

0,10 e 0,83 no caso do fio convencional, entre 0,17 e 0,80 no caso do fio OE1 (não existindo neste caso nenhum tipo de correlação para o percentagem de partículas(w3) e entre 0,18 e 0,82 no caso do fio OE2.

Se utilizarmos o Motion Control os coeficientes de determinação diferem um pouco. Estes são mais baixos do que os encontrados para os Instrumentos Individuais, embora a variação entre eles seja menor. No caso do fio convencional estes variam entre 0,31 e 0,78, no fio OE1 a sua variação é entre 0,22 e 0,75 e no fio OE2 os valores do coeficiente de determinação situam-se entre os 0,20 e 0,68 (não foi possível obter nenhuma equação para a selecção do teor de sujidade (x10).

Quadro 3.XII - Coeficientes de determinação e valor do F de Snedecor para o Spinlab

	Equação7		Equação8		Equação9	
	r ²	F	r ²	F	r ²	F
x1	0,68902	8,86	0,39404	4,44	0,56388	13,90
x2	0,41500	7,27	0,32283	10,73	0,33958	5,53
x3	0,74733	30,32	0,72233	21,85	0,64413	15,20
x4	0,19896	3,48	0,42158	4,16	0,33735	5,47
x5	0,64592	11,86	0,51026	8,75	0,63649	11,96
x6	0,45749	6,42	0,34590	11,90	0,48726	13,94
x7	0,57513	8,80	0,49921	14,62	0,32604	5,20
x8	0,54165	7,68	0,23485	6,91	0,55187	7,04
x9	0,17655	3,00	0,34219	4,37	0,38419	5,24

Ao utilizarmos o Spinlab como técnica de controlo, os valores variam no caso do fio convencional entre 0,18 e os 0,75, no fio OE1 os valores situam-se entre os 0,24 e os 0,73 e no caso do fio OE2 estes variam entre os 0,33 e os 0,64.

Em todas as técnicas de controlo, bem como em todos os processos de produção a variável que apresenta sempre um maior coeficiente de determinação é o comprimento de fibra (x3), excepto na equação 6 em que o valor obtido para a equação de selecção do micronaire (x5) é superior.

Perante os resultados obtidos, relativamente à análise do coeficiente de determinação, verificou-se a existência de uma fraca correlação entre eles. Deste modo e dado que não nos seria possível garantir que os valores das propriedades obtidos a partir dos modelos determinados fossem fiáveis para a utilização neste estudo, foram introduzidas como variáveis independentes as próprias características das fibras, para que se conseguisse obter um modelo que melhor se adequasse aos dados .

A análise estatística foi repetida para os três métodos de controlo, bem como para os três tipos de fios utilizados neste estudo. Os valores do coeficiente de determinação obtidos nas equações de selecção das propriedades das ramas foram mais elevados (quadro 3.XIII,3.XIV, 3.XV). As equações obtidas encontram no Anexo 1 - Parte B.

No quadro 3. XIII encontram-se resumidos os parâmetros estatísticos obtidas para a selecção das propriedades das ramas em função dos fios a produzir (Instrumentos Individuais) .

Quadro 3.XIII - Coeficientes de determinação e valor do F de Snedecor para os Instrumentos Individuais

	Equação1		Equação2		Equação3	
	r ²	F	r ²	F	r ²	F
x1	0,95752	122,36	0,93933	105,79	0,93809	127,28
x2	0,83562	33,042	0,76041	34,12	0,76041	34,12
x3	0,84977	45,25	0,87132	33,01	0,80364	19,95
x4	0,70564	15,58	0,67252	14,03	0,70834	13,88
x5	0,90949	65,32	0,88860	54,51	0,87756	77,05
w1	0,94833	29,04	0,93811	103,58	0,94841	68,02
w3	0,52095	4,35	0,39544	9,59	0,39544	9,60

Pela análise do quadro verifica-se que com a introdução das propriedades das fibras como variáveis independentes, o coeficiente de determinação aumentou significativamente bem como o valor de F de Snedecor. Nos diferentes processos de produção os valores mais baixos apresentam-se quando se determina a percentagem de partículas(w3), variando este entre 0,39 nos fios produzidos pelo processo não convencional e 0,50 no caso do processo

convencional. Neste caso, ao contrário do que acontecia quando se analisou o percentagem de partículas / processo OE1 conseguiu-se obter a equação de regressão.

Se o controlo das propriedades das fibras for efectuado com a utilização de Instrumentos de Alto Volume, Motion Control, os valores obtidos para os coeficientes de determinação variam entre 0,82 e 0,98 no caso do fio convencional. Nos fios produzidos pelo processo não convencional, os coeficientes apresentam uma maior gama, variando estes entre 0,79 e 0,99 no fio OE1 e entre 0,71 e 0,98 no fio OE2. À semelhança do que aconteceu nos Instrumentos Individuais, os coeficientes de determinação aumentaram significativamente quando se introduziram como variáveis independentes as características das fibras. Os valores do coeficiente de determinação e do F de Snedecor encontram-se no quadro 3.XIV.

Quadro 3.XIV - Coeficientes de determinação e o valor F de Snedecor para o Motion Control

	Equação4		Equação5		Equação 6	
	r ²	F	r ²	F	r ²	F
x1	0,87368	21,38	0,84847	18,33	0,81729	25,56
x2	0,82550	21,88	0,83199	18,32	0,81780	25,65
x3	0,84777	19,49	0,84012	19,44	0,71954	21,55
x4	0,97121	118,05	0,96615	93,41	0,95881	86,13
x5	0,98290	141,46	0,98578	163,41	0,98050	131,53
x6	0,98147	130,37	0,99115	292,91	0,98142	138,14
x7	0,82030	21,11	0,79611	12,78	0,77582	11,33
x8	0,97596	125,48	0,98715	224,02	0,97929	123,68
x9	0,98425	218,74	0,99026	296,64	0,98262	238,74
x10	0,97720	117,89	0,97762	127,42	0,97007	94,52

Ao utilizarmos o Spinlab como método de controlo, obtiverem-se em quase todas as características estudadas factores de determinação semelhantes, excepto no alongamento e no índice de uniformidade em que o valor obtido é muito mais baixo. Os valores encontram-se no quadro 3.XV.

Quadro 3.XV - Coeficiente de determinação e o valor de F de Snedecor para o Spinlab

	Equação 7		Equação 8		Equação 9	
	r ²	F	r ²	F	r ²	F
x1	0,91159	31,87	0,80173	17,07	0,88848	23,24
x2	0,65788	12,50	0,62255	13,85	0,59899	10,21
x3	0,88701	31,40	0,94620	46,00	0,90562	22,62
x4	0,66625	9,23	0,69192	10,95	0,55392	7,10
x5	0,81591	20,50	0,82460	19,85	0,77275	23,24
x6	0,97011	176,19	0,96978	118,73	0,98414	146,22
x7	0,95842	106,60	0,94732	87,67	0,97559	94,19
x8	0,95802	123,87	0,96833	113,12	0,96916	132,69
x9	0,79598	13,66	0,90101	26,55	0,82716	23,33

No fio convencional, o coeficiente de determinação apresenta valores entre 0,65 e 0,90. No fio OE1 os valores obtidos são menores do que no caso anterior, encontrando-se estes entre 0,62 e 0,96. No fio OE2 também existe uma diminuição dos coeficientes de determinação principalmente no caso do alongamento que é de 0,59 embora nos outros parâmetros o coeficiente determinado seja superior.

3.2.2.2 Comentários ao tratamento estatístico

Das equações determinadas para a selecção da mistura de fibras mais apropriada, e através do coeficientes de determinação obtidos pode-se afirmar que os modelos matemáticos são representativos, para a gama de valores estudados.

Para se efectuar a análise dos modelos optou-se pela comparação entre as constantes β (coeficientes de regressão padronizados) dos mesmos, que se encontram no Anexo 1 -

Parte C. Para se efectuar uma melhor visualização das propriedades predominantes em cada uma das equações optou-se pela forma gráfica como meio de representação. Deste modo nos quadros 3.XVI, 3.XVII e 3.XVIII apresentam-se as três características mais importantes para a determinação de cada uma das propriedades nos modelos matemáticos obtidos, nos diferentes métodos de controlo.

3.2.2.2.1 Instrumentos individuais

Quadro 3.XVI - Características predominantes nos Instrumentos Individuais

	x1			x2			x3			x4			w1			x5			w3			
	c	oe1	oe2	c	oe1	oe2	c	oe1	oe2	c	oe1	oe2	c	oe1	oe2	c	oe1	oe2	c	oe1	oe2	
y1		■																				
y2	■						■		■		■			■								
y3																						
y4																						
y5																						
y6																						
y7																						
y8							■	■	■	■	■		■	■	■							
y9																						
y10							■	■	■		■							■				
y11							■	■	■		■											
y12																						
x1	■	■	■																	■	■	■
x2	■	■	■																			
x3																						
x4																						
w1	■	■	■									■	■	■								
x5							■	■	■					■	■	■					■	■
w3																					■	■

■ 1ª característica ■ 2ª característica ■ 3ª característica

No caso de se utilizar os Instrumentos Individuais como técnica de controlo laboratorial verifica-se que qualquer que seja o processo de produção do fio utilizado, as características das fibras apresentam sempre os mesmos factores (Quadro 3.XVI). Verifica-se desta forma a predominância das propriedades das fibras para a sua própria determinação, isto é, para que se consiga seleccionar a rama mais adequada para a produção de um determinado fio, é necessário tentar otimizar as propriedades das fibras, dado serem estas as principais responsáveis pela melhoria destas. Neste sentido convém alertar os produtores de fibra de algodão no sentido de tentarem melhorar determinadas propriedades das fibras, pois estas tem um efeito considerável nas restantes propriedades.

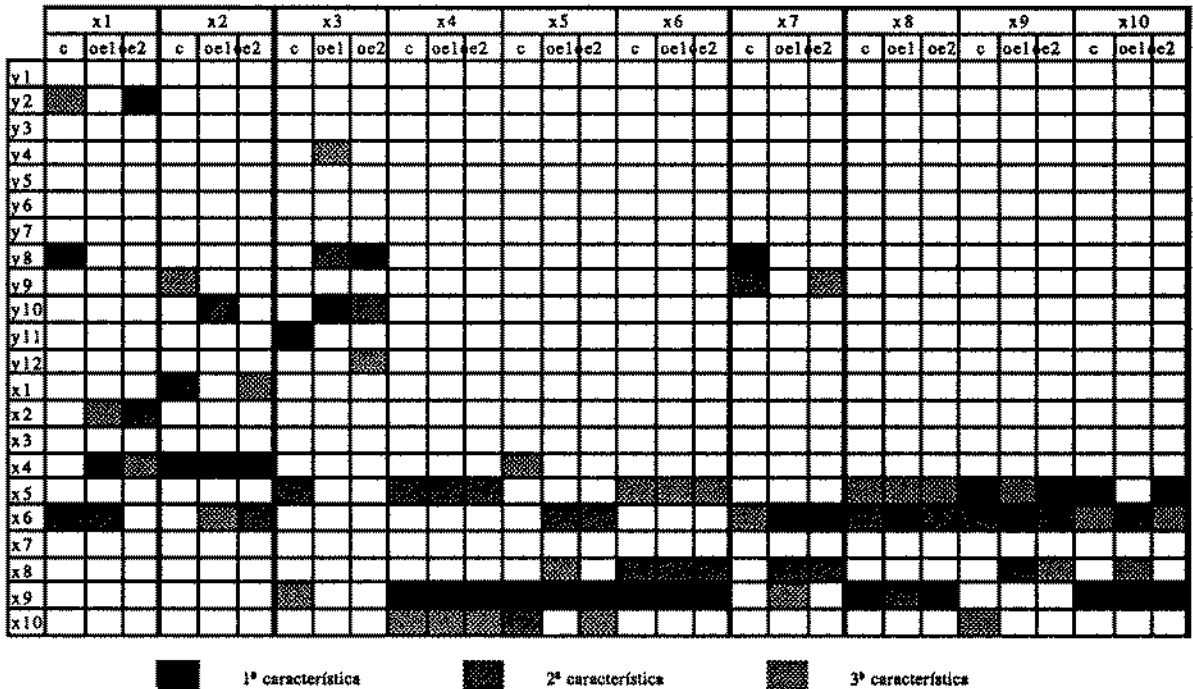
3.2.2.2.2 Motion Control

Quando a caracterização da rama é efectuada no Motion Control, os parâmetros mais importantes diferem dos acima citados, devido ao facto de se ter introduzido um novo conjunto de parâmetros caracterizadores, como por exemplo, os parâmetros de cor. Neste caso, ter-se-á:

Na determinação da resistência, verifica-se que os factores mais importantes dependem do processo de produção, embora no caso do fio convencional e do fio OE2, os parametros sejam semelhantes. Assim a massa linear é o parametro que mais se evidencia nestes dois processos, enquanto que no fio OE1 é o indice de uniformidade do comprimento e a reflectância.

No caso do alongamento, a característica predominante é igual para os três processos, sendo esta o indice de uniformidade do comprimento.

Quadro 3.XVII - Características predominantes no Motion Control



Os parâmetros referentes a irregularidades no fio são os mais importantes na equação de previsão do comprimento, embora estes sejam distintos no fio convencional e no

fio open-end. No primeiro caso são os neps, enquanto que no segundo é o CVUster e os pontos grossos.

O índice de uniformidade, depende nos três processos do micronaire e do índice de cor.

O micronaire, é função principalmente dos índice de cor.

A reflectância, é dependente principalmente do índice de cor nos três processos de produção estudados.

O grau de amarelo, apresenta factores predominantes diferentes nos processo convencional e no processo não convencional. No primeiro caso, este é o CVUster, enquanto que no segundo é a reflectância e o índice de cor.

O índice de cor, apresenta como factor semelhante nos três processos a reflectância.

Quanto ao teor de sujidade, os parâmetros de cor são os factores predominantes.

3.2.2.2.3 Spinlab

Se a análise das fibras for efectuada no Spinlab, os resultados obtidos são os seguintes:

A resistência da fibra depende, nos três fios estudados dos parâmetros de cor.

O alongamento da fibra, não apresenta neste caso, parametros comuns nos três processos.

No comprimento de fibra , os fios OE1 e OE2 apresentam como factores comuns , a reflectância, e o índice de cor1, enquanto que o fio convencional apresenta os neps como factor predominante.

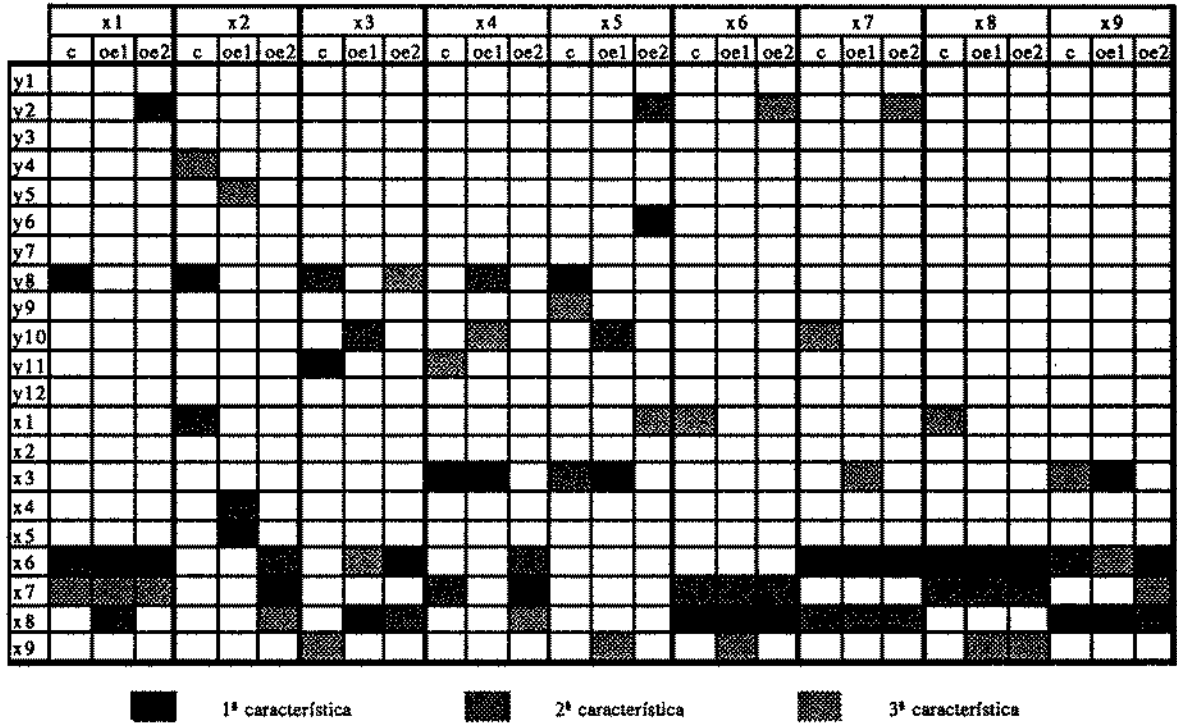
O comprimento de fibra é o factor predominante para a determinação do índice de uniformidade no fio convencional e no fio OE1. No fio OE2, a reflectância é o factor dominante.

Tal como acontecia no caso anterior o fio convencional e OE1 apresentam factores comuns (comprimento de fibra), para a determinação do micronaire, e o fio OE2 tem como factor determinante o alongamento do fio.

A reflectância, tem como factor comum os indices de cor.

O grau de amarelo, tem como factor predominante nos três processos a reflectância.

Quadro 3.XVIII - Características predominantes no Spinlab



3.2.3 Previsão das propriedades do fio em função das características da rama

3.2.3.1 Tratamento estatístico

Para que fosse possível efectuar-se a previsão das características dos fios a serem produzidos com uma determinada rama, efectuou-se um estudo estatístico semelhante ao anterior. Neste caso e devido ao estudo prévio da rama-fio não foram consideradas como variáveis independentes somente as características da rama, mas também as características do fio.

Neste caso dividiu-se o estudo pelo processo de produção, isto é foram determinadas as equações tomando em conta em primeiro lugar a forma como era efectuada a sua produção e em segundo qual o tipo de controlo que é utilizado nos laboratórios de controlo da matéria prima. Os valores das constantes obtidas para as diferentes equações encontram-se no Anexo 1-Parte D. Tal como na secção 3.2.2, as equações de regressão calculadas denominam-se da forma apresentada no quadro 3.XIX.

3.XIX - Relação das equações de regressão para a previsão do fio

Equação nº	Processo de Produção	Processo de Controlo
10	Fio Convencional	Instrumentos Individuais
11		Motion Control
12		Spinlab
13	Fio OE1	Instrumentos Individuais
14		Motion Control
15		Spinlab
16	Fio OE2	Instrumentos Individuais
17		Motion Control
18		Spinlab

3.2.3.1.1 Processo convencional

Os valores do coeficiente de determinação e do valor F de Snedecor encontram-se no quadro 3.XX.

Quadro 3.XX - Factores de determinação e valores de F (Snedecor) obtidos no fio Convencional

	Equação 10		Equação 11		Equação 13	
	r ²	F	r ²	F	r ²	F
Y1	-	-	-	-	-	-
Y2	0,93388	76,67	0,94644	48,60	0,94423	50,48
Y3	0,55096	6,66	0,38949	13,72	0,52749	8,93
Y4	0,87164	36,87	0,86404	29,39	0,83985	73,42
Y5	0,7891	20,31	0,8046	12,73	0,77015	26,81
Y6	0,80746	19,40	0,86424	25,46	0,82041	16,00
Y7	0,64195	14,34	0,71047	11,35	0,72167	12,00
Y8	0,97692	169,34	0,9838	242,94	0,98229	221,90
Y9	0,95273	433,38	0,98496	261,93	0,96842	141,84
Y10	0,99494	785,83	0,99716	863,00	0,99556	616,41
Y11	0,90790	101,04	0,90957	31,09	0,9067	30,04
Y12	0,55751	8,18	0,76915	11,66	0,5895	9,33

Após análise, verifica-se que se utilizar os Instrumentos Individuais como técnica de caracterização das fibras, obtêm-se em quase todas as características estudadas factores de determinação bastante significativos, excepto nas equações de previsão das pilosidades, do coeficiente de variação do número e do coeficiente de variação do alongamento. O coeficiente de determinação (r^2) situa-se entre 0,99 e 0,80 , excepto nas equações de previsão do coeficiente de variação do alongamento (0,60) , na das pilosidades (0,55) e na do coeficiente de variação do número (0,55). Devido ao facto dos valores encontrados para os coeficientes de determinação serem próximos de 1, permite-nos concluir que os valores obtidos a partir das equações se aproximam significativamente dos valores observados. Se

utilizarmos Instrumentos de Alto Volume, como técnica de controlo de rama, os valores dos coeficientes de determinação obtidos são similares às dos Instrumentos Individuais. No entanto verifica-se um aumento no coeficiente de determinação nas equações de previsão das pilosidades (0,76) e do coeficiente de variação do alongamento (0,71), e uma diminuição no caso da equação de previsão do coeficiente de variação do número (0,38) no Motion Control. Utilizando o Spinlab os valores são semelhantes aos dos Instrumentos Individuais.

3.2.3.1.2 Processo não convencional (OE1)

Quando se utiliza como padrão, o fio produzido num sistema não convencional, OE RU 14 Spincomat, os resultados que se obtêm quando as características da rama são analisadas em Instrumentos Individuais são os seguintes:

As equações apresentam um coeficiente de determinação que varia entre 0,74 e 0,99, embora na maior parte das características estudadas o seu valor seja superior a 0,90.

Se os ensaios de rama forem efectuados num sistema Motion Control, os resultados obtidos são os seguintes:

Os coeficientes de determinação variam entre 0,66 e 0,99, embora na maior parte das características estudadas o seu valor seja superior a 0,90.

Se utilizarmos o Spinlab como técnica de controlo, os valores obtidos para os coeficientes de determinação apresentam um intervalo de variação situado entre 0,80 e os 0,99.

No quadro 3.XXI apresentam-se os valores obtidos, no conjunto dos sistemas de equações determinadas, do coeficiente de determinação e do valor de F.

Quadro 3.XXI - Factores de determinação e valores de F (Snedecor) obtidos no fio OE1

	Equação 13		Equação 14		Equação 15	
	r ²	F	r ²	F	r ²	F
Y1	0,99955	8262,25	0,99944	8668,30	0,99955	5844,44
Y2	0,99954	8038,15	0,99945	8932,22	0,99953	5509,50
Y3	0,74982	20,48	0,78823	25,43	0,84386	15,76
Y4	0,94494	98,06	0,94512	98,41	0,93992	106,90
Y5	0,7923	41,01	0,81201	21,06	0,82744	20,25
Y6	0,92928	55,48	0,97257	103,43	0,85873	41,54
Y7	0,80015	33,63	0,66407	11,57	0,80309	43,84
Y8	0,97174	145,17	0,96441	227,61	0,96173	211,10
Y9	0,92991	90,67	0,92915	89,61	0,8897	118,31
Y10	0,98241	469,17	0,98208	589,00	0,98479	273,43
Y11	0,96652	164,97	0,96141	209,25	0,95831	198,05
Y12	0,86946	33,30	0,82701	23,31	0,89561	36,23

3.2.3.1.3 Processo não convencional (OE2)

Os valores obtidos do coeficiente de determinação e do valor F de Snedecor, quando o processo de produção é Spincomat encontram-se no quadro 3.XXII.

Utilizando os Instrumentos Individuais, os coeficientes de determinação são de uma maneira geral superiores a 0,90 excepto nas equações de previsão do coeficiente de variação do número do fio (0,72) e no coeficiente de variação da resistência (0,77).

Se utilizarmos o Motion Control, os valores são semelhantes embora haja um aumento no coeficiente de determinação. No caso do coeficiente de variação do número este é de 0,79 e o coeficiente de variação da resistência é de 0,78.

Utilizando o Spinlab obtêm-se valores semelhantes aos restantes embora o valor do coeficiente de determinação da equação de previsão do coeficiente de variação do número seja de 0,70 e do coeficiente de variação da resistência seja de 0,79.

Quadro 3.XXII - Coeficientes de determinação e valores do F (Snedecor) obtidos no fio OE2

	Equação 16		Equação 17		Equação 18	
	r ²	F	r ²	F	r ²	F
Y1	0,99110	524,68	0,99323	480,34	0,99295	460,77
Y2	0,99141	336,71	0,98783	300,27	0,98933	242,42
Y3	0,72828	28,81	0,79764	22,52	0,70820	26,09
Y4	0,99334	852,08	0,99252	646,69	0,99399	541,33
Y5	0,77106	36,21	0,78916	21,39	0,079093	25,85
Y6	0,96745	97,26	0,97633	120,31	0,94163	59,69
Y7	0,90602	55,09	0,90565	54,85	0,92729	47,18
Y8	0,97735	246,58	0,98715	324,40	0,98387	257,53
Y9	0,95036	109,40	0,95654	184,90	0,95654	184,90
Y10	0,97804	188,08	0,98634	267,22	0,98298	168,43
Y11	0,93819	56,16	0,96158	92,59	0,94921	61,17
Y12	0,95964	115,90	0,96433	114,15	0,95792	42,45

3.2.3.2 Comentários sobre a previsão das propriedades dos fios

Tal como no caso anterior recorreu-se à utilização dos coeficientes de regressão padronizados (β), que se encontram no Anexo 1 - Parte E, com o objectivo de determinar quais seriam as variáveis que apresentam uma maior contribuição em cada um dos modelos utilizados.

3.2.3.2.1 Fio Convencional

No caso do fio convencional as características predominantes para a determinação das diferentes variáveis são diferentes em todos os casos excepto na determinação do

número do fio, no qual o CVUster é o factor predominante nas três técnicas de caracterização como se pode observar na Quadro 3.XXIII. Verifica-se igualmente que as propriedades que determinam as irregularidades se interrelacionam.

Nas restantes propriedades não foi possível retirar conclusões comuns, pois com a utilização de diferentes instrumentos de controlo as variáveis predominantes variavam, sendo estas na sua maioria referentes às propriedades das fibras, o que seria justificado pela existência de uma outra variável que era o tipo de controlo utilizado.

3.2.3.2.2 Fio OE1

Ao contrário do que acontecia no fio convencional, neste caso o estudo revelou-se mais conclusivo pois na maior parte das propriedades estudadas o processo de controlo não era mais uma variável a introduzir no processo, como é visível na Quadro 3.XXIV.

O coeficiente de variação do número e da resistência apresentam nos três métodos de controlo características diferentes. Quanto ao alongamento, no caso dos Instrumentos Individuais e do Spinlab a resistência do fio é a variável que apresenta uma maior contribuição enquanto que no Motion Control é a reflectância.

Como se pode observar pelos quadro 3.XXIV, verifica-se que tal como acontecia no caso da selecção das propriedades da fibra, também no caso da previsão das propriedades do fio, as propriedades deste predominam na sua determinação. Este facto vai reforçar o problema do controlo na produção, isto é depois de se ter determinado os factores que mais influenciam o fio deve-se tentar diminuir ao máximo qualquer tipo de perturbação que possa surgir no processo. Isto não quer dizer que as propriedades das fibras não são importantes, pois estas no seu total ainda estas contribuem com perto de 50% do valor para a sua determinação na maior parte dos casos analisados.

C	y1			y2			y3			y4			y5			y6			y7			y8			y9			y10			y11			y12		
	H	MC	SP	H	MC	SP	H	MC	SP	H	MC	SP	H	MC	SP	H	MC	SP	H	MC	SP	H	MC	SP	H	MC	SP	H	MC	SP	H	MC	SP	H	MC	SP
x1				■			■			■			■			■			■			■														
x2																																				
x3				■																																
x4					■																															
x5																																				
x6																																				
x7																																				
x8																																				
x9																																				
x10																																				
w1																																				
w3																																				
y1																																				
y2																																				
y3																																				
y4																																				
y5																																				
y6																																				
y7																																				
y8																																				
y9																																				
y10																																				
y11																																				
y12																																				

■ 1ª Característica

■ 2ª Característica

■ 3ª Característica

Quadro 3.XXIII - Características predominantes no processo convencional

OE1	y1			y2			y3			y4			y5			y6			y7			y8			y9			y10			y11			y12				
	II	MC	SP	II	MC	SP	II	MC	SP	II	MC	SP	II	MC	SP	II	MC	SP	II	MC	SP	II	MC	SP	II	MC	SP	II	MC	SP	II	MC	SP	II	MC	SP	II	MC
x1																																						
x2																																						
x3																																						
x4																																						
x5																																						
x6																																						
x7																																						
x8																																						
x9																																						
x10																																						
w1																																						
w3																																						
y1																																						
y2																																						
y3																																						
y4																																						
y5																																						
y6																																						
y7																																						
y8																																						
y9																																						
y10																																						
y11																																						
y12																																						

■ 1ª Característica

■ 2ª Característica

■ 3ª Característica

Quadro 3.XXIV - Características predominantes no processo OE1

3.2.3.2.3 Fio OE2

No Quadro 3.XXV encontram-se representadas as características predominantes no processo OE2. As restantes variáveis apresentam características semelhantes dentro de determinados grupos.

Tal como acontecia no caso anterior e dada a estrutura do fio ser semelhante, ao observarmos as equações verifica-se que o comportamento destas é explicado principalmente pelas propriedades dos fios, embora apareçam casos como o do alongamento e do coeficiente de variação da massa linear onde a percentagem de contribuição das fibras é superior às da do fio, ao utilizarmos o Motion Control e o do coeficiente de variação do alongamento se utilizarmos o Spinlab.

Fazendo uma análise geral, verifica-se que:

Os processos de produção fazem com que haja contribuições diferentes das variáveis para a definição de uma determinada característica. Este facto não é totalmente inesperado, pois a construção do fio não é efectuada da mesma forma, principalmente se utilizarmos o processo convencional, onde a estiragem é efectuada por meio de solainas e a torção inserida do exterior para interior e no processo não convencional (open-end turbina), onde a estiragem é efectuada por meio de um cilindro abridor (desfibrador) e a torção é inserida do interior para o exterior.

Nos processos de controlo verifica-se em alguns casos a existência de variáveis com uma contribuição idêntica. Contudo para a determinação de parâmetros nomeadamente os que dizem respeito à massa linear e às propriedades dinamométricas as contribuições não são as das mesmas variáveis. Existem certos casos em que a diferença das contribuições pode ser explicada pela determinação nos Instrumentos de Alto Volume de parâmetros que não são obtidos quando o controlo é efectuada nos Instrumentos Individuais, nomeadamente os parâmetros de cor.

De qualquer forma observa-se que para a determinação das características dos fios, que existe na maioria das equações calculadas uma maior percentagem de contribuição por parte das propriedades dos fios para explicar o comportamento do modelo, do que das próprias fibras. Contudo, no caso dos fios produzidos convencionalmente, observa-se que a contribuição das características da rama é superior às dos fios num maior número de propriedades. Tal facto poderá ser explicado, pela diferença existente na contribuição dos diferentes aparelhos de controlo utilizados, que se torna notório quando o fio é produzido no contínuo de anéis.

OE2	y1			y2			y3			y4			y5			y6			y7			y8			y9			y10			y11			y12		
	II	MC	SP	II	MC	SP	II	MC	SP	II	MC	SP	II	MC	SP	II	MC	SP	II	MC	SP	II	MC	SP	II	MC	SP	II	MC	SP	II	MC	SP			
x1				■			■								■																					
x2							■																													
x3												■			■																					
x4													■																							
x5															■																					
x6																■																				
x7																	■																			
x8																	■																			
x9																		■																		
x10																			■																	
w1																				■																
w3																																				
y1				■			■			■			■			■			■			■			■			■			■					
y2																																				
y3																																				
y4	■																																			
y5																																				
y6				■						■																										
y7																																				
y8	■			■			■			■			■			■			■			■			■			■			■					
y9																																				
y10	■			■						■																										
y11																																				
y12																																				

■ 1ª Característica

■ 2ª Característica

■ 3ª Característica

Quadro 3.XXV - Características predominantes no processo OE2

4. SISTEMA DE SUPORTE À UTILIZAÇÃO DOS MODELOS

4.1 Conceitos teóricos

Os sistemas periciais tiveram a sua origem na investigação efectuada no domínio da inteligência artificial [97], tendo sido iniciada a sua comercialização nos anos oitenta. Um sistema pericial pode ser definido como um sistema computacional que alcança altos níveis de desempenho em áreas que para o ser humano requerem anos de educação específica e de treino, construído com o objectivo de auxiliar o especialista, num domínio limitado e perfeitamente definido, utilizando para tal o conhecimento do especialista armazenado nesse mesmo sistema [98].

Em combinação com a computação simbólica, abriram uma nova era em termos de processamento de informação, na medida em que a máquina pode separar e classificar os componentes da informação simbólica (conhecimento) e tratá-lo na base de instruções explícitas.

Comparando este tipo de sistema com a programação tradicional verifica-se que as vantagens são as seguintes [99]:

- Representação e estruturação do conhecimento
- Transparência
- Versatilidade

As limitações deste tipo de sistemas são as seguintes:

- Observações num dado tempo.
- Forma similar de resolver os problemas.
- Assume o conhecimento de um só especialista ou de um grupo de especialistas como sendo a de todos os especialistas .

O objectivo deste tipo de sistemas é o de gerar uma solução idêntica para o problema, aquela que um especialista humano apresentaria. Estes problemas requerem características especiais de programação, características estas que condicionam o desenho do sistema pericial. Estas características incluem, embora não sejam exaustivas:

- A possibilidade de representar um grande volume de informação de uma forma coerente, e

(Os problemas cuja resolução se adequa a um sistema pericial envolvem tipicamente desenhos de um grande volume de conhecimento para se encontrar a melhor solução para o problema. Um sistema pericial inclui uma base de conhecimentos para armazenar e organizar a informação necessária para se atingir as soluções do problema)

- Uma representação não procedimental do conhecimento, e

(Nas aplicações tradicionais de programação, a ordem pela qual a informação é apresentada afecta normalmente o desempenho da aplicação. Os problemas normalmente resolvidos com a utilização de sistemas periciais são caracterizados por apresentarem diversas soluções possíveis, as quais não podem ser atingidas por simples comportamentos determinísticos. Utilizando uma base de conhecimentos, um sistema pericial providencia um método de representar o conhecimento de uma maneira não procedimental).

- A possibilidade de adicionar ou remover informação de uma forma regular sem afectar a estrutura do sistema, e

(Normalmente os problemas solucionados com a utilização de sistemas periciais são aqueles que apresentam mudanças com o tempo, quando nova informação é adquirida ou há informação que perdeu a validade. Desta forma o programa deve ser capaz de aceitar as modificações com o mínimo de transformações ao seu conteúdo. Num sistema pericial a informação numa base de conhecimentos é modular, isto é, a estrutura do programa não é dependente de qualquer parte da informação. Pode-se mudar ou substituir uma informação sem que se tenha de reestruturar todo o programa. O aumento de informação para a base de conhecimentos aumenta a possibilidade do sistema encontrar mais facilmente uma ou mais soluções para o problema, não sendo necessário fazer uma nova reescrita do programa)

- A possibilidade de solucionar problemas envolvendo raciocínio impreciso

(Muitas vezes o sistema pericial é confrontado com o ter de decidir com informação incompleta ou com informação imprecisa. Nestes casos, o sistema pericial apresenta os melhores mecanismos para se chegar à melhor conclusão, utilizando a informação tal como esta é disponibilizada. A determinação da melhor conclusão é resultado do peso relativo e da precisão da informação disponível. Num sistema pericial é possível representar confiança ou probabilidade da informação por meio dos factores de confiança. Pode ser atribuído um factor de confiança a uma parte da informação para que esta exerça um certo peso em relação a outra informação, se necessário).

Resumidamente pode definir as capacidades e limitações de um sistema pericial como sendo as seguintes [100]:

É desejável que um sistema pericial possa:

- Estruturar a informação disponível (por exemplo: denotação clausal, em termos de factos e regras , redes semânticas, grafos conceptuais) e,

- Questionar o utilizador e,
- Explicar ao utilizador como chegou às conclusões e,
- Justificar o seu raciocínio e,
- Ser consistente com as suas respostas e,
- Evitar julgamentos precipitados e,
- Trabalhar com informação incerta e incompleta e,
- Focar num determinado e preciso problema e,
- Manipular descrições simbólicas e,
- Considerar várias alternativas competitivas e,
- Considerar todas as possibilidades e,
- Atribuir pesos ou probabilidades a alternativas seleccionadas e,
- Anotar detalhes

e não é desejável

- Raciocinar genericamente sobre uma grande variedade de tópicos
- Raciocinar a partir de axiomas ou teorias gerais
- Usar o senso comum
- Fazer julgamentos precipitados
- Saltar para conclusões prematuras

- Ir além das fronteiras a que se encontra inserido

4.1.1 Arquitectura de um sistema pericial

A arquitectura de um sistema pericial pode ser dissecada em termos do [2, 99] ilustrado na figura 4.1, a saber:

1. Base de conhecimentos
2. Motor de inferência
3. Interface com o utilizador

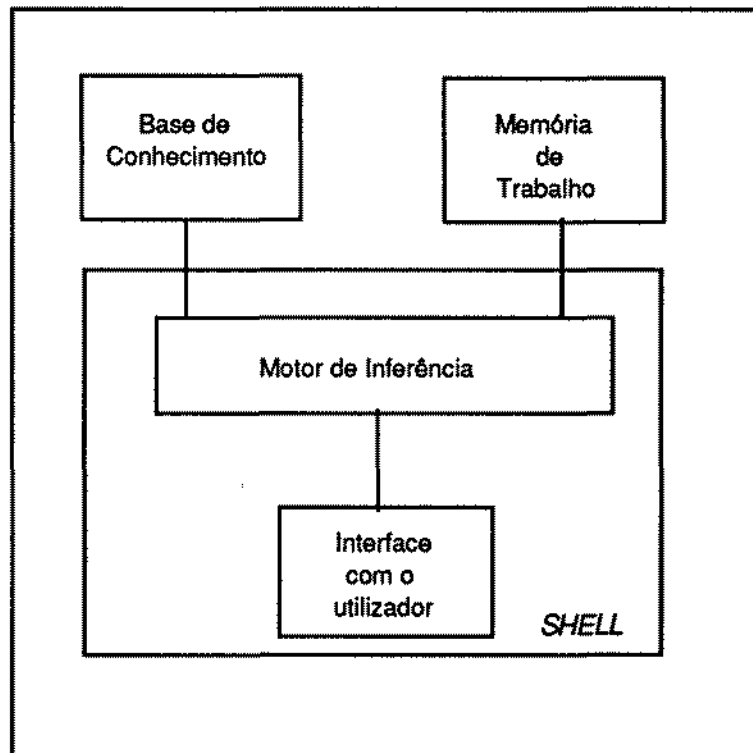


Figura 4.1 - Arquitectura de um Sistema Pericial

Estes três módulos, poderão reduzir-se unicamente a dois, se a implementação do sistema pericial for efectuada utilizando-se uma "shell" [101], para esse efeito. Neste caso considerar-se-á o motor de inferência e o interface com o utilizador um único módulo, embora os esquemas de representação e mecanismos de inferência possam ser diferentes, consoante a "shell" (sistema) utilizado para a implementação do sistema, estes tem o mesmo tipo de objectivo.

1. Base de conhecimentos

Na base de conhecimentos vão ser introduzidos dados (conhecimento), de tal forma, que através destes se possa compreender, formular e resolver o problema em questão. Estes dados podem ter dois tipos de estruturas:

(i) factos, tais como as asserções factuais acerca do domínio do problema, como por exemplo, as características da rama de algodão.

(ii) regras que são as estruturas para a resolução do problema. Estes tipos de sistemas retiram as suas conclusões pela manipulação da informação existente na base de conhecimento. Os factos de uma base de conhecimento tem como correspondente os dados armazenados numa base de dados convencional. As regras são colocadas na base para manipular os factos. Algumas destas regras são automáticas (que implementam o algoritmo de pesquisa do sistema), outras existem para imitar o raciocínio humano. Este último tipo de regra é chamado de heurístico. Os métodos heurísticos são baseados no raciocínio, na experiência e por vezes na intuição do ser humano. A identificação deste tipo de regra é provavelmente o maior desafio que se coloca a um engenheiro do conhecimento quando tenta construir a sua base de conhecimentos.

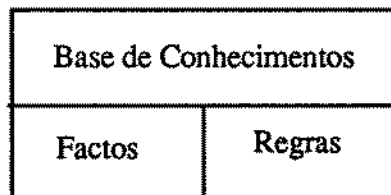


Figura 4.2 - Componentes de uma base de conhecimento

2. Motor de inferência

O cérebro dos sistemas periciais é o motor de inferência, também conhecido como a estrutura de controlo ou o interpretador de regras. Este componente é essencialmente um programa de computador que providencia uma heurística para a resolução do problema (premissas ou conclusão), a partir da informação existente na base de conhecimento.

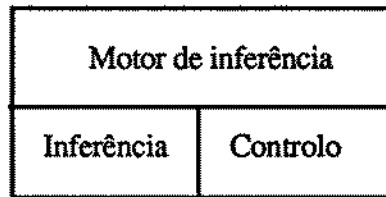


Figura 4.3 - Componentes do motor de inferência

O objectivo do motor de inferência é o de decidir quais as regras existentes na base de conhecimento que devem ser seleccionadas e em que sequência é que deve ser feito. Um motor de inferência [102] é constituído por duas partes :

- Inferência
- Controlo

As inferências são essencialmente novos factos ou conclusões que podem ser desenhadas baseadas em factos já conhecidos. A forma mais comum de fazer uma inferência é determinar por meio da informação obtida pelo utilizador e pela consulta às regras e factos da base de conhecimento, se tal premissa é verdadeira ou falsa. O controlo do processo de inferência é feito através das técnicas de encadeamento para a frente e encadeamento para trás [103 a 106].

O encadeamento para a frente é uma técnica de controlo que produz novas soluções recursivamente, afirmando que as proposições consequentes associadas a uma regra de inferência com condições antecedentes que são verdades correntes. Como novas proposições afirmadas mudam o conjunto de verdades, novas regras são aplicadas recursivamente. O encadeamento para a frente começa com a premissa. Este olha através da base de conhecimentos e da memória de trabalho, procurando possíveis soluções. A estratégia começa por colocar os padrões de símbolo da condição "SE" de uma regra contra todas as regras que se encontram armazenadas na memória. A acção "ENTÃO" de alguma regra de sucesso é adicionada à memória de trabalho como um novo facto inferido. Resumindo, o encadeamento para a frente, examina as condições "SE" das regras e dispara as regras para as quais a condição "SE" é verdadeira. Este processo é repetido até que seja obtido o resultado do problema ou então se tenham esgotado todas as possibilidades.

O encadeamento para trás começa por seleccionar uma ou mais regras nas quais as cláusulas "ENTÃO" são as mais prometedoras para a resolução do problema. Estas representam as hipóteses ou a meta que são necessárias provar serem verdadeiras. Os

correspondentes "SE" são verificados para verificar se satisfazem a condição. Se existirem factos desconhecidos nas condições "SE", estes factos tornam-se as novas sub-metas ou sub-hipóteses. O sistema retrocede entre as regras até que a questão possa ser mencionada, encontrando-se desta forma um resultado prévio ou então esgotou-se todo o conjunto de regras a ser utilizado. Se existir porventura mais que uma regra que satisfaça o sistema, todas elas serão experimentadas até que se encontre o caminho correcto. Por vezes é necessário retornar a um determinado nó situado acima na árvore para se encontrar um caminho alternativo. Para demonstrar esquematicamente estes dois tipos de controlo, considere-se a figura 4.4. As regras encontram-se representadas como uma árvore de decisão simples. No encadeamento para a frente, os factos são introduzidos na memória de trabalho na seguinte ordem: (A, B, C). No encadeamento para trás, um conjunto de hipóteses (C, B, A) são formuladas tentando primeiramente provar C, o qual por sua vez prova B, tornando-o uma submeta e provando-se seguidamente A. Consequentemente, os factos são inseridos (A,B,C) no caminho de regresso.

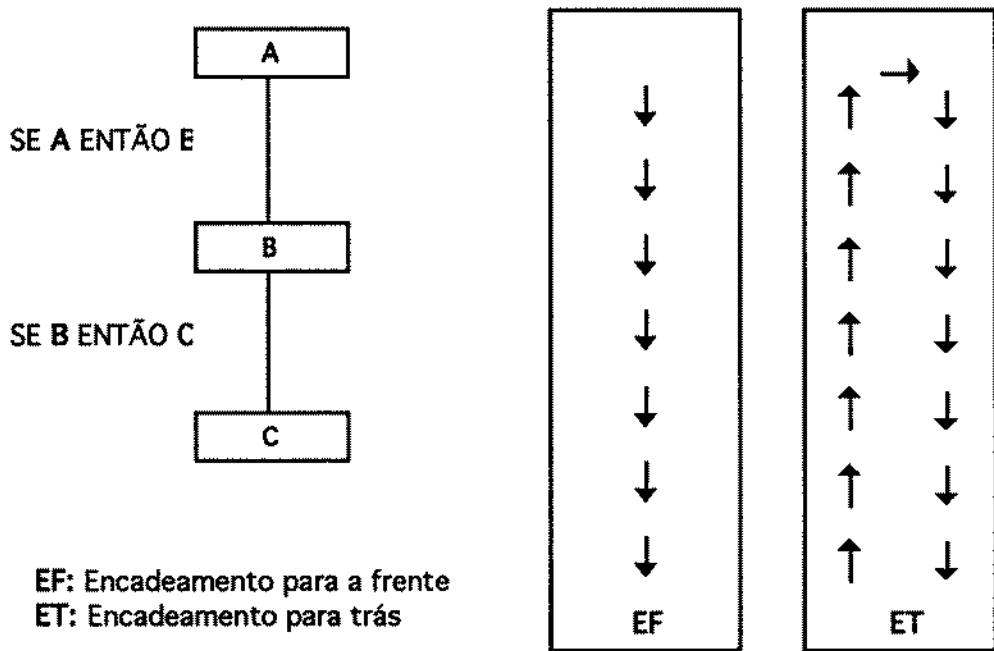


Figura 4.4 - Técnicas de Controlo

Enquanto que o controlo utilizado com o encadeamento para a frente e o encadeamento para trás, mostra como as diferentes regras se encontram interligadas, para formarem o caminho de inferência, estas não indicam como ligar os múltiplos nós existentes no mesmo nível numa árvore de decisão. Os nós múltiplos podem representar regras com a mesma conclusão ou metas e sub-metas de igual prioridade. A procura ou selecção de regras

toma em consideração a pesquisa de todo um caminho antes de iniciar a sua procura noutra caminho. Duas técnicas podem ser utilizadas: a procura em profundidade e a procura em largura [107].

A procura em profundidade (Figura 4.5) percorre toda a árvore de prova antes de voltar ao inicial para percorrer outro caminho. A procura em largura (figura 4.6) examina todos os nós de um determinado nível antes de passar ao seguinte.

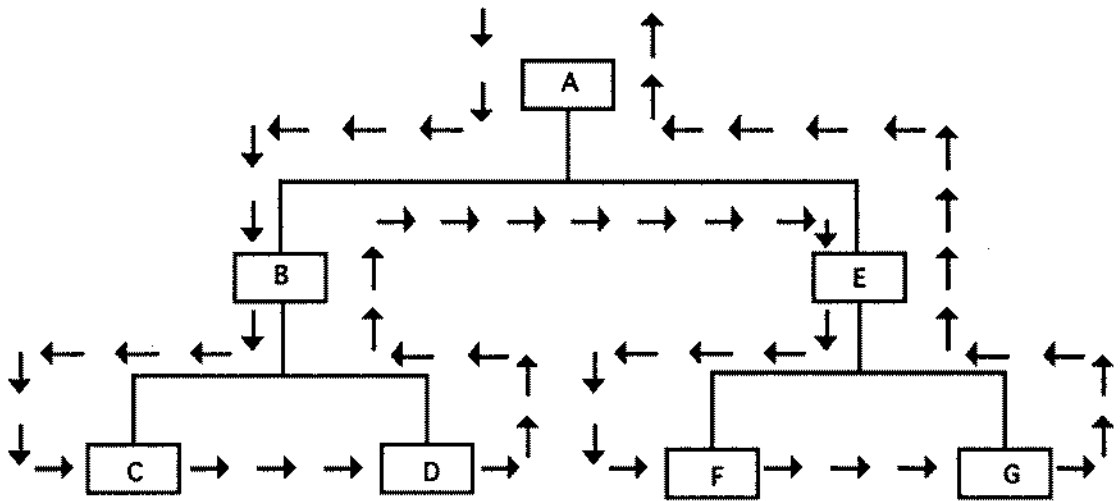


Figura 4.5 - Procura em Profundidade

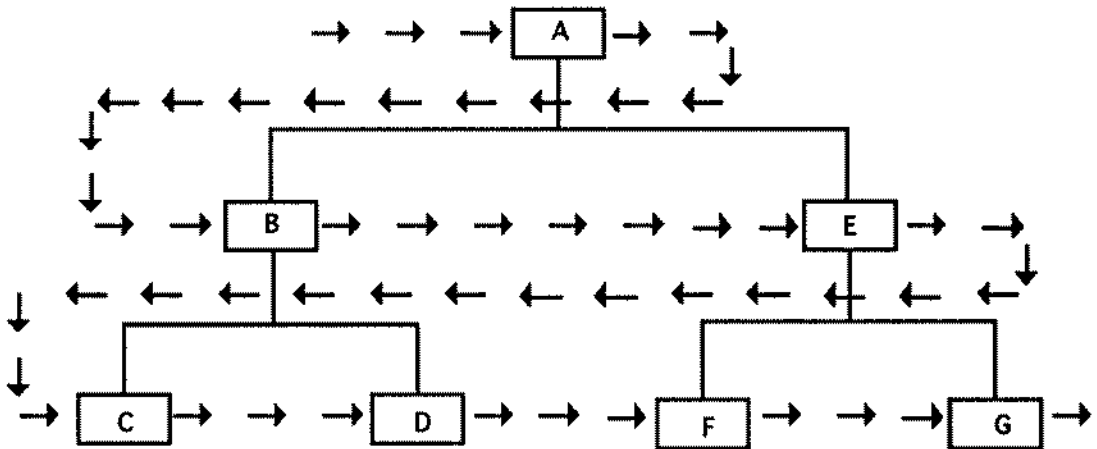


Figura 4.6 - Procura em Largura

A procura em profundidade [108] é geralmente a utilizada, porque desenvolve todas as alternativas para um mesmo contexto. De qualquer forma não se pode *apriori* afirmar que esta seja a estratégia de procura óptima. Se a árvore de procura é particularmente profunda,

esta técnica por ser "cega", poderá não ter em conta soluções alternativas potencialmente mais céleres.

A procura em largura, por outro lado encontra sempre o caminho (ideal) óptimo. De qualquer forma enferma também de um certo número de limitações [107]:

- É necessário um aumento de recursos disponíveis (ex. memória). O número de nós em cada nível da árvore aumenta exponencialmente com o número destes, os quais deverão ser todos armazenados em memória, e
- O número de peças computacionais (inferencial) cresce exponencialmente, particularmente se a solução mais curta é demasiado longa, uma vez que o número de nós que é necessário examinar explode com o tamanho do caminho, e
- Operadores irrelevantes ou redundantes aumentam de uma forma elevada o número de nós a serem analisados.

Este tipo de procura é particularmente desapropriado em situações, em que ao existirem vários caminhos para se chegar à mesma solução, cada um deles é muito longo.

3. Interface com o utilizador

Qualquer sistema computacional deve providenciar uma forma de comunicação entre o Homem e a máquina. Este diálogo pode ser complexo, dependendo da tecnologia utilizada. Pode ir desde respostas a questões simples do sistema, preenchimento de impressos, obtenções de ecrãs ou de impressões, a comunicação em linguagem natural.

4.1.2 Métodos de representação do conhecimento

A representação do conhecimento é uma das principais dificuldades a ultrapassar na implementação de um sistema inteligente. Existem diversas formas de representar o conhecimento, embora as mais usuais sejam a das redes semânticas, regras de produção, enquadramentos e lógica clausal [100]. O conhecimento pode ser definido de formas distintas, isto é, o conhecimento pode consistir em descrições, relações e procedimentos num dado domínio de interesse, ou então este consiste numa descrição simbólica que caracteriza as relações empíricas e definicionais nesse domínio, e os procedimentos necessários para manipular estas descrições.

Descreveremos de seguida as formas mais divulgadas da representação do conhecimento:

i) Lógica clausal

Este é um método pobremente estruturado para a representação do conhecimento [109]. Neste caso o conhecimento é representado sob a forma de proposições, através da qual é possível efectuarem-se inferências lógicas. Numa lógica dual uma proposição só pode ter dois valores -verdadeiro ou falso

É possível ligar uma ou mais proposições utilizando operadores como E, OU, NÃO e IMPLICA [100]. A utilização destes operadores permite-nos criar estruturas compostas que entre elas se podem tornar ou verdadeiras ou falsas, de acordo com as regras da lógica em causa .

Pode-se utilizar a lógica [100, 110] como um meio de expressar proposições, as relações entre as proposições e a forma como cada uma delas pode inferir de uma proposição para as restantes. Esta forma particular de lógica é a chamada Lógica de Predicados. Um predicado é uma declaração acerca de um objecto, que pode ser verdadeiro ou falso. Os predicados podem lidar com um ou mais objectos. Uma das desvantagens deste tipo de representação [100] é o das respostas ao sistema ser ou SIM ou NÃO (Verdadeiro ou Falso), unicamente.

Existem vários tipos de limitações, a este tipo de representação, citados em [111], das quais salientamos a situação de Verdade ou Falsidade, isto é, a lógica baseia-se no conceito que uma proposição ou é Verdadeira ou então é Falsa. No domínio real tal não acontece pois associadas a estas encontram-se graus de incerteza, que podem ser reflectidos na inferência a ser utilizada. O número de proposições [109] que se pode representar, deve ser pequeno, pois um aumento no número das proposições pode gerar uma explosão combinatória, originando uma degradação do comportamento do sistema .

ii) Redes semânticas

Este tipo de representação foi desenvolvido por Quillan e Raphael em 1968 [107]. As redes semânticas foram designadas primeiramente como um forma de representar o significado das palavras. Neste tipo de representação a informação tem a forma de um conjunto de nós ligados entre si por um conjunto de arcos rotulados [1], os quais representam a relação existentes entre os nós. Os nós descrevem factos como objectos físicos, conceitos ou situações, e os arcos as relações as relações entre estes. Entre estas são de mencionar [100]:

- relação **É-UM** - Indica que o objecto pertence a uma classe maior. Este tipo de relação é normalmente chamada de relação taxinómica, e
- relação **TEM-UM** - Indica uma relação de pertence. O objecto é de um nó, e
- relação **CAUSADO-POR** - Indica uma relação casual, e
- relação **DEFINIÇÃO** - Define um valor para o objecto.

A figura 4.7 mostra um exemplo de uma rede semântica simples.

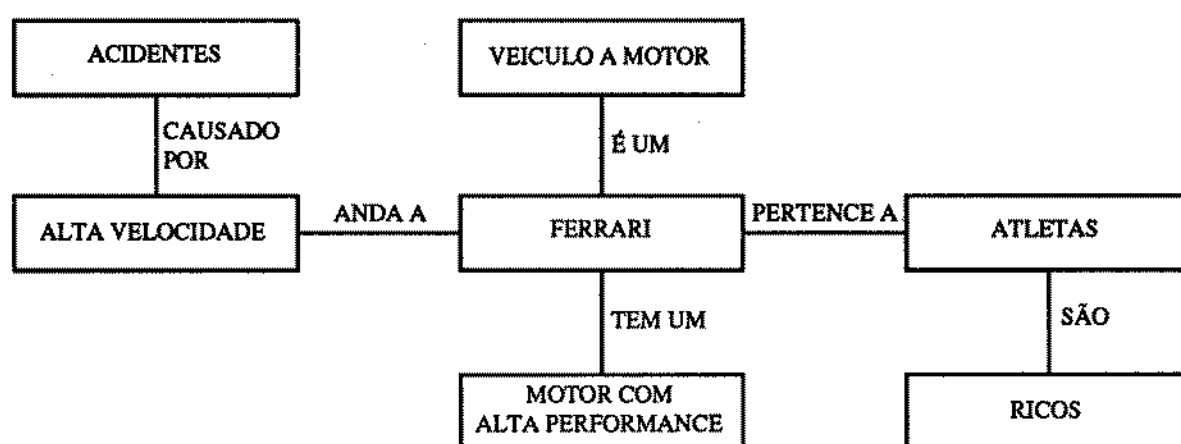


Figura 4.7 - Rede Semântica Simples

Um objecto numa base de conhecimentos pode ser uma entidade física ou conceptual. Esta entidade deve ser definida no sistema pericial. Um objecto geralmente possui características que o descrevem de alguma forma. À descrição chamamos atributo. Um atributo pode indicar, cor, forma, tamanho, ou outras características que possam ser utilizadas para caracterizar o objecto. A descrição por si só é o valor do atributo. Por exemplo, um objecto (pássaro), pode possuir o atributo (cor) a qual tem um valor (branco com pintas pretas). Tanto os atributos como os valores são nós numa rede semântica. Os nós dos objectos e os nós dos valores são ligados através de atributos. A figura 4.8 mostra um exemplo destas relações bem como a terminologia utilizada.

A principal vantagem deste tipo de representação reside na associação entre conceitos, que pode ser explicitada através de ligações entre nós. Resumindo:

- As redes semânticas descrevem a relação entre as entidades que são representadas pelos nós, e

- Os nós são círculos a que está associado um nome, e
- As relações entre os nós são representados por arcos que conectam os círculos, e
- Uma rede semântica pode ser vista como uma forma de estruturar o conhecimento, e
- Uma rede semântica pode ser utilizada para gerar regras para uma base de conhecimentos.

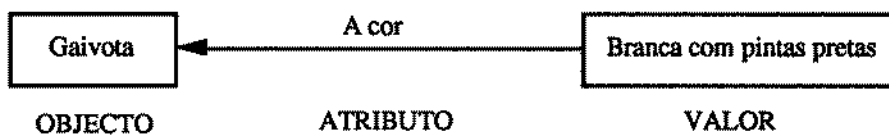


Figura 4.8 - Objectos, atributos e valores

iii) Regras de produção

As regras de produção apresentam-se como uma forma expedita de representação do conhecimento, em sistemas baseados em conhecimento [104]. Este tipo de representação é popular devido a ser de compreensão fácil. Devido à sua simplicidade, estas regras são utilizadas na maior parte dos sistemas periciais [100].

As regras são declarações que definem relações entre factos. O conhecimento é representado através de um conjunto de regras de produção na forma SE.....ENTÃO....., isto é;

- Uma condição, premissa, antecedente que representa um padrão de reconhecimento do sistema pericial, e
- Um resultado, conclusão ou consequência que especifica a acção a ser tomada pelo sistema quando é satisfeita a condição.

Como por exemplo:

- SE condição P ENTÃO conclusão C
- SE situação A ENTÃO acção B
- SE condições C1 e C2 se mantem ENTÃO condição C não se mantem

Resumindo, pode-se afirmar que um sistema baseado em regras de produção é por conseguinte:

- Modular - cada regra define uma pequena e independente parte do conhecimento, e
- Incrementável - novas regras podem ser adicionada à base de conhecimentos independentemente das regras já existentes, e
- Modificável - Regras antigas podem ser modificadas independentemente das outras regras.

iv) Enquadramentos (Frames)

Contrastando com as regras de produção, o enquadramento é uma estrutura de dados que inclui todo o conhecimento acerca de um determinado objecto. Este conhecimento é organizado numa estrutura hierárquica especial a qual permite avaliar a interdependência do conhecimento. Os enquadramentos encontram-se relacionados com os estereótipos utilizados no processo de raciocínio [1, 104]. As entidades com propriedades comuns estão organizadas em classes, de tal forma que cada classe incorpora características importadas da identidade numa estrutura facilmente reconhecida. Os enquadramentos são definidos como estruturas para descrever classes ou entidades separadas.

Um enquadramento [107] consiste num conjunto de "slots", que são utilizadas para descreverem o aspecto do objecto. Estes "slots" podem ser preenchidos por outros enquadramentos descrevendo outros objectos. Normalmente, os "slots" tem um valor corrente (propriedades) do atributo em questão, se tal não acontecer assume-o por herança [112].

Os enquadramentos encontram-se organizados em hierarquias, permitindo desta forma a herança dos valores. Quando um valor específico é colocado num enquadramento, uma instância do enquadramento é imediatamente criada. Cada enquadramento herda geralmente as características dos enquadramentos que se encontram a um nível superior.

v) Guiões

Um guião é uma estrutura [109] que descreve uma sequência estereotipada de acontecimentos num contexto particular. Um guião consiste num conjunto de "slots". Associado a cada slot pode ser encontrada informação acerca dos valores que esta contém, assim como o valor por defeito a utilizar se não houver nenhum tipo de informação. São semelhantes aos enquadramentos mas destinam-se a representar acções.

4.2 O SAF como protótipo

Ao longo de todos estes anos tem-se vindo a intensificar a utilização dos meios informáticos em todo o processo têxtil. Com a introdução de tecnologias designadas por Inteligência Artificial, tem-se procurado alargar essas perspectivas.

O protótipo que se implementou pretende ser mais uma contribuição, para o auxílio tanto do gestor como do técnico têxtil.

O Sistema de Apoio à Fiação é definido como sendo uma ferramenta de apoio ao técnico têxtil ligado à fiação. Procurar-se-á:

- Prever as características da rama necessárias para a produção de um fio, com base numa especificação pré -definida, e
- Indicar a rama face às características de um fio, e
- Designar o fornecedor, e
- Imprimir os resultados da rama calculada, e
- Procurar na base se existe algum fio já produzido com as mesmas características que as especificadas, e
- Prever as características do fio com base em propriedades das ramas.

Depois de se terem mencionado as funcionalidades do sistema, convém referir algumas das limitações da implementação actual. Uma das maiores limitações é a da não actualização da base de conhecimentos. Este facto é devido a um "bug" na ferramenta de base FLEX. De qualquer forma na estrutura do sistema contemplou-se esta situação, estando presente a estrutura necessária a actualização desde que a versão do FLEX permita.

As justificações para a implementação do SAF (Sistema de Apoio à Fiação), isto é para o desenvolvimento de um sistema capaz de responder em tempo real ao técnico ou ao gestor têxtil sobre que tipo de propriedades de rama deverão ser utilizadas para produzir um determinado fio, ou então para determinar as propriedades dos fios produzidos com uma rama, são as seguintes:

- Tempo de resposta diminui, aumentando a eficiência desta actividade. Ao deparar com um problema deste tipo o técnico têxtil, mesmo com um grande conhecimento e prática não o consegue resolver de imediato, devido aos diversos factores que se encontram em

jogo. O SAF com base nos dados que se encontram disponíveis pode dar a resposta quase que de imediato e de uma maneira fiável, e

- Redução de tempo de aprendizagem. Para a resolução destes tipos de problemas é necessário, além de conhecimento algum tempo de aprendizagem. Com a utilização do SAF, o tempo de aprendizagem é reduzido ao tempo de familiarização do operador com o sistema, e

- Fácil manutenção. A utilização deste tipo de sistema facilita a alteração ou extensão do programa com novas regras, sem que daí advinha uma necessidade de alterar a estrutura do próprio programa.

4.2.1 Ambiente de implementação

As características do problema, bem como o tipo de informação envolvida, fazem com as técnicas normalmente associadas à Área Científica da Inteligência Artificial, se apresentem como um bom ponto de partida para a implementação de um tal sistema.

A natureza heterogénea da informação utilizada (propriedades das fibras e do fio, informações do mercado, equações de regressão para os diferentes tipos de processo) juntamente com o tipo de processamento a efectuar, são as razões principais para a definição desta base tecnológica como via de implementação. Além destas características o seu interrelacionamento é complexo, pois a resolução deste tipo de problemas passa pela manipulação de grande volume de informação numérica e não numérica, exacta e não exacta.

Para a implementação do protótipo (SAF) escolheu-se entre os diferentes sistemas computacionais disponíveis, o da Macintosh. As razões para que este sistema fosse o escolhido foram as seguintes:

- Custo da máquina não é elevado, e
- O sistema operativo encontra-se estabilizado, e
- O ambiente de utilização encontra-se estabilizado, e
- A interface com os utilizadores neste ambiente é fácil e motivadora.

Neste ambiente e como ferramenta de suporte à implementação de sistemas periciais, utilizou-se o Flex (Forward Logical EXpert system) [113]. Esta é uma ferramenta híbrida utilizada como suporte na implementação de sistemas baseados em conhecimento e

sistemas periciais. Combina a programação baseada em regras com a programação baseada em enquadramentos e a programação orientada aos dados, tudo dentro de um enquadramento da programação lógica. O Flex oferece tanto o encadeamento para a frente (*forward chaining*) como o encadeamento para trás (*backward chaining*) e contém uma linguagem quase que natural a *Knowledge Specification Language (KSL)*, para escrever regras, enquadramentos e procedimentos. As características chave incluem : uma sintaxe de regras *IF-THEN* de fácil compreensão, programação orientada aos dados com ligações procedimentais, representação de conhecimento com base em enquadramentos (*frame*) com heranças, um mecanismo de inferência com um encadeamento para a frente ou um encadeamento para trás, explicações como e porquê e o acesso ao compilador Prolog. O Flex herda do sistema Prolog, um sistema de visionamento de janelas, compilação incremental, interfaces com programas externos, sistema de detecção e reparação de erros simbólica e facilidades gráficas. Com a utilização destas ferramentas, abordou-se o problema utilizando uma metodologia de concepção incremental. Esta consiste em construir e validar um pequeno modelo constituído por poucas regras e factos, aumentando sucessivamente o modelo com a introdução de novas regras e factos, até que se tenha atingido o modelo final.

4.2.2 Estrutura funcional

A estrutura funcional do SAF encontra-se representada na figura 4.9. Neste tipo de esquema encontram-se representadas por um círculo os módulos de escolha. Os módulos de processamento (introdução de valores, cálculo ou visualização) são representados por rectângulos que correspondem a passos de processamento que não resultam de variações à escolha no decorrer do programa e finalmente existem os módulos de processamento representados por rectângulos arredondados (no módulo de simulação fio) que representam escolhas efectuados pelo próprio sistema.

O Sistema de Apoio à Fiação (SAF) apresenta como módulos:

- 1 - Processo de Produção
- 2 - Processo de Controlo
- 3 - Actualização da Base
- 4 - Simulação da Rama
- 5 - Simulação do Fio

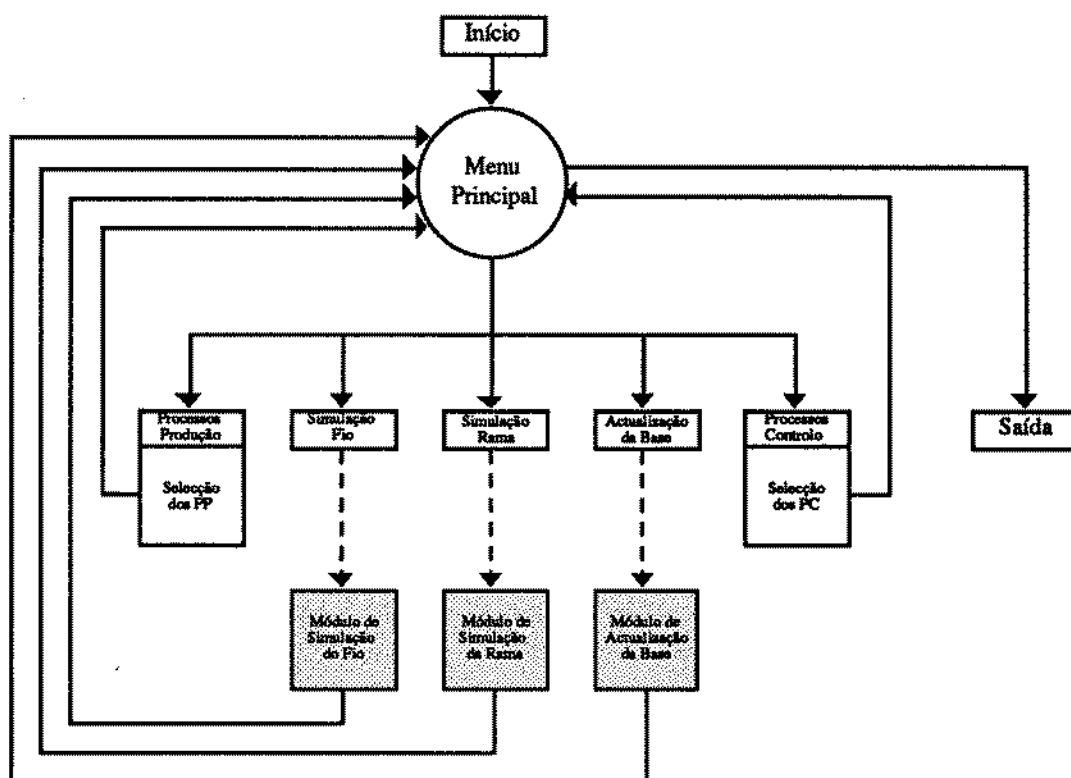


Figura 4.9 - Estrutura funcional global do SAF

O *Processo de Controlo* e o *Processo de Produção* são os módulos onde é permitido declarar inicialmente ou alterar ao longo de uma sessão de trabalho, os processos de produção e os processos de controlo utilizados para a simulação que se irá realizar. Estes dados são indicados ao SAF de forma a se poderem seleccionar convenientemente as regras que irão fazer despoletar as acções correspondentes às equações de previsão tanto da rama como do fio.

A *Actualização da Base* permite acrescentar novos factos à base e após a sessão de trabalho, preservar os dados introduzidos nesta para posterior utilização.

A *Simulação da Rama* permite determinar as características do fio produzido a partir de uma rama pré determinada.

A *Simulação do Fio* permite seleccionar as características de rama necessárias para a produção de um fio com características indicadas.

Após se ter apresentado a estrutura funcional global do SAF, passar-se-á a analisar em particular a estrutura dos módulos constituintes.

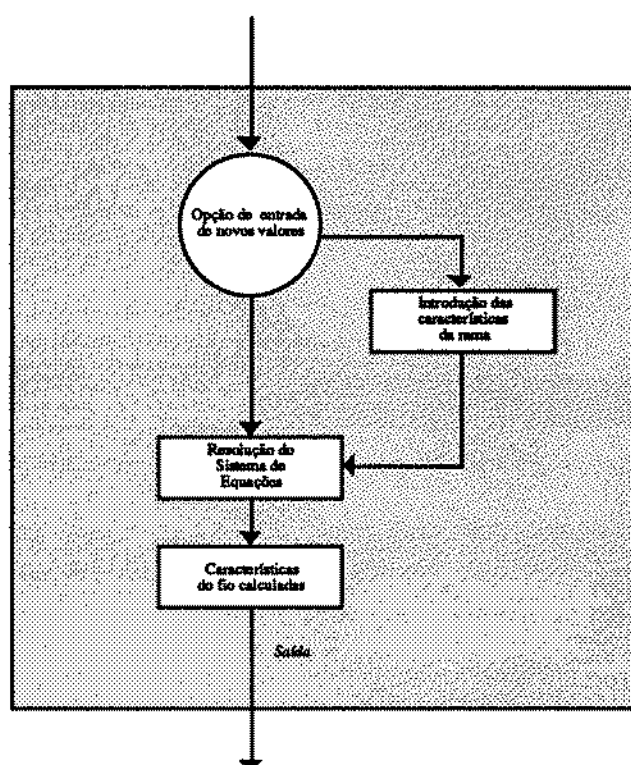


Figura 4.10 - Estrutura funcional do módulo Simulação da Rama.

Na figura 4.10 ilustra-se o módulo *Simulação da Rama*. Pode ser observado que este é constituído por:

(i) um sub-módulo de escolha que permite ao utilizador, introduzir novos valores ou então considerar os valores que se encontram armazenados na base. Ao escolher a opção de entrada de novos valores, aparecerão uma série de janelas onde se fará a introdução das características da rama. Este sub-módulo de processamento fará com que sejam visualizadas janelas com as características determinadas pelo processo de controlo escolhido. Isto é, no caso dos Instrumentos Individuais aparecerão oito janelas, no Spinlab nove e no Motion Control dez, dado que as características analisadas por estes métodos são diferentes.

(ii) um sub-módulo de resolução das equações. Em função do processo de controlo e do processo de produção seleccionados, é despoletada uma acção, seleccionada em função da observância de um conjunto de regras inseridas no programa, de forma a determinar qual o sistema de equações a utilizar na presente simulação.

Finalmente, os valores calculados por resolução do sistema de equações, isto é, as características dos fios serão apresentadas numa janela de saída do SAF. A partir deste momento, o utilizador voltará à selecção inicial de escolha de opções a seguir.

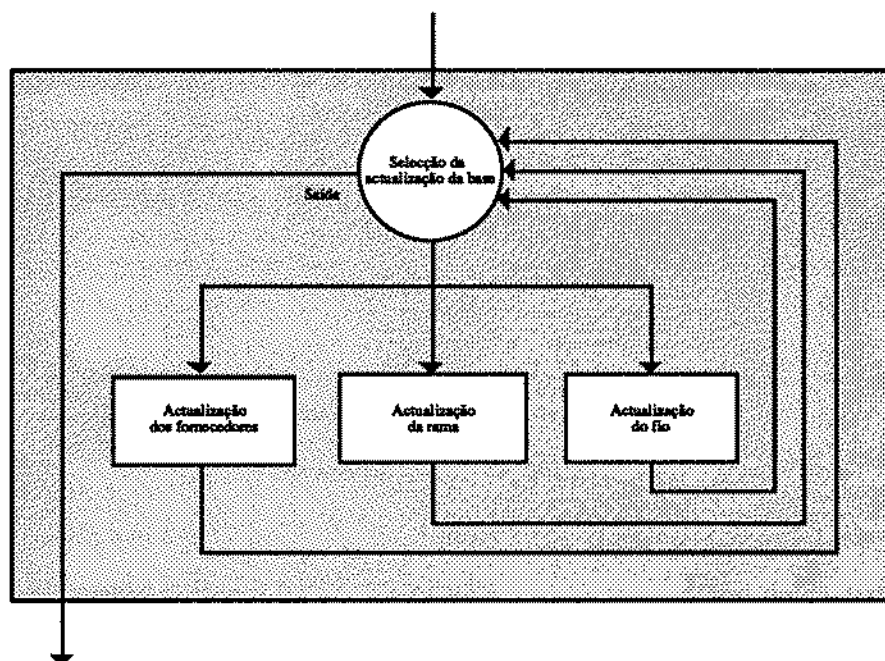


Figura 4.11 - Estrutura funcional do módulo Actualização da Base

O módulo *Actualização da Base* encontra-se representado na figura 4.11. Analisando esta figura pode-se observar que neste caso são colocados ao utilizador quatro sub-módulos alternativos. Este poderá escolher entre a actualização dos fornecedores, a actualização da rama ou a actualização do fio e a saída. Dependente desta escolha, o utilizador irá visualizar janelas distintas onde inserirá os valores por ele pretendidos. No caso da introdução das características dos fios ou da rama será efectuada a validação dos dados inseridos. Depois de se terem inserido os dados, o utilizador deverá escolher a opção *sair* para voltar à selecção inicial de escolha de opções.

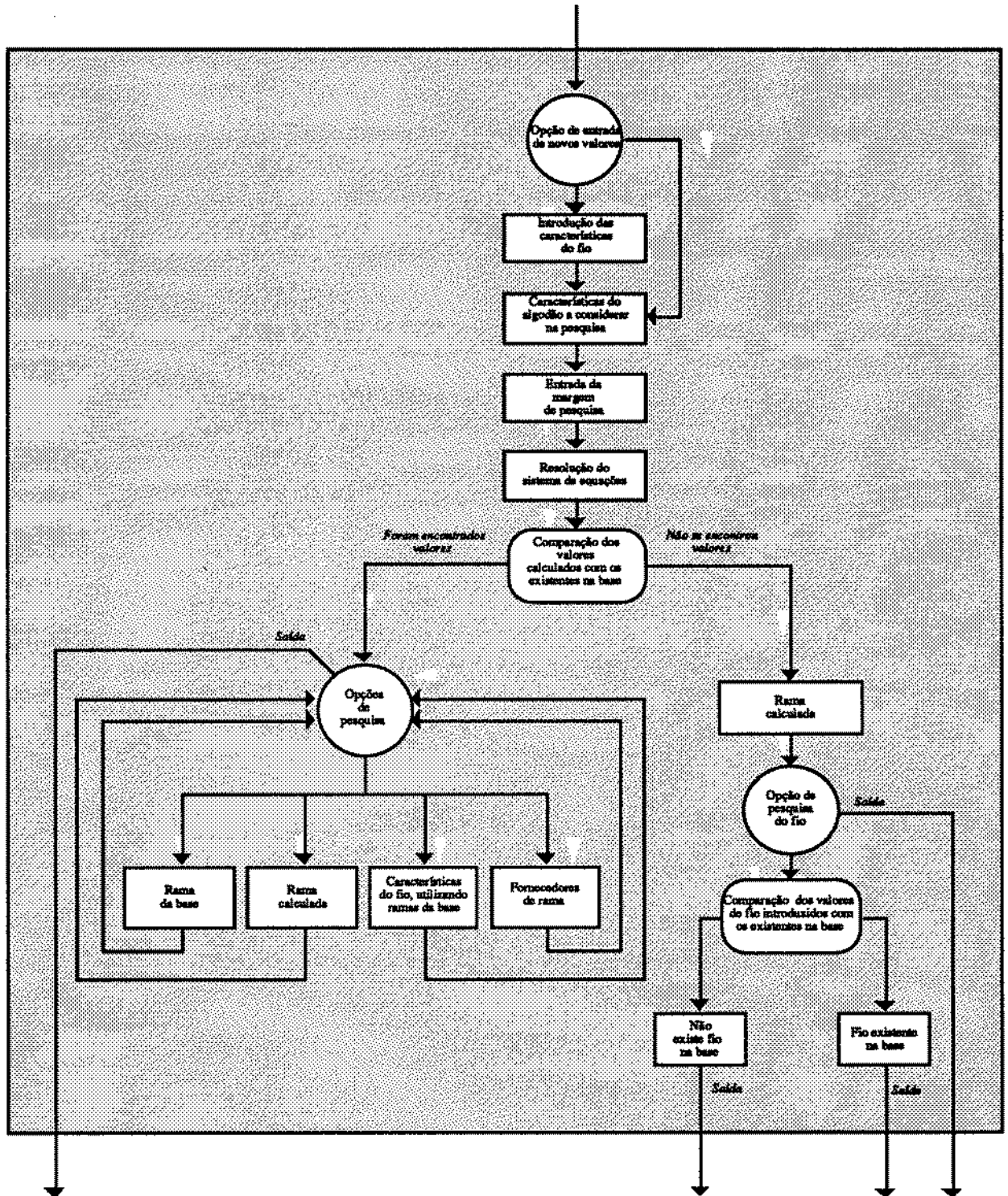


Figura 4.12 - Estrutura funcional do módulo Simulação do fio

O módulo *Simulação do Fio* encontra-se representado na figura 4.12. A complexidade e implicações associadas a esta tarefa faz com que o módulo se torne o mais

interessante, pois é aquela que tem reflexos mais directos do ponto de vista económico e da qualidade na cadeia de fição.

Tal como acontecia no módulo simulação da rama, neste caso também se encontra previsto um sub-módulo de escolha, onde o utilizador selecciona entre a escolha da introdução de novos valores ou então efectua uma sessão de trabalho com os últimos valores inseridos. Torna-se importante, se pretendermos efectuar algum tipo de modificação no processo de controlo da rama, dado que a única variação neste caso seria a mudança do processo de controlo, no sub-módulo acima descrito.

Se optarmos pela introdução de novos valores, o passo seguinte consiste em introduzir os diferentes valores das características dos fios pretendidas nas diversas janelas que vão surgindo no ecrã.

Está também prevista neste sub-módulo a selecção das propriedades que se pretendem pesquisar na base. Esta alternativa é importante, pois o utilizador poderá cingir-se às propriedades mais relevantes para efectuar a comparação entre os valores obtidos na simulação com os existentes na base.

Seguidamente o utilizador introduz a percentagem para a margem de procura. Este dado é necessário porque como no conjunto das equações de selecção das características da rama os valores dos coeficientes de determinação obtidos não são iguais, seria praticamente impossível obter valores para a previsão da rama que fossem idênticos em todas as características.

O sub-módulo seguinte é o da resolução do sistema de equações. Tal como acontece no módulo de simulação da rama, também aqui é necessário o conhecimento prévio dos processos de controlo e produção para que seja despoletada a acção necessária ao cálculo das equações. Esta acção é determinada em função da validade das regras que se encontram no programa.

O sub-módulo seguinte desenrola-se sem qualquer tipo de intervenção por parte do utilizador. O programa efectua a comparação entre os valores determinados pelo sistema de equações na gama pré-determinada (dependente da margem de procura introduzida pelo utilizador) com os valores para algodões existentes na base. Depois de efectuada a pesquisa e, no caso de se terem encontrado valores na base, o utilizador será confrontado com um novo sub-módulo de escolha. No caso de não existirem valores que satisfaçam as condições, surgirão na janela de saída os valores que foram determinados.

Vejamos a situação de *Foram encontrados Valores*. Aqui poderá ser seleccionada uma das cinco opções, designadamente:

- *Salda*:: esta opção permite ao utilizador regressar ao menú inicial, e
- *Rama da Base*: se o utilizador seleccionar esta opção poderá visualizar na janela de saída *fiar_o*, os resultados obtidos na pesquisa efectuada na base, isto é, os dados sobre a rama que se encontram na base e que são semelhantes aos calculados.
- *Rama calculada*: esta opção de selecção permite ao utilizador visualizar os valores calculados após a resolução do sistema de equações, na janela de saída *fiar_o*.
- *Fio com rama da base*: este sub-módulo determina as características do fio utilizando na resolução dos sistemas de equações os dados da rama que se encontram na base. A visualização desses valores é feita numa janela de saída do SAF.
- *Fornecedores rama da base*: se o utilizador seleccionar este módulo, a estrutura de implementação do programa irá procurar na base, se existe algum fornecedor de algodão com as características especificadas na pesquisa anterior. Em caso afirmativo, os dados serão visualizados numa janela *fiar_o*.

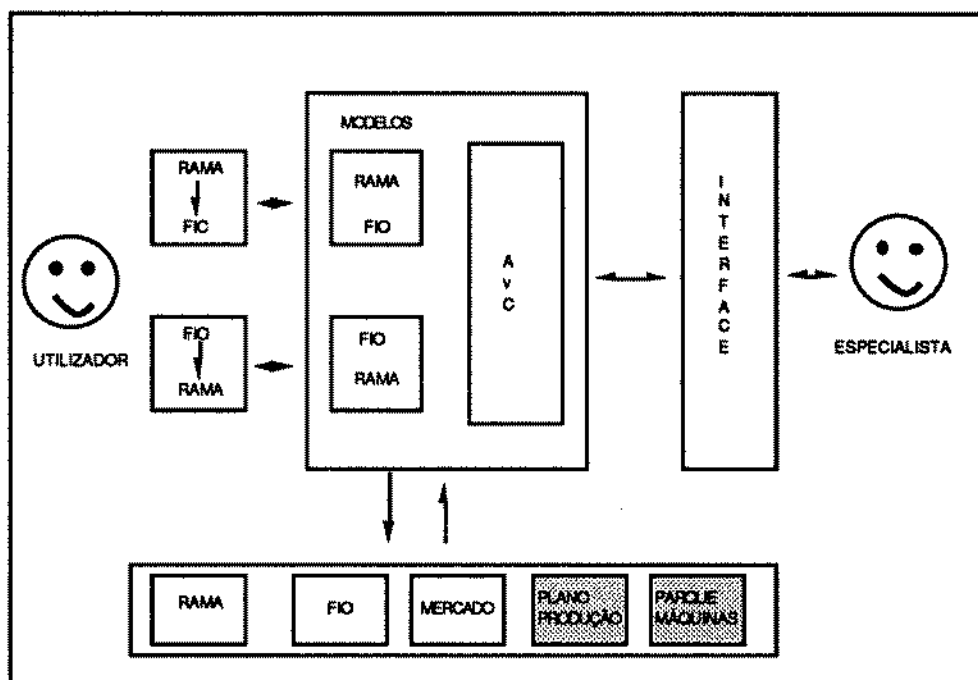
Na hipótese de *Não foram encontrados valores*, o utilizador tem a oportunidade de visualizar na janela de saída os valores da rama calculados pelo sistema. A partir deste momento, existe um sub-módulo de selecção onde são consideradas como opções a saída para o menú inicial ou a passagem para o sub-módulo seguinte. Neste caso é efectuado uma pesquisa na base, para tentar encontrar um fio que já tenha sido produzido e que apresente características semelhantes às introduzidas no início da simulação. Tal como acontecia anteriormente, este sub-módulo de selecção é processado automaticamente pelo sistema. Poderá apresentar dois tipos diferentes de saídas. Se tiver sido encontrado algum fio na base aparecerão na janela de saída as características do algodão que o produziu. Caso contrário, será editada na janela *fiar_o* uma mensagem transmitindo ao utilizador a inexistência na base de um fio com as características do introduzido. Qualquer uma destas duas opções, tem saída para o menú inicial.

4.2.3 Implementação

Como já foi referido, o Sistema de Apoio ao Fiandeiro (SAF) foi implementado utilizando-se para isso uma *shell*, o Flex, recorrendo-se nos casos onde esta shell não correspondia às exigências da implementação, à utilização do LPA Prolog [114].

Na implementação deste protótipo optou-se pela concepção incremental. Isto é, foi construído um pequeno protótipo onde só se podia realizar um tipo de simulação, com um único processo de controlo e de produção. Depois de se ter testado este protótipo, seguiu-se o desenvolvimento incremental, sendo este efectuado pela construção gradual de novas regras e novas acções que materializavam a estrutura do protótipo desenvolvido

A estrutura do protótipo é ilustrada na figura 4.13, que está de acordo com a arquitectura base de um sistema pericial.



AVC - Aquisição e Validação do Conhecimento

Figura 4.13 - Estrutura do SAF

Um módulo de interface com os utilizadores, uma base de factos e os modelos de tratamento.

O módulo de interface tem duas componentes distintas: uma responsável pela gestão do diálogo com o utilizador, escolha de opções, entrada de dados e saída de resultados e explicações, outra componente que suporta o diálogo com os peritos para a aquisição do conhecimento.

O módulo dos modelos comporta os algoritmos para a aquisição e validação do conhecimento, de cálculo e de exploração da base de conhecimentos. Aqui foi necessário

recorrer à linguagem de programação C de forma a otimizar alguns dos processamentos, como a resolução do sistema de equações. Desta forma o SAF, tem uma chamada a um módulo exterior implementado em C, retornando os valores calculados ao módulo original.

O último módulo, a base de factos, suporta toda a estrutura informacional necessária ao funcionamento do sistema. Aí reside toda a informação disponível e necessária (propriedades das fibras, propriedades dos fios, dados dos fornecedores) para o processamento, bem como as regras que determinam a acção a ser desencadeada (Seleccção e despolotamento das equações em funções das opções tomadas).

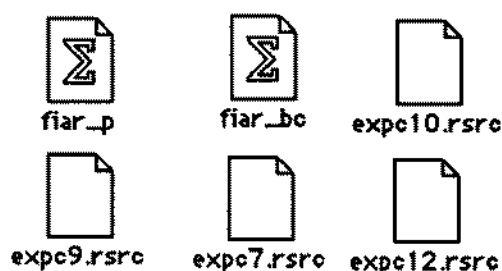


Figura 4.14 - Ficheiros existentes no SAF

Fisicamente o código do SAF está separado em ficheiros distintos :

fiar_p: neste ficheiro encontram-se inseridas todas as regras e procedimentos necessárias à execução do SAF. Os módulos de interface e os modelos de tratamento encontram-se neste ficheiro.

fiar_bc: neste ficheiro, encontram inseridos todos os factos (dados) relacionados com a resolução de um problema em particular. Isto é, sob a forma de enquadramentos, foram armazenados os valores das características do algodão, do fio e do mercado. Este ficheiro contém a base de factos do sistema.

Fontes: Estes ficheiros são código objecto, das rotinas de resolução de sistemas de equações em C.

4.2.3.1 Pormenores de implementação

Nesta secção ilustra-se alguns dos pormenores utilizados na implementação do sistema (SAF). Recorreu-se à linguagem KSL (*Knowledge Specification Language*), a

predicados do FLEX, PROLOG e a código C para a resolução de sistemas de equações lineares.

A via de implementação preferencial foram as primitivas do FLEX - KSL. Dentro das existentes as mais utilizadas foram:

Rules

Rulesets

Actions

Questions

Groups

Frames

Instances

Rules

A regra é a construção que é despoletada durante cada ciclo do encadeamento para a frente. A regra é constituída por duas partes, um antecedente e um conseqüente. O antecedente é constituído pelas condições a serem satisfeitas para a regra ser despoletada. O conseqüente são o conjunto de acções ou directivas que são desenvolvidas se a condição for satisfeita.

Exemplo:

```
rule menu_inicial_1
if menu_inicial is 'processos de control'
then ask processos_de_control
and menu_inicial.
```

Ruleset

A *ruleset* é a construção que controla a acção de encadeamento para a frente (motor de inferência) . Numa *ruleset* são declaradas:

- A lista das regras iniciais (esta declaração é mandatória na definição de ruleset), e
- As directivas que terminam com o encadeamento, e
- O algoritmo de selecção de regras a ser utilizado, e
- O algoritmo de actualização da lista a ser utilizado, e
- O procedimento a ser utilizado quando uma regra é despoletada.

Exemplo:

```
ruleset menu_inicial
contains menu_inicial_0,
      menu_inicial_1,
      menu_inicial_2,
      menu_inicial_3,
      menu_inicial_4;
select rule using first come first served;
update ruleset by removing each selected rule;
terminate when menu_inicial is 'sair'.
```

Questions

A questão é uma forma do utilizador indicar as suas escolhas ou de introduzir dados no sistema. A questão na sua forma de menú pode ser de escolha simples, ou de escolha múltipla. Na sua forma de introdução de dados, estes são introduzidos directamente do teclado. Em qualquer das situações há a opção de activar uma explicação, através de mensagens pré-definidas ou validar os valores introduzidos, se a questão for colocada sobre a forma de uma entrada de dados.

Exemplos:**Menú de escolha simples:**

```
question menu_inicial
Escolha ;;
choose one of menu_inicial.
```

Menú de escolha simples com explicação

```
question processos_de_produção
Que tipo de processo de produção utiliza ? ;
choose one of processos_de_produção
because 'preciso da sua escolha para continuar'.
```

Menú de introdução de dados com validação e com explicação.

```
question percentagem
Introduza por favor a percentagem (0 a 100) ?;
input X such that number(X) and X<100 and X>=0;
because a percentagem deve ser menor ou igual a 100 e maior ou igual a 0.
```


Groups

Um grupo é uma forma de reunir sobre um mesmo identificador um conjunto de identidades. Este é utilizado para indicar de uma forma mais eficiente conjuntos, que podem ser utilizados noutros casos.

Exemplo:

```
group menu_inicial
'actualização BC',
'métodos de controlo',
'processos de produção',
'simulação fio',
'simulação rama',
'sair'.
```

```
group processos_de_control
'Instrumentos Individuais',
'Motion_Control',
'Spinlab'.
```

```
group processos_de_produção
'OE1',
'OE2',
'Convencional'.
```

Action

Uma acção é uma colecção de directivas que devem ser desempenhadas, com uma designação única.

Exemplo:

```
action saf;
do inicialização
and menu_inicial
and finalização
and nul.
```

```
action menu_inicial;
```

```
do ask menu_inicial
and invoke ruleset menu_inicial.
```

FRAMES

A *FRAME* é um método de representação do conhecimento. É constituído com base em três elementos:

- O primeiro elemento indica o seu posicionamento na hierarquia das *frames*.
- O segundo especifica quais os seus atributos por defeito .Os valores por defeito são os que o sistema considera até à indicação expressa doutros valores.
- O terceiro elemento, especifica a hierarquia de herança.(Não foi necessário utilizar esta característica durante a implementação do SAF).

Nos exemplos seguintes são ilustradas três "frames" utilizadas na implementação do sistema. No primeiro caso podem ser observados os atributos em cada um dos processos de controlo.

```
frame processos_de_controlo.
```

```
frame instrumentos_individuais is a processos_de_controlo
default resistência_fibra is 0
and default alongamento_fibra is 0
and default comprimento_fibra is 0
and default indice_uniformidade is 0
and default fibras_curtas is 0
and default micronaire is 0
and default resistência_pressley is 0
and default percentagem_de_particulas is 0
and default serve is f.
```

No segundo, a estrutura utilizada na caracterização do fio é:

```
frame fio
default processos_produção is 0
and default ii_rama is 0
and default mc_rama is 0
and default sp_rama is 0
```

```

and default alfane is 0
and default numero_do_fio is 0
and default cvNe is 10
and default resistência_fio is 0
and default cvresistência is 0
and default alongamento_fio is 0
and default cvalongamento is 0
and default cv_uster is 0
and default pontos_finos is 0
and default pontos_grossos is 0
and default nepes is 0
and default pilosidades is 0.

```

No terceiro, a recolha de dados sobre o mercado:

```

frame fornecedor;
default algodao is 'desconhecido'
and default prazo_de_entrega is 0
and default custo is 0.

```

INSTANCES

As *instances* são declaradas da mesma forma que as *frames*, à excepção da palavra *default* que não é utilizado. Isto porque os valores das *instances* são sempre valores correntes.

Exemplo:

O primeiro exemplo, mostra a estrutura da instance onde são guardados os valores introduzidos:

```

instance valores_introduzidos_ii is a instrumentos_individuais;
  resistência_fibra is 23
and alongamento_fibra is 5
and comprimento_fibra is 1
and indice_uniformidade is 45
and fibras_curtas is 8
and micronaire is 4
and resistência_pressley is 85.6
and percentagem_de_particulas is 1

```

and serve is f.

Convem salientar que os valores introduzidos são registados da mesma forma e na mesma hierarquia de instances que os valores preservados na base, o que facilita posteriormente o seu tratamento.

O segundo exemplo apresenta a estrutura dos valores que se encontram na base no caso dos Instrumentos Individuais, Motion Control e Spinlab.

instance ii_pioneer_pr80w is a instrumentos_individuais;

resistência_fibra is 23.26

and alongamento_fibra is 5.27

and comprimento_fibra is 0.962

and indice_uniformidade is 45.40

and fibras_curtas is 8.15

and micronaire is 3.62

and resistência_pressley is 85.6

and percentagem_de_particulas is 1.1.

instance valores_introduzidos_mc is a motion_control;

resistência_fibra is 23.00

and alongamento_fibra is 6.18

and comprimento_fibra is 0.973

and indice_uniformidade is 79.0

and micronaire is 3.60

and reflectancia is 81.50

and grau_de_amarelo is 9.35

and indice_de_cor1 is 11

and indice_de_cor2 is 1

and leaf is 20.

instance sp_dpl_acala90sl is a spinlab;

resistência_fibra is 27.60

and alongamento_fibra is 5.60

and comprimento_fibra is 1.030

and indice_uniformidade is 81.00

and micronaire is 4.10

and reflectancia is 75.60

```

and grau_de_amarelo is 7.90
and indice_de_cor1 is 41
and indice_de_cor2 is 1.

```

Tal como acontece na rama, também no caso do fio existe uma *instance* para os valores introduzidos com características idênticas à anterior.

```

instance valores_introduzidos is a fio;
processos_produção is 0
and ii_rama is 0
and mc_rama is 0
and sp_rama is 0
and alfane is 4
and numero_do_fio is 16
and cvNe is 1.5
and resistência_fio is 534
and cvresistência is 14
and alongamento_fio is 5.2
and cvalongamento is 12.9
and cv_uster is 21
and pontos_finos is 344
and pontos_grossos is 669
and nepes is 56
and pilosidades is 1138.

```

Neste exemplo e dado que os fios não têm nenhum tipo de identificação, optou-se pela sua numeração:

```

instance fio16 is a fio;
processos_produção is convencional
and ii_rama is ii_dpl_acala90stl
and mc_rama is mc_dpl_acala90stl
and sp_rama is sp_dpl_acala90stl
and alfane is 4
and numero_do_fio is 16.1
and cvNe is 1.9
and resistência_fio is 608
and cvresistência is 15.1

```

```

and alongamento_fio is 5.51
and cvalongamento is 12.4
and cv_uster is 21.87
and pontos_finos is 434
and pontos_grossos is 758
and nepes is 139
and pilosidades is 1107.

```

No caso dos fornecedores, a estrutura utilizada foi a seguinte:

```

instance ABC is a fornecedor;
algodao is ii_pioneer_pr80w
and prazo_de_entrega is 10
and custo is 200.

```

Ao longo do programa foram utilizadas além das primitivas do FLEX atrás apresentadas, diversas estruturas de controlo, entre as quais se encontram estruturas condicionais e estruturas cíclicas.

IF-THEN-ELSE

Neste tipo de estrutura, é efectuada uma verificação da condição. Se esta for verdadeira, as directivas efectuadas pelo *then* são executadas, caso contrário serão as do *else*.

O exemplo seguinte ilustra a utilização desta estrutura condicional. Podem ser activados dois tipos de encadeamento: se a escolha for 'Utilização de valores antigos', a acção a ser despoletada será valores_velhos_rama_ii, caso contrário, a acção será a valores_novos_rama_ii

```

action pergunta_rama_ii;
do ask pergunta_rama_ii
and do if pergunta_rama_ii is 'Utilização de valores antigos'
then valores_velhos_rama_ii
else valores_novos_rama_ii
end if.

```

WHILE-DO LOOPS

O ciclo *While Do* repete a directiva enquanto a condição se mantiver. A directiva é desempenhada depois de se ter efectuado o teste.

Exemplo:

Neste caso, estamos perante uma estrutura cíclica que faz com que a acção não termine até que se cumpra a condição `perc=<percentagem and encontrou=f`

```
action per_sp;
do perc:=0
and do pergunta_percentagem
and do encontrou :=f
and do while perc=<percentagem and encontrou=f
  do tpii_sp
  and perc:=perc+5
end while
and do if encontrou=f
then escreve_ao_encontrou_sp
else escreve_lista_algoes_sp
end if.
```

FOR LOOPS.

Esta instrução repete as directivas dadas até que todas as soluções para uma dada condição sejam encontradas.

Exemplo:

```
action tpii_sp;
do utilizapr_sp(UR,UA,UC,UI,UM,URF,UG,UC1,UC2)
and do for every A is some instance of spinlab
do lookup(resistência_fibra,A,Resistência_fibra)
  and lookup(alongamento_fibra,A,Alongamento_fibra)
  and lookup(comprimento_fibra,A,Comprimento_fibra)
  and lookup(indice_uniformidade,A,Indice_uniformidade)
  and lookup( micronaire,A, Micronaire)
  and lookup( reflectancia ,A, Reflectancia)
  and lookup( grau_de_amarelo ,A, Grau_de_amarelo)
```

```

    and lookup( indice_de_cor1 ,A, Indice_de_cor1)
    and lookup( indice_de_cor2 ,A, Indice_de_cor2)
and do if ({Resistência_fibra > resistência_fibra_calculado * (1-(perc/100))
and Resistência_fibra < resistência_fibra_calculado * (1+(perc/100))
or UR is off}
and {{Alongamento_fibra > alongamento_fibra_calculado * (1-(perc/100))
    and Alongamento_fibra < alongamento_fibra_calculado * (1+(perc/100))}}
    or {UA is off} )
and {{Comprimento_fibra > comprimento_fibra_calculado * (1-(perc/100))
and Comprimento_fibra < comprimento_fibra_calculado * (1+(perc/100))}}
    or {UC is off} )
and {{Indice_uniformidade > indice_uniformidade_calculado * (1-(perc/100))
and Indice_uniformidade < indice_uniformidade_calculado * (1+(perc/100))}}
    or {UI is off} )
and {{Micronaire > micronaire_calculado * (1-(perc/100))
and Micronaire < micronaire_calculado * (1+(perc/100))}}
    or {UM is off} )
and {{Reflectancia > reflectancia_calculado * (1-(perc/100))
and Reflectancia < reflectancia_calculado * (1+(perc/100))}}
    or {URF is off} )
and {{Grau_de_amarelo > grau_de_amarelo_calculado * (1-(perc/100))
and Grau_de_amarelo < grau_de_amarelo_calculado * (1+(perc/100))}}
    or {UG is off} )
and {{Indice_de_cor1 > indice_de_cor1_calculado * (1-(perc/100))
and Indice_de_cor1 < indice_de_cor1_calculado * (1+(perc/100))}}
    or {UC1 is off} )
and {{Indice_de_cor2 > indice_de_cor2_calculado * (1-(perc/100))
and Indice_de_cor2 < indice_de_cor2_calculado * (1+(perc/100))}}
    or {UC2 is off} )
then encontrou:=t
and new_slot(serve,A,t)
else nul
end if
end for.

```


Tal como mencionado anteriormente foram também utilizados na implementação alguns dos predicados do FLEX, como por exemplo o *lookup* e o *new_slot*, os quais implementam o sub-sistema das *frames*(enquadramentos).

Lookup

Este predicado lê os valores correntes dos atributos de uma *frame*, retornando com os valores numa dada variável. Nos casos onde não exista valor corrente, os valores que retornarão serão os de *default*.

Neste exemplo o *lookup* é utilizado para que se consigam obter os valores existentes na instâncias para o caso do algodão A

action equação10(A)

do *lookup*(resistência_fibra,A,Resistência_fibra)

and *lookup*(alongamento_fibra,A,Alongamento_fibra)

and *lookup*(comprimento_fibra,A,Comprimento_fibra)

and *lookup*(indice_uniformidade,A,Indice_uniformidade)

and *lookup*(fibras_curtas,A, Fibras_curtas)

and *lookup*(micronaire,A, Micronaire)

and *lookup*(resistência_pressley ,A, Resistência_pressley)

and *lookup*(percentagem_de_particulas ,A, Percentagem_de_particulas)

and a1 becomes 4

and a2 becomes $(123.95962)+(1.04523*Fibras_curtas)+(52.79550*Comprimento_fibra)+(0.81542*$
Indice_uniformidade $)+(1.76420* Resistência_fibra)$

and a3 becomes $(1.63689)-(1.41169* Micronaire) +(4.14716* Comprimento_fibra) +(0.1077*$
Percentagem_de_particulas $)-(0.38403* Alongamento_fibra)+(0.30693* Resistência_fibra)$

and a4 becomes $(-1228.85131)+(31.83155*Fibras_curtas)+(759.58021*Comprimento_fibra) -(38.54611*$
Alongamento_fibra $)+(54.86857* Resistência_fibra)$

and a5 becomes $(26.83226)+(1.38228* Micronaire) -(15.14124*Comprimento_fibra) -(0.31396*$
Indice_uniformidade $)+(0.62566* Alongamento_fibra)$

and a6 becomes $(-8.63074)-(1.101910* Micronaire)$

$-(0.05722*Resistência_pressley)+(8.33949*Comprimento_fibra)+(0.1524* Indice_uniformidade)+(0.25258*$
Resistência_fibra)

and a7 becomes $(21.89244)-(1.68333* Micronaire)$

and a8 becomes $(54.05298)-(0.16132*Fibras_curtas)-(14.67374*Comprimento_fibra)-(0.34043*$
Indice_uniformidade $)-(0.20882*Resistência_fibra)$

and a9 becomes $(-3239.9055)-(88.33931* Micronaire)$

```

and a10 becomes (18.38039)+(6.69221*Resistência_pressley)-(38.77369* Índice_uniformidade)-
(29.71329*Resistência_fibra)
and a11 becomes (3644.37989)-(33.74965*Fibras_curtas)
and a12 becomes 1114.16240-(1512.98061*Comprimento_fibra)+(46.18416*Porcentagem_de_particulas)
and res_open('expc12.rsrc')
and call_c(
{1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0},
{0,1,0,0,0,0,0,0,0,2.64597,0,-1.24825,0,0,0,0},
{0,0,1,-0.00160893,0,-0.54810,0,0,0,0,0,0},
{0,26.65754,0,1,0,0,0,0,0,-0.07134,-0.10473},
{0,0,0,0,1,0,-0.44037,0,-0.0009372303,0,0,-0.001994385},
{0,0,0,0,0,0,0,1,0,-0.11928,0,0,0,0.00051671,0},
{0,0,0,0,-0.47280,0,96681,1,0,24053,0,0,-0.001225193,0},
{0,-0.12269,0,0,0,-0.38107,0,15010,1,-0.002988962,0,-0.000816881,0},
{0,0,0,0,0,0,-184.84866,1,0,0,0},
{0,-23.95889,0,0,0,-53.94169,20.86767,-96.73745,-0.25682,1,-0.37582,0},
{0,20.18644,0,0,0,0,200.34886,0,-1.60839,1,0},
{0,-25.08950,0,-0.8086,-44.9339,0,0,0,0,0,0,0.21581,1},
{a1,a2,a3,a4,a5,a6,a7,a8,a9,a10,a11,a12},
A1,A2,A3,A4,A5,A6,A7,A8,A9,A10,A11,A12,
'TEST',0)
and res_finish('TEST',0)
and alfane_calculado become A1
and numero_do_fio_calculado become A2
and cvNe_calculado become A3
and resistência_fio_calculado become A4
and cvresistência_calculado become A5
and alongamento_fio_calculado become A6
and cvalongamento_calculado become A7
and cv_uster_calculado become A8
and pontos_finos_calculado become A9
and pontos_grossos_calculado become A10
and nepes_calculado become A11
and pilosidades_calculado become A12.

```

New_slot

Este predicado pertence também ao sub sistema de implementação de *frames*. Este predicado é utilizado para modificar o valor corrente de uma sua instância. O valor corrente sobrepõe-se a qualquer valor por defeito e é utilizado sempre que se acede ao atributo em questão.

Exemplo:

```

action simulação_rama_ii;
do for every A is some instance of instrumentos_individuais
do new_slot(serve,A,f)
  end for
and pergunta_rama_ii
and equações_rama_ii.

action equações_rama_ii;
do new_slot(serve,valores_introduzidos_ii,t)
and mostra_fio_ramas_base_ii.

```

Além destes predicados do *Flex* e da utilização do *KSL*, houve necessidade de recorrer ao Prolog [114] para a resolução de problemas específicos de implementação em alguns dos módulos. O *Prolog* foi utilizado principalmente para permitir a obtenção de janelas de selecção de valores, para que a visualização dos valores calculados seja perceptível, e permitir a evocação dos código objecto. Conjugando a utilização de *KSL* e de *Prolog*, foram construídas acções com o aspecto ilustrado nos exemplos seguintes:

```

action inicialização
do restart
and wfile('fiar_geral',File,Volume)
and vol_path(Volume,Path)
and set_path(Path)
and source_load('fiar_bc')
and screen(D,W)
and wcreate(fiar_o,1,40,0,D-40,W)
and wfont(fiar_o,'Courier',0,10)
and tell(fiar_o).

```

Dada a ilegibilidade da sintaxe do *Prolog* utilizado, julga-se oportuno descrever sumariamente os objectivos, procedimentos ou acções associados a cada uma das primitivas utilizadas. No exemplo acima apresentado foram utilizadas três tipos de primitivas, nomeadamente :

- Primitivas para a gestão de ficheiros
 - **vol_path** determina o *pathname* de um determinado volume
 - **set_path** permite especificar o *pathname* para um volume corrente
 - **source_load** permite que seja lida para a memória e interpretado o ficheiro especificado. (neste caso, o *fiar_bc*, ficheiro este que é composto pelos factos da base)
- Primitivas para a gestão de janelas
 - **wfile** permite identificar qual o volume a que uma determinada janela pertence
 - **wfont** permite especificar os detalhes para uma determinada janela (tipo de letra, tamanho)
 - **wcreate** permite criar uma janela de visualização de resultados
- Primitivas gerais
 - **screen** permite determinar a dimensão do ecrã do monitor a ser utilizado no momento
 - **tell** permite especificar o canal de saída (utilizado nesta implementação para especificar a janela de visualização dos resultados)

Na construção de diálogos foram utilizados as seguintes primitivas:

- **dialog**: uma evocação deste predicado cria, visualiza e edita uma janela de diálogo
- **button** : este predicado cria um botão (para a selecção de opções)
- **check** : esta instrução cria uma caixa de selecção
- **asserta** : acrescenta uma nova cláusula à base

```

action escolha_pr_sp;
do dialog('propriedades da rama',
  40,6,300,500,
  {button(260,400,20,60,'OK'),
  text(20,40,20,420,'Escolha as propriedades da rama que quer considerar na'),
  text(45,40,20,420,'pesquisa à base de conhecimentos'),
  check(80,40,20,300,'Resistência',on,UR),
  check(100,40,20,300,'Alongamento',on,UA),
  check(120,40,20,300,'Comprimento',on,UC),
  check(140,40,20,300,'Índice de uniformidade',on,UI),
  check(160,40,20,300,'Micronaire',on,UM),
  check(180,40,20,300,'Reflectância',on,URF),
  check(200,40,20,300,'Grau de Amarelo',on,UG),
  check(220,40,20,300,'Índice Cor 1',on,UC1),
  check(240,40,20,300,'Índice Cor 2',on,UC2)},
  Botao)
and asserta(utilizapr_sp(UR,UA,UC,UI,UM,URF,UG,UC1,UC2)).

```

Na visualização foi utilizada a instrução `fw`(formatted write). Esta primitiva escreve a lista de termos para a janela indicada para a saída de acordo com a lista de campos descritos na `format_list`.

```

action escreve_fio_ramas_base(A);
do echo (=====)
and echo ('          Características do fio produzido')
and echo (=====)
and nl
and echo('Características do fio produzido com esta rama : ',A)
and fw(fiar_o,{u(28),f(10,2)},{'alfane = ',alfane_calculado})
and echo('  ')
and fw(fiar_o,{u(28),f(10,2)},{'numero_do_fio = ',numero_do_fio_calculado})
and echo('  ')
and fw(fiar_o,{u(28),f(10,2)},{'cvNe = ',cvNe_calculado})
and echo('  ')
and fw(fiar_o,{u(28),f(10,2)},{'resistência_fio = ',resistência_fio_calculado})
and echo('  ')
and fw(fiar_o,{u(28),f(10,2)},{'cvresistência = ',cvresistência_calculado})
and echo('  ')
and fw(fiar_o,{u(28),f(10,2)},{'alongamento_fio = ',alongamento_fio_calculado})

```

```

and echo(' ')
and fw(fiar_o,{u(28),f(10,2)},{'cvalongamento = ',cvalongamento_calculado})
and echo(' ')
and fw(fiar_o,{u(28),f(10,2)},{'cv_uster = ',cv_uster_calculado})
and echo(' ')
and fw(fiar_o,{u(28),f(10,2)},{'pontos_finos = ',pontos_finos_calculado})
and echo(' ')
and fw(fiar_o,{u(28),f(10,2)},{'pontos_grossos = ',pontos_grossos_calculado})
and echo(' ')
and fw(fiar_o,{u(28),f(10,2)},{'nepes = ',nepes_calculado})
and echo(' ')
and fw(fiar_o,{u(28),f(10,2)},{'pilosidades = ',pilosidades_calculado})
and echo(' ')
and echo(=====)
and nl
and continua.

```

Tal como referido anteriormente o código objecto foi utilizado na resolução do sistema de equações necessário à determinação das diferentes variáveis. Para tal foram utilizadas primitivas do *PROLOG*, pois este permite a utilização de código objecto bem como a sua chamada do próprio programa.

Os predicados utilizados para esse fim foram os seguintes:

- **res_open** : predicado que faz com que seja aberto um recurso externo
- **call_c** : este predicado permite evocar, executar e retornar um procedimento externo em C (com a passagem e retorno dos parâmetros)
- **res_finish** : finaliza a execução dos recursos externos (retira o código da memória)

Exemplo:

```

action equação10(A)
do lookup(resistência_fibra,A,Resistência_fibra)
    and lookup(alongamento_fibra,A,Alongamento_fibra)
    and lookup(comprimento_fibra,A,Comprimento_fibra)
    and lookup(indice_uniformidade,A,Indice_uniformidade)
    and lookup( fibras_curtas,A, Fibras_curtas)

```

```

and lookup( micronaire,A, Micronaire)
and lookup( resistencia_pressley ,A, Resistência_pressley)
and lookup( percentagem_de_particulas ,A, Percentagem_de_particulas)

and a1 becomes 4
and a2 becomes (-
123.95962)+(1.04523*Fibras_curtas)+(52.79550*Comprimento_fibra)+(0.81542*Indice_uniformidade
)+(1.76420* Resistência_fibra)
and a3 becomes (1.63689)-(1.41169* Micronaire ) +(4.14716* Comprimento_fibra )+(0.1077*
Percentagem_de_particulas )-(0.38403* Alongamento_fibra)+(0.30693* Resistência_fibra )
and a4 becomes (-1228.85131)+(31.83155*Fibras_curtas)+(759.58021*Comprimento_fibra ) -(38.54611*
Alongamento_fibra) +(54.86857* Resistência_fibra)
and a5 becomes (26.83226)+(1.38228* Micronaire ) -(15.14124*Comprimento_fibra ) -(0.31396*
Indice_uniformidade ) +(0.62566* Alongamento_fibra)
anda6becomes(-8.63074)-(1.101910*Micronaire)-
(0.05722*Resistência_pressley)+(8.33949*Comprimento_fibra)+(0.1524* Indice_uniformidade)+(0.25258*
Resistência_fibra)
and a7 becomes (21.89244)-(1.68333* Micronaire )
and a8 becomes (54.05298)-(0.16132*Fibras_curtas)-(14.67374*Comprimento_fibra)-(0.34043*
Indice_uniformidade )-(0.20882*Resistência_fibra )
and a9 becomes (-3239.9055)-(88.33931*Micronaire )
and a10 becomes (18.38039)+(6.69221*Resistência_pressley)-(38.77369* Indice_uniformidade)-
(29.71329*Resistência_fibra)
and a11 becomes (3644.37989)-(33.74965*Fibras_curtas)
and a12 becomes 1114.16240-(1512.98061*Comprimento_fibra)+(46.18416*Percentagem_de_particulas)
and res_open('expc12.rsrc')
and call_c(
{1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0},
{0,1,0,0.019024,0,2.64597,0,-1.24825,0,0,0,0},
{0,0,1,-0.00160893,0,-0.54810,0,0,0,0,0,0},
{0,26.65754,0,1,0,0,0,0,0,-0.07134,-0.10473},
{0,0,0,1,0,-0.44037,0,-0.0009372303,0,0,-0.001994385},
{0,0.04221,0,0,1,0,-0.11928,0,0,0.00051671,0},
{0,0,0,0,-0.47280,0.96681,1,0.24053,0,0,-0.001225193,0},
{0,-0.12269,0,0,0,-0.38107,0.15010,1,-0.002988962,0,-0.0008168811,0},
{0,0,0,0,0,0,-184.84866,1,0,0,0},
{0,-23.95889,0,0,0,-53.94169,20.86767,-96.73745,-0.25682,1,-0.37582,0},

```

```

(0,20.18644,0,0,0,0,200.34886,0,-1.60839,1,0),
(0,-25.08950,0,-0.8086,-44.9339,0,0,0,0,0,0.21581,1),
(a1,a2,a3,a4,a5,a6,a7,a8,a9,a10,a11,a12},
A1,A2,A3,A4,A5,A6,A7,A8,A9,A10,A11,A12,
'TEST',0)
and res_finish('TEST',0)
and alfane_calculado become A1
and numero_do_fio_calculado become A2
and cvNe_calculado become A3
and resistência_fio_calculado become A4
and cvresistência_calculado become A5
and alongamento_fio_calculado become A6
and cvalongamento_calculado become A7
and cv_uster_calculado become A8
and pontos_finos_calculado become A9
and pontos_grossos_calculado become A10
and nepes_calculado become A11
and pilosidades_calculado become A12.

```

4.3 Comentários

Mostraram-se proveitosos os ensinamentos obtidos na área de Inteligência Artificial/Sistemas Periciais, sendo os seus princípios estruturantes facilmente aplicáveis neste domínio (Sistema de Apoio à Fiação).

As escolhas do ambiente computacional bem como o das ferramentas utilizadas no desenvolvimento do protótipo mostraram ser as adequadas, em particular pela facilidade da sua utilização por não profissionais no domínio da informática.

O objectivo a que nos propusemos foi atingido. Isto é, implementou-se um sistema pericial de apoio ao gestor têxtil que permite identificar quais os atributos a que deve obedecer a rama para a produção de um fio com propriedades pré-especificadas ou então a previsão das propriedades dos fios dadas as características da rama.

Finalmente, convém salientar que este protótipo não deve ser considerado como um produto final, dado existirem um certo número de parâmetros que não foram objecto de análise, nomeadamente aspectos respeitantes ao parque de máquinas, utilização de fios penteados bem como de fios com mistura de fibras. É assim possível identificar como via de

trabalho futuro no domínio específico da utilização da Inteligência Artificial para a resolução de sistemas de apoio ao gestor têxtil, as seguintes vias:

- Alargamento da base de factos existente, utilizando a mesma estrutura, acrescentando novos factos, bem como mecanismos de actualização e compatibilização do conhecimento a nível da base, e

- Desenvolvimento de módulos de sistemas de equações para o problema específico dos fios penteados 100% algodão e restantes fios produzidos utilizando-se para tal, misturas de fibras, e

- Interligação com os Instrumentos de Controlo.

5. CONCLUSÕES

Este capítulo encontra-se dividido em três secções. Na primeira secção são focados os resultados obtidos na análise estatística efectuada. Na segunda é feita referência aos resultados obtidos na implementação do Sistema de Apoio à Fiação (SAF) e finalmente são efectuadas as recomendações para trabalho futuro.

Na generalidade poder-se-á afirmar que os objectivos definidos na introdução foram alcançados com sucesso. Analisemos então.

5.1 Análise estatística

Um dos objectivos propostos no início deste trabalho era encontrar os modelos matemáticos que relacionassem as propriedades das fibras com as propriedades das ramas. Este objectivo foi completamente atingido. Atendendo ao elevado número de conjuntos de equações determinados, as conclusões serão divididas em relação aos resultados obtidos em duas partes. Na primeira parte serão referenciados os dados relativos aos modelos determinados da determinação da selecção da rama em função das propriedades pré-definidas de um fio. Na segunda parte serão analisados os resultados obtidos na determinação das equações de previsão das propriedades do fio em função de uma rama com características pré-estabelecidas.

5.1.1 Rama-fio

Pretendia-se, neste caso, obter modelos que relacionassem as propriedades das fibras, caracterizadas com diferentes métodos de controlo, com as propriedades do fio. Desta forma foi obtido um conjunto de nove sistemas de equações, com os quais seria atingido o objectivo proposto.

O quadro 5.I ilustra os coeficientes de determinação obtidos nas equações calculadas para a determinação das características da matéria prima. Como se pode observar, a grande maioria dos coeficientes de determinação são superiores a 0,90, o que nos leva a concluir que o modelo matemático determinado se ajusta aos dados reais. Como excepção há a considerar os valores obtidos nas equações de determinação da percentagem de partículas, as quais apresentam factores de determinação da ordem dos 0,30, o que estatisticamente é considerado como não significativo.

Relativamente aos métodos de controlo de rama utilizados, verificou-se que a utilização do Motion Control conduz à obtenção de factores de determinação mais elevados nas propriedades estudadas.

Quadro 5.I - Coeficientes de determinação obtidos nas equações de selecção das características da rama

	Inst. Individuais			Motion Control			Spinlab		
	C	OE1	OE2	C	OE1	OE2	C	OE1	OE2
x1									
x2									
x3									
x4									
x5									
x6									
x7									
x8									
x9									
x10									
w1									
w3									

]0,9;1,0]]0,8; 0,9]]0,7; 0,8]]0,6; 0,7]]0,5; 0,6]]0,3; 0,5]Inexistência de dados

O quadro 5.II permite a visualização das características com maior contribuição na determinação da variável dependente nas equações calculadas.

Verifica-se neste caso que, se o método de controlo utilizado for dos Instrumentos Individuais, as características predominantes são as mesmas em todos os processo de fiação, com excepção da percentagem de partículas. Nos restantes métodos de controlo tal já não se verifica, embora exista um certo número de variáveis, principalmente as que se referem aos parâmetros de cor, onde o processo de fiação utilizado não tem qualquer influência. Pela análise do quadro poder-se-á também constatar que quase todas as características predominantes são propriedades das ramas, verificando-se desta forma a sua interdependência .

Contudo não é possível afirmar que o processo de produção intervém no cálculo das equações pois, embora as características predominantes sejam as mesmas, as restantes características que constituem as equações são diferentes. Saliente-se ainda que as equações são sempre influenciadas pelo método de controlo e pelo processo de fiação.

Quadro 5.II - Características predominantes nas equações de selecção da rama

	Instr. Individuais			Motion Control			Spinlab		
	Conv.	OE1	OE2	Conv.	OE1	OE2	Conv.	OE1	OE2
x1	w1	w1	w1	y8	x4	y2	y8	x6	x6
x2	x1	x1	x1	x4	x4	x4	y8	x5	x7
x3	y8	y10	y8	y11	y10	y8	y11	x8	x6
x4	x1	x1	x1	x9	x9	x9	x3	x3	x7
x5	w1	w1	w1	x9	x9	x9	y8	x3	y6
x6				x9	x9	x9	x8	x8	x8
x7				y8	x6	x6	x6	x6	x6
x8				x9-x6	x6-x9	x9-x6	x6	x6	x6
x9				x5	x6	x5	x8-x6	x8-x3	x6-x8
x10				x9	x9	x9			
w1	x1	x1	y2						
w3	x1-x2	x5-w1	x5-w1						

5.1.2 Fio-rama

Nesta secção será efectuada uma análise aos resultados obtidos na determinação dos modelos matemáticos referentes ao sistema de equações que relacionam as propriedades do fio com as propriedades da rama. No quadro 5.III são ilustrados os coeficientes de determinação obtidos nas diferentes equações de previsão das propriedades do fio.

Verifica-se neste caso que, nos nove conjuntos de equações determinadas se conseguiu obter na maior parte delas coeficientes de determinação superiores a 0,80 com excepção das equações utilizadas no cálculo do coeficiente de variação do fio e das pilosidades no fio convencional. Convém salientar que no fio OE2 quase todos os modelos apresentaram coeficientes de determinação superiores a 0,90.

Quadro 5.III - Coeficientes de determinação obtidos nas equações de previsão das propriedades dos fios

	Fio Convencional			Fio OE1			Fio OE2		
	II	MC	SP	II	MC	SP	II	MC	SP
y1									
y2									
y3									
y4									
y5									
y6									
y7									
y8									
y9									
y10									
y11									
y12									

]0,9;1,0]]0,8; 0,9]]0,7; 0,8]]0,6; 0,7]]0,5; 0,6]]0,3; 0,5]Inexistência de dados

No quadro 5.IV são apresentados, para os diferentes modelos, as características com maior contribuição na determinação das propriedades dos fios. As características predominantes dependem, na maior parte dos modelos calculados, do método de controlo utilizado. Tal como acontece no caso da rama, também aqui os factores determinantes são na sua maioria características do próprio fio.

Quadro 5.IV - Características predominantes nas equações de previsão das propriedades dos fios

	Convencional			OE1			OE2		
	II	MC	SP	II	MC	SP	II	MC	SP
y1				y2	y2	y2	y4	y4	y4
y2	y8	y8	y8	y1	y1	y1	y6	y1	y8
y3	x5	y2	x1	y10	y11	x8	y1	y2	y1
y4	y2	x8	y2	y2	y2	y2	y1	y1	y1
y5	x3	x6	y9	x3	x6	y2	x3	y6	y7
y6	x3	x8	x5	y4	x6	y4	y4	y4	y2
y7	y5	y5	y11	y9	y10	y9	y6	y2	x6
y8	y9	y9	y9	y10	y10	y10	y4	y10	y10
y9	y8	y10	y8	y10	y8	y10	y1	y10	y10
y10	y8	y8	y9	y11	y11	y11	y1	y8	y8
y11	y10	x9	x3	y10	y10	y10	y10	y10	y2
y12	y2	x10	x6	y4	y4	x3	y1	y1	y1

Em resumo e como considerações gerais, podemos referir que a determinação das equações de previsão ou de selecção poderá conduzir:

- No caso da rama, à sua utilização como instrumento de trabalho dos produtores de algodão que tenham como objectivo a melhoria da qualidade da matéria prima e dos fiandeiros que visem a obtenção das características da rama pretendidas para a produção de um fio.

- No caso do fio e dado que os parâmetros que mais influenciam as suas características estão principalmente ligados às irregularidades, a um controlo mais efectivo do processo de fiação por forma a minorar a possibilidade de obtenção de fios com propriedades inadequadas à sua utilização.

5.2 SAF

Pretende-se com a utilização do SAF que o gestor têxtil possa dispôr de ferramenta no campo da automatização da sua actividade. Evidentemente que o objectivo deste trabalho foi a elaboração e construção de um protótipo e não de um produto com características comerciais. Como protótipo, o SAF está aberto a um vasto campo de desenvolvimento de aplicações principalmente nas vertentes da fiação de penteados e na alteração do parque de máquinas.

Para a sua implementação revelaram-se proveitosos os ensinamentos obtidos na área da Inteligência Artificial/ Sistemas Periciais, tendo a sua estrutura sido facilmente aplicável neste domínio. Quanto ao ambiente computacional bem como o das ferramentas utilizadas no desenvolvimento do protótipo, mostraram ser as mais adequadas, em particular dada a facilidade de utilização por não especialistas no domínio da informática.

Após a sua implementação este sistema demonstrou que é perfeitamente possível a utilização de sistemas computacionais em modelos aplicados na Indústria Têxtil (Fiação) por forma a obter-se uma ferramenta que permita apoiar o gestor têxtil na selecção de propriedades da rama ou então na previsão das propriedades dos fios. O sistema integra uma série de modelos estatísticos que relacionam todas as propriedades estudadas e na base de factos encontram-se inseridos dados respeitantes às características de ramas, características de fios e fornecedores.

5.3 Recomendações para trabalho futuro

Este trabalho poderá ser continuado de forma a tornar o SAF uma ferramenta que se adapte a qualquer fição, sem que haja qualquer tipo de limitações, nomeadamente no campo de:

- Análise estatística para o caso dos fios penteados
- Estudo das propriedades dos fios produzidos com vários sistemas de fição não convencional, nomeadamente a fição por fricção e a fição por jacto de ar
- Estudo sobre a influência das máquinas utilizados ao longo do processo de fição
- Optimização do processo de fição
- A utilização de diferentes métodos da análise de regressão poderá ser um outro campo de análise eventualmente conducente a melhores resultados
- Outra via para o desenvolvimento deste trabalho seria o da sua ligação a instrumentos de controlo, principalmente aos de alto volume (HVI). Com este tipo de integração poder se-ia prever as propriedades dos fios a produzir com a rama em análise.

BIBLIOGRAFIA

1. Waterman, Donald A. - A Guide to Expert Systems. Addison-Wesley, 1988.
2. Bratko, I. - Prolog-Programming for Artificial Intelligence. Addison-Wesley, 1986.
3. Vasconcelos, Rosa Maria - Planeamento e Cálculo de Custos numa Fiação. Guimarães: Universidade do Minho, 1986. Provas Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica.
4. Hunter, L. - The effect of cotton fibre properties on processing performance and fabric properties. Symposium on New Technologies for Cotton. 1982.
5. Hosel, Fritz - New microcomputers for the textile industry. Melliand Textilberichte (English). 1991, 72(9), p. E 287- E289.
6. Fiori, Louis A., Brown, John J. e Sands, Jack E. - The effect of Cotton Fiber Strength on the Properties of 2-Ply Carded Yarns. Textile Research Journal. 1956, 26(4), p. 296-302.
7. Hunter, Lawrence - Prediction of Cotton Processing Performance and Yarn Properties from HVI Test Results. Melliand Textilberichte (English). 1988, 69(4), p. E123-E125.
8. Zureck, W., Frydrych, I. e Zakrzewski, S. - A Method of Predicting the Strength and Breaking Strain of Cotton Yarn. Textile Research Journal. 1987, 57(8), p. 439-444.
9. Sultan, M. A. e El-Hawary, I. A. - A Comparison of the Properties of Open-End Spun and Ring-Spun Yarns produced from two Egyptian Cottons. Journal of the Textile Institute. 1973, 65(4), p. 195-199.
10. Hearle, J. W. S. - A Generalized Equation for Predicting the Lea Strength of Cotton Yarns. Journal of the Textile Institute. 1974, 65(10), p. 563-564.
11. Fiori, Louis A., Sands, Jack E., Little, Herschel W. e Grant, James N. - Effect of Cotton Fiber Bundle Break Elongation and other Fiber Properties on the Properties of a Coarse and Medium Single Yarns. Textile Research Journal. 1956, 26(7), p. 553-564.

12. Fiori, Louis A., Brown, John J. e Sands, Jack E. - Effect of Cotton Fiber Strength on Single Yarn Properties and on Processing Behaviour. *Textile Research Journal*. 1954, 24(6), p. 503-507.
13. Brown, Hugh M. - Effect of Cotton Fiber Strength on Single Yarn Correlation of Yarn Strength with Fiber Strength Measured at Different Gage Lengths. *Textile Research Journal*. 1954, 24(3), p. 251-260.
14. Virgin, W. P. e Wakeham, Helmut - Cotton Quality and Fiber Properties. Part IV. The Relation Between Single Fibers Properties and the Behavior of Bundles, Silvers and Yarns. *Textile Research Journal*. 1956, 26(3), p. 177-191.
15. Jr., H. H. Ramey, Lawson, R. e Jr., S. Worley - Relationship of Cotton Fibers Properties to Yarn Tenacity. *Textile Research Journal*. 1977, 47(10), p. 685-691.
16. Subramanian, T. A., Ganesh, K. e Bandyopadhyay, S. - A Generalized Equation for Predicting the Lea Strength of Ring-Spun Cotton Yarns. *Journal of the Textile Institute*. 1974, 65(6), p. 307-313.
17. Relationship of Fiber Strength to Yarn Strength. *Textile Topics*. 1987, 15(12).
18. Research on Fiber/Yarn Relationship. *Textile Topics*. 1983, 11(10).
19. Predicting Ring Yarn Strength from Fiber Properties. *Textile Topics*. 1986, 15(4).
20. Mogahzy, Yehia E. El - Selecting Cotton Fiber Properties for Fitting Reliable Equations to HVI Data. *Textile Research Journal*. 1988, 58(7), p. 392-397.
21. Fiber Tenacity/Yarn Strength Relationship. *Textile Topics*. 1984, 12(9).
22. Mini-Conference Scheduled on HVI Cotton Evaluation. *Textile Topics*. 1982, 11(4).
23. Mogahzy, Yehia E. El, Jr., Roy Broughton e Lynch, W. K. - A Statistical Approach for Determining the Technological Value of Cotton Using HVI Fiber Properties. *Textile Research Journal*. 1990, 60(9), p. 495-500.
24. Jr., Harmon H. Ramey e Beaton, Paul G. - Relationships Between Short Fiber Content and HVI Fiber Length Uniformity. *Textile Research Journal*. 1989, 59(2), p. 101-108.
25. Sasser, P. E. - High Volume Instrument Test System: a tool for textile manufacturing. *Textil Praxis International*. 1985, 40(2), p. II-V.

26. Importação de Têxteis por Espécies. Folha Têxtil. 1987, 77(Novembro / Dezembro), p. 21.
27. Wolf, B. - Aparatos de medicion y prueba en el laboratorio de la hilatura de fibras curtas. Bulletin Textil International-Hilandería. 1986, 4, p. 13-34.
28. Parker, J.S. - The Advantages of Instrument Measurements of Cotton Fiber Properties. Symposium on New Technologies for Cotton. 1982.
29. Nield, R. - Open-End Spinning. Textile Institute. Manchester. 1978.
30. Brockmann, K. J. - Mecanismos de la hilatura por fricción OE. Bulletin Textil International-Hilandería. 1985, 3, p. 19-59.
31. Short staples spinning systems: possibilities and limitations. Textile Month. 1984, September, p. 12-23.
32. Fisher, J. - Parallel yarns in the carpet manufacturing industry. Textil Praxis International. 1985, 41(7).
33. Keller, H. A. e Nakara, T. - El nuevo procedimiento japonés para hilar OE con toberas neumáticas. Bulletin Textil International-Hilandería. 1985, 7, p. 407-408.
34. Máquinas instaladas -Fiação-. Folha Têxtil. 1984, p. 43.
35. Gutknecht, Justin - The practical influence of breeding programmes upon fibre properties. Textil Praxis International. 1987, 42(11), p. XX-XXII.
36. Feaster, Carl V. - Cotton breeding trends for improving fiber quality and production relationships. Textil Praxis International. 1987, 42(2), p. III-V.
37. Mayfield, Willian - The effects of ginning on cotton fiber quality. Melliand Textilberichte (English). 1989, 70(4), p. E93-E94.
38. Werber, Frank - USDA program gears to improve cotton quality. Textile World. 1988, 138(4), p. 50-52.
39. New Ginning Techniques For Improving Fiber Quality. Textile Topics. 1988, 16(10).
40. The effects of Lint Cleaning on Fiber and yarn Quality. Textile Topics. 1992, 20(5).

41. Schenek, Anton e Janetzky, Isabel - The Almeter test method-A possibility for fibre length measurements on raw cotton? *Melliand Textilberichte (English)*. 1990, 71(12), p. E419-E421.
42. Klein, W. - *The Technology of Short Staple Spinning. Manual of Textile Technology*, Manchester: Textile Institute.
43. Ishtiaque, S. M. e Chattopadhyay, Sanipan - Fibre length factor. *Textile Asia*. 1990, 21(4), p. 56-67.
44. U.S. Cotton Fiber Chart 1991. *Textile World*. 1991.
45. Pattabhiram, T.K. - *Essential facts of practical cotton spinning*. Ahmedabad: D. A. Mahajan Brothers, 1979.
46. Jr., A. C. Griffin e Labor, W. F. - The effect of fiber bundle strength on the short fiber content and nepping potential of ginned lint. *Textil Praxis International*. 1985, 40(4), p. II-IV.
47. The effects of lint cleaning on fiber and yarn quality: Part I. *Textile Topics*. 1991, 20(4).
48. Lord, P. R. e Johnson, R. - Short fibres and quality control. *Journal of the Textile Institute*. 1985, 76(3), p. 145-156.
49. Smith, Brent - A review of the relationship of cotton maturity and dyeability. *Textile Research Journal*. 1991, 61(3), p. 137-145.
50. Thibodeaux, Devron P. e Evans, Janice P. - Cotton fiber maturity by image analysis. *Textile Research Journal*. 1986, 56(2), p. 130-139.
51. Goswami - *Textile Yarns-Technology, Structure and Applications*. New York: John Wiley, 1977.
52. Heap, S. A. - A quick method of maturity testing. *Textile Month*. 1988, May, p. 51-52.
53. Verwohlt, H. e Fabian, K. L. - Automación en el ensaio del algodón-índices para su posterior elaboracion-condiciones solicitadas a los productores, comercio e industrias. *Bulletin Textil International*. 1988, 3, p. 65-74.
54. Symposim on cotton testing and spinning technology. *Textile Topics*. 1987, 16(2).

55. Balasubramanian, P. - Relation between maturity and micronaire. *Textile Research Journal*. 1989, 59(10), p. 634.
56. Thibodeaux, Devron P. e Price, John B. - Reference method for determination of the maturity of cotton fibers. *Melliand Textilberichte (English)*. 1989, 70(4), p. E95-E96.
57. Dever, J. K. e Gannaway, J. R. - Influence of cotton fiber strength and fineness on fiber damage during lint cleaning. *Textile Research Journal*. 1988, 58(8), p. 433-439.
58. Neves, José S. Ferreira - *A Irregularidade dos Fios Têxteis: sua medição e análise*. Porto: 1960.
59. Furter, R. e Douglas, K. - Automation in cotton fibre testing. *Textile Month*. 1991, April, p. 29-36.
60. Furter, Richard e Frey, Manfred - Analysis of the spinning process by measurement of the number and size of neps. *Melliand Textilberichte (English)*. 1991, 72(7), p. E208-E210.
61. Muller, Michael - HVI cotton fibre inspection use, methods and problems. *Textile Month*. 1991, May, p. 42-43.
62. Schwartz, Michael - Microprocessors in spinning preparation. *Textile Month*. 1989, June, p. 35-37.
63. Oxtoby, Eric - *Spun Yarn Technology*. Kent: Butterworths, 1987.
64. Bertheux, Brigitte e Drean, Jean-Yves - Preparation Filature-Fibres courtes. *L'Industrie Textile*. 1988, 1190, p. 731 a 737.
65. Dyson, E. - Some observations on yarn irregularity. *Journal of the Textile Institute*. 1974, 65(4), p. 215-217.
66. Neckár, Bohuslav - Recent research on yarn irregularity. *Melliand Textilberichte (English)*. 1989, 70(7), p. E201-E203.
67. Rohlena, V. - *Open-end Spinning*. New York: Elsevier Scientific Publishing Company, 1975.

68. Barella, A. e Manich, A. M. - The influence of the spinning process, yarn density and fibre properties on the hairiness of ring-spun and rotor-spun cotton yarns. *Journal of the Textile Institute*. 1988, 79(2), p. 189-197.
69. Mihn, Hua Van - Fagotage et pilosité du fil open-end. *L'Industrie Textile*. 1989, 1198, p. 53-55.
70. Uster Statistics 1989. *Uster News Bulletin*. 1989, 36.
71. Kleinhansl, Ernst - Test procedures in Spinning mills. *Textil Praxis International*. 1987, 42(11), p. II-V.
72. Herbert, Jacques J., Mangialardi, Gino e Jr, H. H. Ramey - Neps in cotton processing. *Textile Research Journal*. 1986, 56(2), p. 108-111.
73. Hembree, Joel F., Ethridge, Don E. e Neepor, Jarral T. - Market values of fiber properties in Southeastern textile mills. *Textile Research Journal*. 1986, 56(2), p. 140-144.
74. Files-Kahl, Norbert e Pfeffer-Hahn, Rolf - Data acquisition and data evaluation in the textile laboratory. *Textil Praxis International*. 1988, 43(1), p. XXI-XXIV.
75. Taylor, Robert A. - Cotton tenacity measurements with high speed instruments. *Textile Research Journal*. 1986, 56(2), p. 92-101.
76. Egbers, Gerhard - What does the textile industries expect from the testing of raw materials. *Textil Praxis International*. 1990, 45(4), p. XXII-XXIII.
77. Miles, Lewis - Bale manegement and cotton fibre testing. *Textile Month*. 1991, June, p. 39-47.
78. Backe, Everett E. - Effect of short fiber content in cotton on plant performance and quality. *Textile Research Journal*. 1986, 56(2), p. 112-115.
79. III, J. D. Bargerion - Preliminary investigation of the length measurement of cotton fibers with the Peyer Texlab System: comparability and repeatability. *Textile Research Journal*. 1986, 56(2), p. 121-123.
80. Hemstreet, J. M. e Krowicki, R. S. - Analysis of known fiber arrays by the Peyer Texlab System. *Textile Research Journal*. 1991, 61(4), p. 223-226.
81. A study of neps and their origin. *Textile Topics*. 1990, 18(6).

82. Farber, Christoph, Langheinrich, Dieter e Neuhaus, Ludwig - The importance of the trash and dust test for processing fine rotor yarns of high quality. *Melliand Textilberichte (English)*. 1991, 72(4), p. E99-E102.
83. Kleinhanst, E. - New testing equipment for measurement the hairiness of yarns. *Textil Praxis International*. 1985, 40(4), p. X-XI.
84. Barella, A. e Manich, A. M. - Influence of cotton properties on yarn hairiness. *Textile Research Journal*. 1989, 59(10), p. 632-633.
85. Barella, A., Egio, Alicia, Castro, Leoncis e Manich, A. M. - Considerations of the practical use of hairiness meters. *Melliand Textilberichte (English)*. 1989, 70(9), p. E274-E276.
86. Brinck, Angela ten e Topf, Wolfgang - Yarn hairiness measurement and evaluation. *Melliand Textilberichte (English)*. 1991, 71(7), p. E214-E216.
87. Measurement of yarn hairiness. *Textile Month*. 1988, March, p. 38-41, 46.
88. Meyer, Hans-Dietrich - Innovative textile measuring techniques. *Melliand Textilberichte (English)*. 1990, 72(7), p. E229-E230.
89. Harr, U. e Stohr, M. - Controlo de qualidade em Fiação off-line e on-line. Vila Nova de Famalicão, 1989.
90. Spiegel, Murray R. - Estatística 2ª Edição. 2ª ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985.
91. Chalfield, C. - Statistics for Scientist & Engineers. London: Chapman and Hall.
92. Murteira, Bento José Ferreira e Black, George Hubert Joseph - Estatística Descritiva. Lisboa: McGraw-Hill de Portugal, 1983.
93. Miró, Alberto B. - Estadística Aplicada. Barcelona: A. I. T. A., 1969.
94. Wonnacott, H. Thomas e Wonnacott, J. Ronald - Introductory statistics for business and economics. 2ª ed. John Wiley & Sons, Inc., 1990.
95. Norusis, Marija J. - SPSS/PC+. Chicago: SPSS Inc., 1985.
96. Draper, N. R. e Smith, H. - Applied regression analysis. John Wiley & Sons, Inc.

97. Coelho, Helder - A Exploração Artificial da Inteligência: A Longa Marcha.
98. Building Expert Systems. ed. F. Hayes-Roth, A. D. Waterman and P. B. Lenat. London: Addison Wesley Publ. Company, 1983.
99. Bryant, Nigel - Managing Expert Systems. Chichester: John Wiley & Sons, 1988.
100. Edmunds, Roberts A. - Guide to Expert Systems. New Jersey: Prentice Hall, 1988.
101. Nilsson, Ulf e Matuszynsky - Logic Programming and Prolog. Chichester: John Wiley & Sons, 1990.
102. Rauch-Hindin, Wendy B. - A Guide to Commercial Artificial Intelligence: fundamentals and real world applications. Prentice Hall, 1988.
103. Levine, Robert I., Drang, D. E. e Edelson, B. - Inteligência Artificial e Sistemas Especialistas - Aplicações e exemplos práticos. São Paulo: McGraw-Hill, 1988.
104. Lazarev, Gregory L. - Why Prolog? Justifying Logic Programming for Practical Applications. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1989.
105. Breton, Berenger Le - Systemes Experts en Gestion. Paris: Les Editions d'Organisation, 1989.
106. Brownston, Lee, Farnell, Robert, Kant, Elaine e Nancy, Nancy - Programming Experts Systems in OPS5. Reading: 1985.
107. Rich, Elaine - Artificial Intelligence. Auckland: MacGraw Hill, cop. 1983.
108. Lun, V. e MacLeod, I. M. - The development of a rule based expert system tool for engineering teaching and research. Eng. Appli. of AI. 1990, 3(June), p. 145-155.
109. Morgado, E. M. e Martins, J. P. - Representação do Conhecimento. Escola Avançada de Inteligência Artificial. Mira, 1988.
110. Clocksin, W. F. e Mellish, C. S. - Programming in Prolog. Springer Verlag, 1984.
111. Approaches to Knowledge Representation- An Introduction. ed. G. A. Ringland and D. A. Duce. Taunton: Research Studies Press Lda, 1988.
112. Readings in Artificial Intelligence & Databases. ed. J. Mylopoulos and M. L. Brodie. San Mateo: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1989.

113. Vasey, Phil - flex Expert System Toolkit. 3 ed. London: Logic Programming Associates Ltd, 1989.
114. Johns, Nicky - MacPROLOG 3.0. London: Logic Programming Associates Ltd, 1990.

ANEXOS

ANEXO I

Estudo estatístico

Parte A - Equações de regressão da rama em função das propriedades dos fios.

Parte B - Equações de regressão para a selecção das propriedades das ramas.

Parte C - Coeficientes de regressão padronizados das equações 1 a 9.

Parte D - Equações de regressão para a previsão das propriedades dos fios.

Parte E - Coeficientes de regressão padronizados das equações 10 a 18.

Nota: Em todas as tabelas deste anexo, nas células vazias deve ser considerado o valor 0.

Parte A - Equações de regressão da rama em função das propriedades dos fios.

Equação 1 - Instrumentos Individuais / Processo Convencional

IIc	x1	x2	x3	x4	w1	x5	w3
a	-8,2551	-0,9632	1,80423	38,1614	6,85242	6,12925	0,42422
y1							
y2	0,42182			0,26689	-0,2583	0,04945	
y3	0,6747						
y4	0,00623						
y5	0,38803	0,0984			-0,6426	0,00592	
y6	0,92025	0,88483				-0,3347	
y7	-0,4604				0,6479	-0,1105	
y8	1,11878		-0,0437	-0,3025			
y9			-8E-05	0,55026			
y10	-0,0102		0,00021	0,0039	0,00608	-0,001	
y11	0,00459	0,00039		0,00918	-0,0049	0,0052	
y12				0,00276			0,00185
e	0,96483	0,34983	0,0238	0,73737	1,50747	0,22497	1,28773
F	10,83	24,9	66,18	9,77	8,26	15,08	4,59
R2	0,73027	0,64006	0,82539	0,6005	0,50806	0,69875	0,09452

Equação 2 - Instrumentos Individuais / Processo OE1

IIOE1	x1	x2	x3	x4	w1	x5	w3
a	406,161	3,52801	1,74074	44,6412	11,097	5,26632	
y1	-77,186						
y2							
y3	1,7077				-1,8743		
y4	0,00696	-0,0023			-0,0066	0,00136	
y5			-0,0153				
y6		0,79638				-0,3287	
y7							
y8	-1,0305	-0,1386	-0,0385				
y9							
y10	0,02352		0,00074	0,0106	-0,021	0,00353	
y11	-0,0059	0,00059	-0,0001	-0,003	0,00549	-0,001	
y12		0,00191	-0,0002		0,00863	-0,0017	
e	1,43014	0,32576	0,02699	0,99727	1,73378	0,28745	
F	3,95	19,89	32,65	4,49	4,41	8,84	Ind.
R2	0,36634	0,70305	0,79536	0,16646	0,34412	0,51271	

Equação 3 - Instrumentos Individuais / Processo OE2

HIOE2	x1	x2	x3	x4	w1	x5	w3
a	-5605,8	797,217	54,6126	-2022,9	6179,11	8,30977	-14,395
y1	1170,97	166,454	-10,996	427,833	-1288,3		
y2	0,41239	0,08978	0,00664	0,22012			
y3		-0,2205					
y4	0,03419			0,01539	-0,0304	0,00267	0,0033
y5		0,1008	-0,0094		0,30575		
y6		0,91679			1,2009	-0,4453	
y7			0,00819				
y8		-0,1863	-0,0679	0,56011		-0,186	0,99702
y9							-0,0107
y10			0,00089		-0,0181	0,00567	
y11	-0,0027	0,00081	-0,0002	-0,0026		-0,0014	
y12		0,00468	-0,0004			-0,003	
e	1,11454	0,26166	0,03226	0,88671	1,53774	0,24907	1,23384
F	12,9	22,53	13,08	5,26	7,88	12,3	3,13
R2	0,60576	0,8221	0,7285	0,38496	0,48405	0,64286	0,17586

Equação 4 - Motion Control / Processo Convencional

MCC	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10
a	1,01017	2,98872	1,43251	90,3125	6,01771	99,5441	26,7448	-106,48	12,2644	141,176
y1										
y2	0,50177			0,17686	0,0442					
y3							-0,7899		-0,7128	-6,6729
y4	0,01068		0,00011				-0,003			
y5	0,81466				0,05869	-0,8239		2,21483		
y6	1,72356	0,37208	0,01943	-1,1003	-0,3096	2,00354	-0,9041		-0,9253	-6,2815
y7	-0,6542	0,0629		-0,3232	-0,11	1,28773		-3,7501	-0,3338	-2,9084
y8			-0,0335			-2,2533	-0,5579	8,73119		-2,4807
y9			-0,0009							
y10	-0,0046		0,00022	-0,0042	-0,0009	0,01383	0,00235	-0,0504		
y11	0,00389			0,00302	0,00047	-0,0085	-0,0014	0,03038	0,00067	0,02099
y12										0,01856
e	1,83988	0,28646	0,0256	1,18149	0,24212	3,04011	0,7315	7,34248	0,76593	9,88069
F	6,43	9,52	27,89	12,64	10,93	3,81	7,06	6,59	6,76	4,19
R2	0,54221	0,30686	0,77707	0,61239	0,62711	0,36938	0,52068	0,45164	0,39737	0,39186

Equação 5 - Motion Control / Processo OE1

MCOE1	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10
a	14,6837	6,69468	1,69589	87,449	5,67107	119,008	14,6024	-93,904	5,5826	64,3025
y1										
y2										
y3							-1,2058	9,99428		
y4		-0,0014		0,00609	0,00121	-0,0108		0,02767	0,00304	0,03197
y5			-0,0134			-0,8099				
y6	1,36787	0,37384		-1,2414	-0,3272	1,59849	-0,7784		-0,6543	-5,8485
y7			-0,0064	-0,3219	-0,0533					
y8		-0,1691	-0,0328			-2,5156		6,26116		
y9		0,00252				0,03415				
y10	0,02887		0,00071	0,0184	0,00405					
y11	-0,0067		-9E-05	-0,0045	-0,0011			-0,0111		
y12		0,00084	-0,0002	-0,0093	-0,0016				-0,0044	-0,0536
e	2,07609	0,27663	0,0277	1,3113	0,27208	2,91792	0,79243	7,68216	0,82458	10,7725
F	7,54	5,51	20,49	7,67	7,82	5,22	12,17	6,33	5,92	4,08
R2	0,3393	0,39607	0,7498	0,52891	0,53379	0,38315	0,35106	0,3705	0,28769	0,21747

Equação 6 - Motion Control / Processo OE2

MCOE2	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10
a	-7642,9	4,7838	1,88803	-2344,5	5,89584	6692,63	15,7267	-22452	4,38821	
y1	1596,69			507,895		-1368,9		4660,4		
y2	0,3817	0,0637				0,52827		-1,9251	-0,2519	
y3	-2,2368									
y4	0,03966			0,01946	2,63051	-0,0334		0,0808		
y5		0,09895	-0,0096	-0,4544					-0,2501	
y6		0,35808		-1,907	-0,409	1,48611	-0,827		-0,6051	
y7							-0,2823			
y8		-0,2079	-0,0485			-4,2589		11,2586	0,64493	
y9						0,02889				
y10	0,01421		0,00061	0,01507	0,00351			-0,0744		
y11				-0,0028	-0,0012	-0,0046		0,02747		
y12			-0,0003	-0,008	-0,0027				-0,007	
e	1,7111	0,25417	0,03466	1,22184	0,24259	2,15761	0,88101	6,34999	0,7898	
F	11,21	9,84	15,43	8,61	11,6	12,08	5,55	9,83	4,76	Ind.
R2	0,52061	0,47801	0,58935	0,60097	0,62937	0,67879	0,19789	0,5899	0,36163	

Equação 7 - Spinlab / Processo Convencional

SPC	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9
a	-18,744	2,73756	1,63783	71,271	6,73085	29,1368	26,6193	-44,694	1,61163
y1									
y2	0,54573			0,30823	0,05082	0,25857		-1,0957	0,12693
y3	1,13917	0,20881				1,43786	-0,6216		
y4	0,01305	0,00102					-0,0022		
y5	0,73796				0,06685				
y6	1,27002	0,32312	0,01673		-0,3923	3,44855	-0,8253	-3,8821	
y7	-0,9858				-0,1129	0,51523			
y8	1,33082		-0,0377			1,28713		4,86303	
y9		0,00033	-7E-05				-0,6073	-0,0218	0,00339
y10	-0,012		0,00191	-0,0033	-0,001	-0,0078	0,00295		-0,0036
y11	0,00654			0,00443	0,00042		-0,0018	0,01313	
y12						-0,0061		0,01495	
e	1,61232	0,2688	0,02842	2,87244	6,26487	2,32967	0,5901	6,2215	1,1598
F	8,86	7,27	30,32	3,78	11,86	6,42	8,8	7,68	3
R2	0,68902	0,415	0,74733	0,19896	0,64592	0,54188	0,57513	0,54165	0,17655

Equação 8 - Spinlab / Processo OE1

SPOE1	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9
a	569,784	2,0114	1,7278	376,403	5,72196	59,6454	16,6328	-4,7914	-260,05
y1	-110,46			89,0166					51,1329
y2									
y3	2,94396						-1,0274		
y4	0,01108				0,00146	-0,0076		0,01109	
y5			-0,0126	0,85928			-0,1267	3,00034	
y6		0,29056			-0,3991	3,28073	-0,8676		-0,4776
y7				-0,152					
y8	-1,5243	0,11175	-0,0367	1,56057					1,29141
y9									
y10	0,03933		0,00077	0,0248	0,00344				-0,0079
y11	-0,0096		-0,0001	-0,0075	-0,001				
y12			-0,0002	-0,0089	-0,0016				-0,0044
e	0,30537	0,27947	0,03104	2,50318	0,30843	2,56085	0,6055	7,483	1,07156
F	4,44	10,73	21,85	4,16	8,75	11,9	14,62	6,91	4,37
R2	0,39404	0,32283	0,72233	0,42158	0,51026	0,3459	0,49921	0,23485	0,34219

Equação 9 - Spinlab / ProcessoOE2

SPOE2	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9
a	9543,66	2,19673	2,00269	46,0037	6,46031	77,1376	1072,34	-14049	1651,35
y1	1991,78						-220,82	2916,13	-348
y2	0,41215	0,04182				0,61346		-1,431	
y3									
y4	0,0514			0,01411	0,00281			0,06494	
y5		0,05851	-0,0119		-0,0652				
y6		0,36094			-0,5065	2,51805	-0,8805	3,94225	
y7									
y8			-0,0534	1,93391		-1,7651		8,85265	1,21973
y9		-0,0015						-0,0898	-0,011
y10	0,01535		0,00086		0,00368		-0,0039		
y11			-9E-05		-0,0013			0,2176	-0,0031
y12			-0,0003		-0,0025		-0,0048		0,0079
e	1,79602	0,28233	0,03514	2,5841	0,26894	2,29293	0,71055	6,07486	1,03678
F	13,9	5,53	15,2	5,47	11,96	13,94	5,2	7,04	5,24
R2	0,56388	0,33958	0,64413	0,337	0,63649	0,48726	0,32604	0,55187	30,3842

Parte C - Coeficientes de regressão padronizados das equações 1 a 9.

Coeficientes de regressão padronizados Instrumentos Individuais e Processo Convencional

(Equação 1)

IIC	x1	x2	x3	x4	w1	x5	w3
y1							
y2	0,29919		0,47428		0,31291	0,24734	-0,5811
y3	0,14549	-0,2993				-0,1252	-0,4434
y4	0,285	-0,2161		-0,3387			-0,4957
y5			-0,2893				
y6							
y7							
y8			-1,075	-0,4674	-0,4119		
y9						-0,2449	
y10							
y11	-0,1484		0,44702				0,53311
y12							0,21622
x1		1,06688		1,3641	-0,6827		1,29237
x2	0,34668			-0,4477		-0,4697	-1,1261
x3				-0,388	-0,1693		
x4	0,26158	-0,4041	-0,3432				-0,3622
w1	-0,6962			0,7084		-0,6762	
x5		-0,9047			-0,5532		-0,92
w3		-0,3171			-0,1036	-0,2076	

Coefficientes de regressão padronizados Instrumentos Individuais e Processo OE1
(Equação 2)

III	x1	x2	x3	x4	w1	x5	w3
y1	-0,4187				-0,1776		
y2			0,34353				
y3							
y4	0,19161						
y5			-0,4943				
y6							
y7							
y8	-0,2762		-1,1468		-0,2059		
y9						0,33918	
y10			1,78988	0,76655		-0,3376	
y11			-0,9012	-0,7509			
y12			-0,2787				
x1		0,92964		1,46352	-0,7076		
x2	0,3264			-0,5056		-0,4174	-0,7521
x3				-0,2753		0,18641	
x4	0,30678	-0,3361	-0,1588		0,15075		
w1	-0,7328			0,81271		-0,7217	-1,0465
x5		-0,8806	0,29777		-0,4669		-1,1766
w3		-0,2985			-0,1397	-0,2054	

Coefficientes de regressão padronizados Instrumentos Individuais e Processo OE2
(Equação 3)

II2	x1	x2	x3	x4	w1	x5	w3
y1			-0,9158		-0,3231		
y2	0,24368		1,34511	-0,938	0,86725		
y3							
y4							
y5							
y6							
y7							
y8	-0,2765		-2,3882		-0,7334		
y9				0,38954			
y10			1,34884		0,37833		
y11			-0,4784		-0,3103		
y12			-0,9195	-0,6809			
x1		0,92964	-0,5423	1,48508	-0,8456		
x2	0,3178			-0,5039	0,14462	-0,4698	-0,7521
x3				-0,3947	-0,1289	0,13956	
x4	0,31377	-0,3361			0,1772		
w1	-0,7687		-0,7348	0,82962		-0,7305	-1,0465
x5		-0,8806			-0,3197		-1,1756
w3		-0,2985				-0,2363	

Coeficientes de regressão padronizados Motion Control e Processo Convencional
(Equação 4)

MCC	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10
y1										
y2	0,75211		-0,4335		0,10833	0,16597	0,53558			
y3		-0,1951								
y4		-0,2235						0,11292		-0,0814
y5						-0,0848				
y6			0,43853		-0,2113	0,16607		0,31589	0,21799	-0,1999
y7	-0,2463									
y8	-1,5558			-0,1868		-0,3875	-1,2073			
y9	0,65198	-0,611				0,26697	0,98325	0,28017		
y10										
y11		0,44456	0,71184	0,14492	0,20768		-0,4608		0,09044	-0,1475
y12	0,19495		-0,287	-0,1067	0,13399			-0,1359	-0,0941	0,18787
x1		0,64363	0,27795	0,2409	-0,143	-0,1417	-0,4184			-0,0913
x2	0,54568		-0,2404	-0,1534	0,09085	0,11765				
x3		-0,3074			0,18208			-0,1419	-0,1017	0,20473
x4	0,59314	-0,6908			0,73266	-0,4111		-0,4594	-0,5315	0,76071
x5	-0,5217		0,61437	0,90136		0,60661		0,90012	0,81601	-1,0649
x6	-0,9249	0,60086		-0,3983	0,63445		-0,8021	-0,9716	-0,7725	0,83429
x7	-0,3769				0,09262	-0,2041		-0,2435	-0,1202	0,15875
x8			-0,4547	-0,3424	0,64995	-0,6793	-0,7853		-0,6571	0,75893
x9			-0,5624	-0,9849	1,07219	-0,8767		-1,0034		1,2443
x10	-0,3823		0,55689	0,75029	-0,8331	0,54846	0,29977	0,81822	0,71932	

Coeficientes de regressão padronizados Motion Control e Processo OE1 (Equação 5)

MC1	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10
y1		0,55956				-0,231				
y2	0,42725				-0,2041			0,06443	0,2451	-0,3492
y3										
y4		-0,4588	-0,7127	-0,2213	0,187	-0,1292	-0,7213	-0,1375	-0,1063	0,15363
y5			-0,4683				-0,3832			
y6	0,58289		0,62924	0,30992	-0,6199	0,50827	0,97218	0,61424	0,49659	-0,7113
y7					-0,0609	0,05273		0,06477	0,05095	-0,0735
y8	0,41198	-0,6404	-0,719	-0,3262						
y9					0,12921		0,31855			
y10		0,80735	0,831	0,36488	-0,1873					
y11	-0,4264									
y12										
x1		0,71952		0,18059	0,11023	-0,1622	-0,4056	-0,135	-0,0957	0,12957
x2	0,6441		-0,2335	-0,2075		0,07264				
x3		-0,2317			0,09371	-0,0554	-0,5523	-0,0935	-0,0546	0,09254
x4	1,10588	-0,9727	0,47797		0,52314	-0,2226		-0,3446	-0,3824	0,60507
x5	-0,3253	0,37954		1,08217		0,6234	0,80558	0,77799	0,74343	-1,1184
x6	-1,0601	0,76541	-0,3468	-0,629	1,13114		-1,9759	-1,1295	-0,9431	1,35785
x7	-0,2667		-0,2858		0,12444	-0,1288		-0,171	-0,1109	0,19416
x8	-0,5295		-0,5176	-0,5968	0,98089	-0,8111	-1,9656		-0,8068	1,18927
x9				-1,1543	1,2496	-0,889	-1,0613	-1,065		1,46963
x10	-0,2356	0,25794		0,82426	-0,8077	0,5395	0,88933	0,68305	0,63945	

Coeficientes de regressão padronizados Motion Control e Processo OE2 (Equação 6)

MC2	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10
y1					-0,3913	0,34159	0,44259	0,58862	0,28011	-0,4255
y2	0,73588									
y3	-0,333				0,09444					0,12423
y4										
y5										
y6		0,57572		0,19079	-0,5982	0,59975		0,79178	0,40096	-0,6092
y7	-0,5227	0,57888		0,17189			-0,568			
y8			-1,8223		-0,3037	0,363		0,61033		-0,1559
y9							0,80327			
y10			1,15126		0,25811	-0,3479	-0,6543	-0,529		
y11					-0,2244	0,2127		0,31925	0,10172	-0,1111
y12			-0,6854					0,22747		
x1		0,58091		0,24616	0,09125	-0,1384	-0,5464	-0,1069		0,09353
x2	0,68195			-0,2234		0,08504	0,37914			
x3				0,11332						
x4	0,66145	-0,7249	0,38182		0,55418	-0,2613		-0,3095	-0,5042	0,69653
x5		0,28027		0,94132		0,73334	0,38822	0,83464	0,79525	-1,1258
x6	-0,5448	0,66385		-0,3889	0,83733		-1,4003	-0,9747	-0,7405	0,96352
x7	-0,5448	0,22515	-0,219		0,11421	-0,1518		-0,1723	-0,0692	0,15476
x8				-0,4518	0,7714	-0,8621	-1,1875		-0,6375	0,88814
x9				-0,9465	1,1445	-0,9802	-0,5862	-1,0017		1,37019
x10				0,72761	-0,79	0,61898	0,65504	0,67831	0,10172	

Coeficientes de regressão padronizados Spinlab e Processo Convencional (Equação 7)

SPC	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9
y1									
y2	0,79489					0,25575	0,44149	0,23926	
y3									
y4		0,46644		-0,3307					
y5									
y6	0,21682		0,1907	-0,3528	-0,4811				0,31892
y7			-0,2072						
y8	-1,5389	0,64364	-0,5608		0,69033	-0,3397		-0,3103	-0,3371
y9	0,5825				-0,5775				
y10							-0,5151		
y11			0,66632	-0,5906	-0,3405				0,46603
y12									
x1		0,49863	-0,1874		0,48076	-0,3672	-0,478	-0,3644	-0,4599
x2	0,21261			0,33906	-0,3189				
x3	-0,4821			0,65296	0,60428	-0,2306	-0,1232	-0,2762	-0,9598
x4		0,39908	0,2906				-0,0955		0,38812
x5	0,22534	-0,4586	0,30755						0,45317
x6	-1,2521			-0,3653			-1,1316	-1,1359	-1,0268
x7	-1,1406			-0,6278		-0,7926		-0,877	-0,5195
x8	-0,7085	-0,445	-0,2583			-0,8087	-0,8552		-1,119
x9	-0,4039		-0,482	0,55659	0,45322	-0,2332	-0,1828	-0,276	

Coeficientes de regressão padronizados Spinlab e Processo OE1 (Equação 8)

SP1	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9
y1									
y2									
y3		0,3212	-0,3216		0,28585	-0,1188	-0,2499	-0,1244	-0,3228
y4	0,44221					0,18125		0,21751	0,42341
y5		-0,4403		0,52238		0,10269		0,12702	
y6			0,19896		-0,5181				
y7									
y8			-0,3751	0,85677					
y9			-0,282		0,46262				-0,3223
y10			0,67357	-0,8205	-0,707				0,40348
y11									
y12	-0,559		-0,5464	0,51028	0,50301	-0,2817	-0,2663	-0,3187	-0,8077
x1		0,35568	-0,2801	0,27992	0,50301	-0,2912	-0,3869	-0,2795	-0,4686
x2	0,19792			0,20569	-0,3689				
x3	-0,485			0,94446	0,93577	-0,3203	-0,4264	-0,3801	-1,1662
x4		0,54776	0,22944						0,30054
x5	0,42267	-0,666	0,3583			0,08497	0,17485	0,10478	0,34563
x6	-1,5448		-0,6215				-1,1545	-0,9908	-1,1469
x7	-1,2909		-0,4881			-0,7404		-0,7414	-0,8653
x8	-1,3437		-0,7177			-0,9454	-1,0757		-1,2685
x9	-0,6337		-0,6167	0,57081	0,57536	-0,3621	-0,3928	-0,3981	

Coeficientes de regressão padronizados Spinlab e Processo OE2 (Equação 9)

SP2	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9
y1			-0,6692			-0,2386	-0,3109		
y2	1,60396		1,1272		-0,7173	0,61348	0,8006		
y3									
y4		-0,6299							
y5			-0,2316						
y6	0,46015			-0,6683	-0,8448				
y7	-0,592	-0,7006	-0,41	-0,8138		-0,2854	-0,354	-0,3201	-0,7964
y8	-1,1012		-1,3209			-0,5165	-0,6704		
y9				0,69605					
y10	0,70102		1,00509			0,3052	0,40494		
y11	-0,394		-0,5437	-0,5204		-0,1961	-0,2664		
y12			-0,815			-0,229	-0,28	-0,2944	-0,7561
x1			-0,5335		0,51008	-0,3065	-0,3926	-0,3095	-0,7183
x2					-0,2929	-0,0794	-0,111	-0,1016	
x3	-0,4608				0,47145	-0,2675	-0,3301	-0,2621	-0,768
x4									
x5	0,47585	-0,4051	0,33689			0,07355	0,09973	0,09423	0,48083
x6	-1,9128	-1,2484	-1,6339	-1,125			-1,2075	-1,0907	-1,8979
x7	-1,5299	-1,2611	-1,2896	-1,1272		-0,7847		-0,832	-1,3874
x8	-1,4046	-1,1795	-1,3555	-0,9627		-0,7967	-0,9633		-1,7087
x9	-0,4965		-0,6141		0,43684	-0,2379	-0,2804	-0,3283	

Parte E - Coeficientes de regressão padronizados das equações 10 a 18.

Coeficientes de regressão padronizados Fio Convencional e Instrumentos Individuais
(Equação 10)

CII	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8	y9	y10	y11	y12
x1		0,5232	0,9639	0,6367		0,7784		-0,136		-0,083		
x2			-0,409	-0,152	0,1764							
x3		0,5186	0,4314	0,2919	-0,417	0,8512		-0,316				-0,374
x4		0,1581			-0,171	0,307		-0,145		-0,071		
w1		0,378		0,4505				-0,128			-0,164	
x5			-1,018		0,264	-0,721	-0,428		-0,067			
w2						-0,473				0,05		
w3			-0,273									0,2772
y1												
y2				-1,043		-0,439		0,2689		0,2248	-0,271	0,6306
y3												
y4		-0,492	-0,435									0,5194
y5							0,6295					0,4028
y6		-0,255	0,5586				-0,347	0,0804		0,0487		
y7					0,3328			-0,088		-0,052		
y8		0,5696				0,5656	-0,41		0,9442	0,4142	-1,225	
y9					0,2348			0,5851		0,2153		
y10											2,2977	
y11				0,2082		-0,401	0,3412	0,1334		0,2631		-0,405
y12				0,163	0,2249							

Coeficientes de regressão padronizados Fio Convencional e Motion Control (Equação 11)

CMC	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8	y9	y10	y11	y12
x1		0,2934					-0,383	-0,152	0,2375	-0,112	-0,267	0,618
x2					0,2299		0,2989		-0,142	0,0671	0,2151	
x3		-0,158		0,3545		0,3925			-0,296	0,1482	0,4334	-0,69
x4		0,3025		-0,4	-0,679			-0,178		0,0726	0,6497	-0,595
x5		0,4192		-0,382	0,8771	-1,264					-0,586	1,343
x6		0,2409			-0,929	1,127	-0,423	-0,266	0,4148	-0,218		
x7		0,1627			-0,328			-0,153	0,1835	-0,057	-0,266	
x8		-0,411		1,3468	-0,541	1,4925			0,26	-0,2		-0,547
x9			-0,228		-0,901	1,1639	-0,518	-0,122			0,8234	-1,065
x10		0,2141		-0,287	0,7644	-0,855					-0,385	1,3585
y1												
y2			0,5953			0,6741		0,3146	-0,392	0,1601	0,28	-0,569
y3												
y4								-0,115				0,5161
y5							0,5334					
y6		0,2201		-0,362			-0,275			0,0518		
y7					0,4303				0,0829	-0,044	0,1568	
y8		1,1886		-1,329		-0,933	-0,508			0,4871		1,2951
y9					0,5616			0,4544		0,3723	0,6851	
y10									1,2475			
y11		0,1962			-0,385	-0,424	0,4782			0,1368		
y12		-0,134		0,2228				0,0476				

Coeficientes de regressão padronizados Fio OE1 e Motion Control (Equação 14)

IMC	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8	y9	y10	y11	y12
x1	-0,013	-0,01				0,2473					-0,086	
x2	0,012	0,0119		-0,097								0,2664
x3	0,0088		-0,388		-0,438	0,1762	-0,325	-0,135		0,1323		
x4						0,3557						-0,281
x5			0,2052	0,1412		-1,026			0,0829		-0,079	
x6					-0,701	1,5079			0,0936			
x7			-0,28		-0,405	0,1998						0,2379
x8	0,0261	0,0264			-0,523	1,3107		0,1257				0,503
x9						1,3988						-0,426
x10						-0,872						
y1		-0,983										
y2	-1			-0,705		-0,438						
y3	-0,014	-0,015		-0,18					-0,177		0,1387	
y4	-0,05	-0,05	-0,598		-0,482	0,2695		-0,221				1,0431
y5									0,1447			
y6				0,2861								-0,586
y7					-0,155	-0,101						-0,226
y8									0,5477	0,2998	-0,273	
y9			-0,413		0,6031			0,274		0,2256		
y10								0,4055	0,5137	0,4754		1,1371
y11	-0,043	-0,035	0,6372	0,2649	-0,335					0,4985		
y12		-0,013		0,1596			-0,381					

Coeficientes de regressão padronizados Fio OE1 e Spinlab (Equação 15)

1SP	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8	y9	y10	y11	y12
x1	-0,015	-0,014	-0,339			0,2387				0,0766	-0,088	-0,342
x2			0,2048		-0,175					-0,052		
x3	0,0171	0,0169	-0,947					-0,232		0,1748	-0,077	-0,91
x4					0,1918		-0,183	0,1182	0,1193			0,2128
x5			0,466	0,1772		-0,339				-0,071		0,1592
x6	-0,023	-0,045	-0,933		0,3381							-0,771
x7	-0,023	-0,022	-0,86			-0,242						-0,572
x8			-1,006		0,4758	-0,288						-0,869
x9	0,0236	0,023	-0,666		0,3003					0,055		-0,695
y1		-1,023										
y2	-0,965			-0,734	0,8244			0,3137				
y3				-0,175							0,1437	
y4	-0,05	-0,057				0,6101						0,7331
y5	-0,017	-0,016	0,286				0,4579					
y6	0,0207	0,0212		0,2561								
y7	0,0274	0,0267			0,4656				0,2072			
y8	-0,036	-0,033								0,3359	-0,401	
y9			-0,369				0,489				0,1856	
y10								0,8954	0,7614		1,2558	
y11	-0,04	-0,038	0,5633	0,2717	-0,38	-0,185		-0,232		0,5367		
y12	0,0202	0,0182	-0,568	0,1586	0,4238		-0,18			0,0566		

Coeficientes de regressão padronizados Fio OE2 e Instrumentos Individuais (Equação 16)

2II	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8	y9	y10	y11	y12
x1		0,351					-0,331			-0,142	0,3832	
x2	0,0745		-0,251			0,1988	0,198	-0,128	0,1808			0,2394
x3	-0,061	0,1327		-0,054	-0,357	0,1384		-0,233				
x4						0,0849						
w1		0,1661		-0,047		-0,181	-0,28	-0,085				-0,16
x5		-0,184				-0,348				0,2026	-0,476	-0,31
w2	0,1002	-0,13	-0,24	0,0764		-0,189				0,1038	-0,22	
w3												
y1			0,5738	-0,7			0,2738		-0,862	0,4682	-1,19	-1,431
y2												
y3					0,2089							
y4	-0,931					1,0691		-0,533				
y5		-0,081					0,1271					
y6		-0,496		0,1219			-0,449	0,2071	-0,377	0,3332	-0,662	-0,766
y7	0,1043				0,3224	-0,252					0,3022	
y8	-0,237	0,416		-0,199	0,2681	0,2527			0,3626	0,3685	-0,532	
y9	-0,133	0,1483						0,3159		0,3523	-0,318	-0,42
y10	0,2384	-0,238						0,3438	0,7469		1,3754	0,5117
y11	-0,19	0,1321	0,3468	-0,044		-0,146	0,2222		-0,187	0,4257		-0,426
y12	-0,212	-0,254				-0,334			-0,503	0,2627	-0,646	

Coeficientes de regressão padronizados Fio OE2 e Motion Control (Equação 17)

2MC	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8	y9	y10	y11	y12
x1	0,0884		-0,411	0,0596	0,3681							
x2						0,1406	0,1577					0,1506
x3	-0,086	0,0644				0,1256		-0,159		0,1133	-0,13	
x4				0,046	-0,59							
x5	-0,079		0,3434			-0,441		-0,056		0,0752	-0,165	-0,286
x6		0,0743		-0,057		0,4724						
x7												
x8	0,1203			-0,051	0,1865	0,5328		0,1681		-0,113	0,2117	0,3449
x9		0,0469	-0,334			0,4604						
x10			0,2872			-0,268						-0,073
y1		0,5468		-0,604			0,5288	-0,371	-0,755	0,5424	-1,075	-1,142
y2			0,8914	-0,263	-0,7		-0,641	0,6121	0,8608	-0,638	1,2968	
y3					0,3909							
y4	-0,898					0,9358						
y5			0,3551									
y6	-0,12	-0,13	0,3734	0,0992	-0,911		-0,558					-0,706
y7	0,0751	-0,166				-0,259		0,1581	0,1439	-0,179	0,3629	
y8	-0,585	0,4928					0,534			0,7531	-1,11	-0,686
y9		0,2298			0,342					0,3166	-0,372	
y10	0,3456	-0,471		-0,073		0,1864	-0,389	0,7208	0,9746		1,401	0,5513
y11	-0,223	0,382				-0,176	0,5458	-0,376	-0,395	0,498		-0,414
y12	-0,309					-0,29		-0,171		0,1817	-0,267	

Coeficientes de regressão padronizados Fio OE2 e Spinlab (Equação 18)

2SP	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8	y9	y10	y11	y12
x1	0,1415	0,1459	-0,162	0,1117		0,1691	-0,254	-0,118		0,1159	-0,276	
x2	-0,046			-0,045	0,1852		-0,16					
x3	-0,066	0,1438		-0,07	-0,401		-0,179	-0,153		0,1806	-0,317	-0,293
x4						-0,107						
x5	-0,053	-0,082		-0,035		-0,278						
x6		0,3653		-0,039			-0,888	-0,34		0,3196	-0,695	-0,234
x7		0,2749		-0,043		-0,152	-0,751	-0,297		0,2525	-0,601	-0,189
x8		0,2198				-0,15	-0,797	-0,185		0,2495	-0,461	-0,25
x9		0,0761					-0,213			0,0953	-0,188	-0,222
y1		0,4068	0,4919	-0,861		-0,554	0,4274		-0,755	0,4589	-0,832	-1,046
y2						-0,896		0,471	0,8608	-0,612	1,3588	
y3					0,229							
y4	-0,95											
y5			0,2127									
y6		-0,171					-0,338					-0,26
y7	0,0854				0,4647	-0,263			0,1439			
y8	-0,235	0,4824		-0,342		0,2713				0,6309	-1,221	
y9	-0,121	0,1693			0,3448			0,26		0,3343		-0,368
y10	0,2284	-0,42		0,1626				0,477	0,9746		1,191	0,3554
y11	-0,192	0,3357	0,2494	-0,153	-0,242		0,2585	-0,257	-0,395	0,4795		-0,224
y12	-0,209			-0,127		-0,6				0,1816	-0,281	

ANEXO II

Manual de utilização do SAF

(Sistema de Apoio à Fiação)

Este anexo constitui o manual do utilizador do SAF. O objectivo deste não é somente complementar o protótipo mas também para dar ao utilizador uma descrição da interface existente bem como o modo de o utilizar.

O protótipo foi implementado no ambiente Apple® Macintosh®, utilizando-se o FLEX ("shell") e o LPA Prolog 3.0.

Requisitos de funcionamento

Para utilizar o SAF são necessários os seguintes requisitos:

- Um computador Apple®Macintosh® com um disco duro e recomenda-se 8 MBytes de memória central.
- Deve ser utilizado o software do sistema Macintosh versão 6.0 ou superior.

Instalação

- É necessário instalar o Flex e o LPAProlog no disco duro.
- Todos os ficheiros necessários para executar o programa estão incluídos numa disquete chamada SAF. É recomendável copiar a pasta SAF para o disco duro.

Generalidades da interface com o utilizador

Assume-se que o utilizador se encontre familiarizado com este tipo de ambiente, dado que os princípios de interface deste programa são semelhantes aos utilizados geralmente em ambiente Macintosh.

Neste caso particular, o utilizador irá deparar com vários tipos de janelas diferentes.

As primeiras janelas apresentadas, são janelas do próprio programa (Flex), as quais são necessárias para a sua inicialização.

A partir daí as janelas que irão aparecer, são implementados em Flex ou nos casos onde tal não foi possível em LPA Prolog.

As diversas janelas em questão, ou são janelas de escolha de opções, onde o utilizador deverá seleccionar o pretendido, pelo posicionamento do cursor sobre a sua opção, seleccionado-a (pressionando o botão do rato) devendo de seguida fazer um *OK* ou um *Return* ou são janelas de entrada de valores, onde será necessário introduzir, os valores pretendidos seguindo-se tal como no caso anterior *OK* ou um *Return*. Além destas, dado que todos os valores introduzidos são validados, poderá aparecer uma janela quando são introduzidos valores que não fazem parte da gama aceite pelo programa (Janela 32). Se tal acontecer, dever-se-á fazer-se *OK* e seguidamente introduzir um novo valor. Além desta

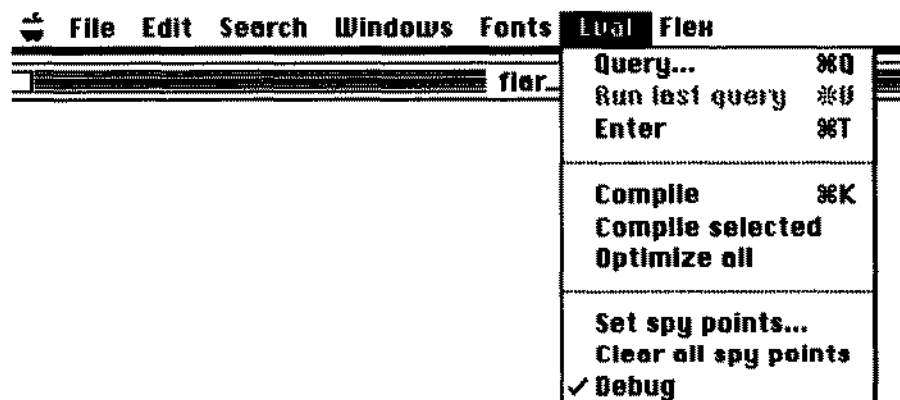
existe uma janela de explicação a qual é activada pelo escolha do *EXPLAIN* da janela de inserção de dados ou então das janelas de selecção (Janela 33).

Finalmente, aparecerá uma janela chamada *fiar_o*, na qual vão ser apresentados todos os valores resultantes das opções seleccionados pelo utilizador. Além destes valores aparecerá simultaneamente uma janela de espera (Janela 34), a qual é despoletada em todas as opções de impressão, permitindo visualizar sempre os valores. O premir o botão do rato sobre o *continuar*, faz com que apareça novamente o menú de selecção.

Arranque

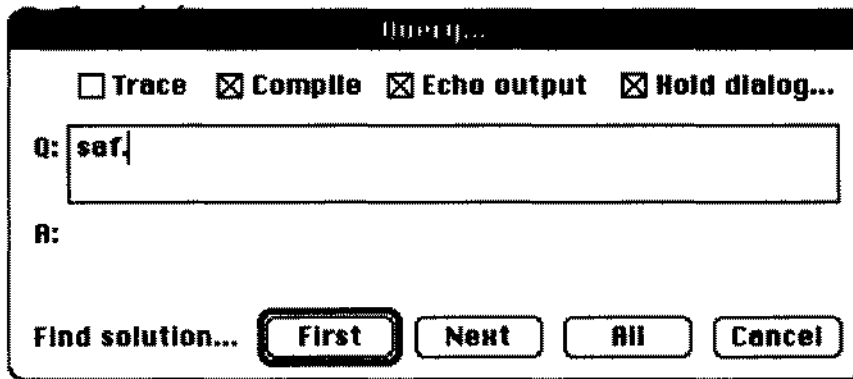
Para activar o programa é necessário abrir a pasta SAF, onde se encontram os ficheiros e premir o botão do rato duas vezes em sucessão rápida com o cursor posicionado sobre o *fiar_p*. A partir deste momento será efectuada a compilação, devendo o utilizador aguardar enquanto esta operação é efectuada.

Seguidamente, o operador deverá seleccionar na barra de menús a opção *Eval* e neste a opção *query* (Janela 1).



Janela 1

Depois desta selecção aparecerá uma janela, na qual deverá ser escrito a palavra *saf* (Janela 2) para que o programa carregue o ficheiro que contém informações sobre as características da rama, dos fios e dos fornecedores .



Janela 2

Após se ter efectuado a compilação do programa aparecerá no ecrã a janela *fiar_o*, e o menú principal (Janela 3), onde são colocadas seis opções ao utilizador.

- A de **simulação fio**, que permite determinar qual a rama apropriada para a produção de um determinado fio.

- A de **simulação rama**, selecção que deverá ser efectuada quando se pretender prever as características do fio produzidos por uma determinada rama.

- A do **processo de produção**, a qual irá permitir declarar inicialmente ou então alterar os processos numa nova simulação

- A do **metodo de controlo** que permite declarar inicialmente ou alterar qualquer um dos métodos escolhidos numa nova simulação.

- A **actualização da base de conhecimentos** para gravar qualquer alteração à base de conhecimentos que se queira preservar depois da utilização.

- A **saída** do programa.

Para exemplificar o funcionamento do programa, vai-se ilustrar a resolução de vários exemplos:

Problema1

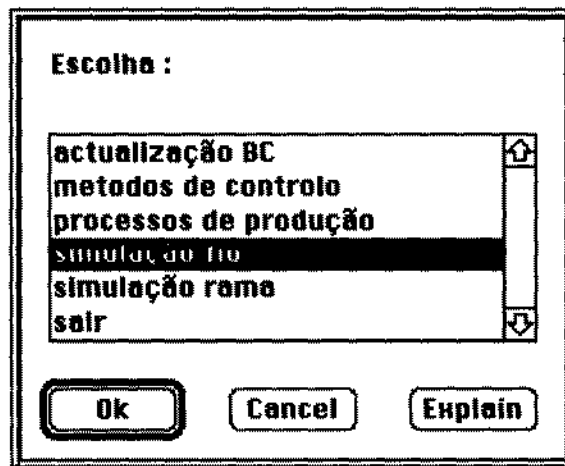
Pretende saber qual a rama a utilizar para produzir um fio convencional com as seguintes características:

Coefficiente de torção:	4
Número do fio	16
Coefficiente de variação do número:	1.5
Resistência:	534
Coefficiente de variação da resistência :	14.0
Alongamento:	5.2
Coefficiente de variação do alongamento :	12.9
CVUster:	21.0

Pontos finos .	344
Pontos Grossos:	669
Nepes:	56
Pilosidades:	1138

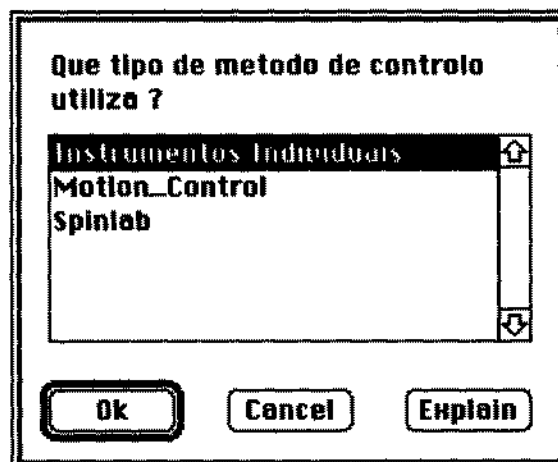
O controlo da rama é efectuada com Instrumentos Individuais. Todas as propriedades vão ser consideradas na pesquisa.

Passo 1 : Inicializou-se esta pesquisa pela **simulação fio**.

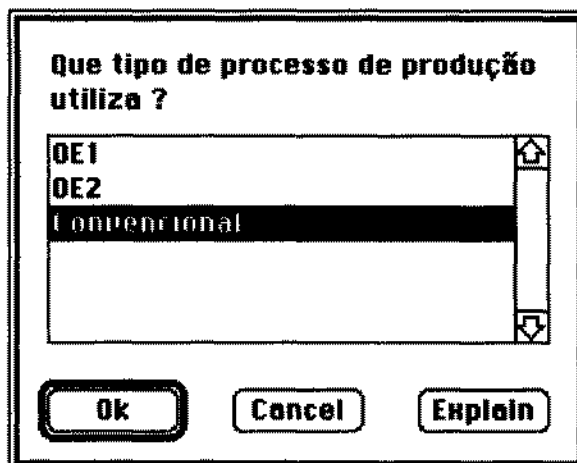


Janela 3

Passo 2 : Neste caso a opção foi a dos **Instrumentos Individuais**.

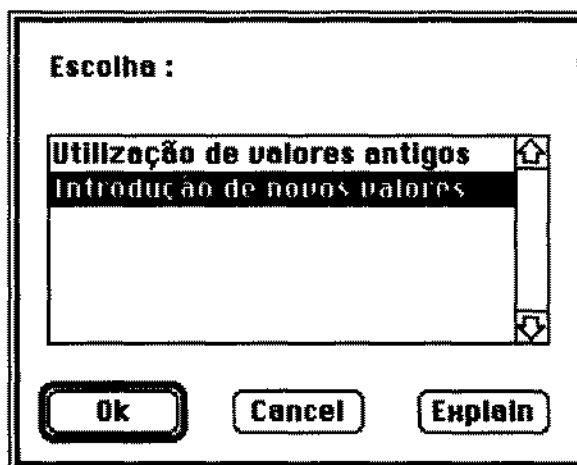


Janela 4

Passo 3 : Escolha do processo convencional

Janela 5

Passo 4 : Selecção de valores novos, isto é, pretende-se efectuar uma nova pesquisa com valores diferentes. Se optassemos pela utilização de valores antigos, o programa utilizaria os últimos valores introduzidos e que se encontram armazenados na base.



Janela 6

Dado que a escolha do utilizador foi **Introdução de novos valores**, a partir deste momento aparecerão as janelas de introdução dos diferentes valores.

Passo 5 : Introdução dos valores das propriedades do fio

Introduza por favor o valor do coeficiente de torção ?

Ok Cancel Explain

Janela 7

Introduza por favor o valor do numero do fio ?

Ok Cancel Explain

Janela 8

Introduza por favor o valor do CU do numero ?

Ok Cancel Explain

Janela 9

Introduza por favor o valor da resistência do fio ?

Ok Cancel Explain

Janela 10

Introduza por favor o valor do CU da resistência ?

Ok **Cancel** **Explain**

Janela 11

Introduza por favor o valor do CU Uster ?

Ok **Cancel** **Explain**

Janela 12

Introduza por favor o valor do CU do alongamento ?

Ok **Cancel** **Explain**

Janela 13

Introduza por favor o valor do alongamento ?

Ok **Cancel** **Explain**

Janela 14

Introduza por favor o valor dos pontos finos ?

344

Ok **Cancel** **Explain**

Janela 15

Introduza por favor o valor dos pontos grossos ?

669

Ok **Cancel** **Explain**

Janela 16

Introduza por favor o valor dos nepes ?

56

Ok **Cancel** **Explain**

Janela 17

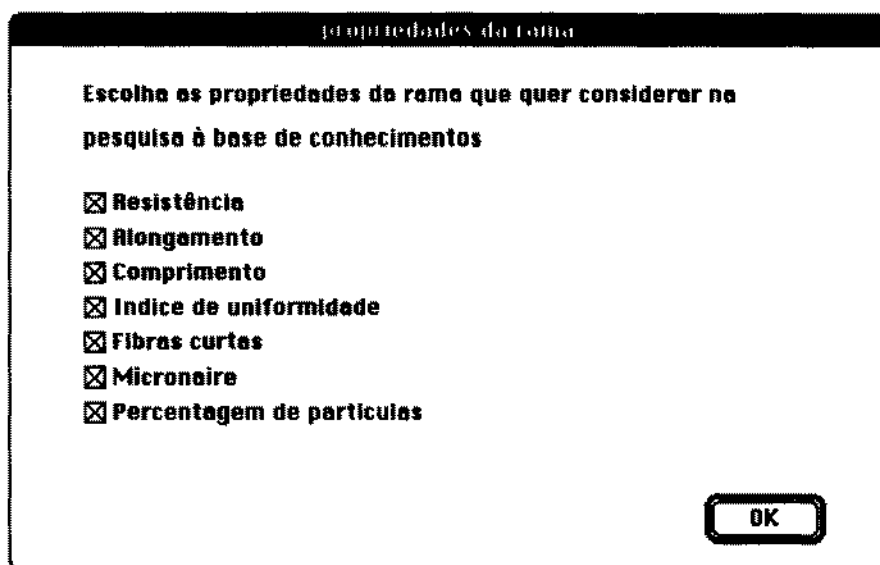
Introduza por favor o valor das pilosidades ?

1138

Ok **Cancel** **Explain**

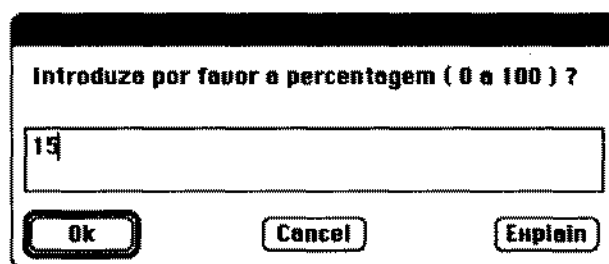
Janela 18

Passo 6 : Selecção das propriedades a pesquisar na base



Janela 19

Passo 7 : Introdução do valor percentual 15 relativo ao intervalo de procura na base de conhecimentos



Janela 20

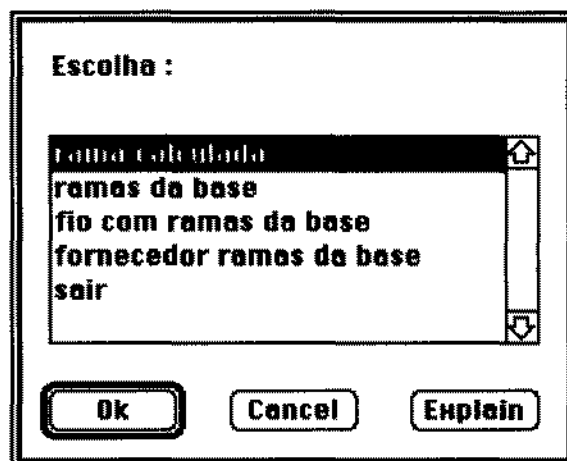
A partir deste momento o utilizador poderá deparar com dois tipos de saída. Neste caso, dado que foi encontrado uma rama na base que satisfaz as condições pretendidas, o utilizador deparará com a Janela 21. Neste caso aparecerão cinco opções:

- **Rama calculada**, se a opção for esta, aparecerá na janela *fiar_o*, as características que a rama deveria ter para produzir o fio com as características introduzidas.

- **Ramas da base**, neste caso, na janela *fiar_o*, aparecerá o nome da rama de algodão bem como as propriedades que se encontram associadas a esta.

- **Fio com ramas da base**, na janela *fiar_o*, serão mostradas as características do fio, se utilizarmos a rama existente na base.

- **Fornecedor ramas da base**, esta opção permite ao utilizador saber quais os fornecedores tem o tipo de rama escolhida, bem como o seu custo e prazo de entrega.
- **Saída**, ao seleccionarmos esta opção voltar-se-á ao menú principal



Janela 21

Deste modo, depois de se ter seleccionado a opção pretendida na janela *fiar_o* serão impressos os resultados obtidos para as diferentes opções:

Se a escolha for **rama calculada** aparecerá na janela *fiar_o*, a figura 1, onde se poderá observar os valores calculados, bem como as opções que foram anteriormente efectuadas nas Janelas 3, 4 e 5.

```
simulação_fio
Instrumentos Individuais
Convencional
```

Valores da rama calculados

Os valores da rama calculados, utilizando os Instrumentos Individuais,
são os seguintes:

resistência_fibra(cN/tex) =	23.92
alongamento(%) =	5.43
comprimento de fibra(") =	1.02
indice_uniformidade(%) =	45.13
fibras_curtas(%) =	6.80
micronaire(unidades) =	3.74
percentagem_de_particulas(%) =	2.30

Figura 1

A figura 2 visualiza, os resultados obtidos para a pesquisa de ramos da base. Nesta figura pode ser visualizado a informação sobre o algodão a utilizar para a produção do fio pretendido. Na janela de saída podem ser visualizados o tipo de algodão, a percentagem a que este foi encontrado bem como as propriedades do mesmo. As propriedades escolhidas para a pesquisa apresentam-se do lado esquerdo do janela com um **ON**, caso alguma desta não fosse a escolhida a impressão seria de **OFF** nas não selecionadas.

Propriedades das ramas		
Algodao = ii_@_P3774		
Com a percentagem pero = 15		
Os valores da rama encontrada são os seguintes:		
on	resistência_fibra =	22.46
on	alongamento =	5.33
on	comprimento de fibra =	1.04
on	indice_uniformidade =	43.20
on	fibras_curtas =	7.48
on	micronaire =	3.90
on	percentagem_de_particulas =	2.30

Figura 2

Se a escolha do menú for de Fio com rama da base, na janela de saída, Figura 3, aparecerão as características que o fio teria se a rama utilizada para o produzir fosse a existente na base.

Características do fio produzido	
Características do fio produzido com esta rama : ii_@_P3774	
alfane =	4.00
numero_do_fio(Ne) =	37.54
cvNe(%) =	7.95
resistência_fio(g) =	38.82
cvresistência(%) =	15.83
alongamento_fio(%) =	4.28
cvalongamento(%) =	13.59
cv_uster =	28.74
pontos_finos/1000m =	1728.28
pontos_grossos/1000m =	2870.66
nepes/1000m =	1493.09
pilosidades/100m =	1006.14

Figura 3

Se a selecção for a do **fornecedor**, na janela *fiar_o*, aparecerão os dados como o nome do algodão, qual o nome do fornecedor, o seu custo e o prazo de entrega do mesmo (Figura 4).

Algodão * Fornecedor
Algodao = ii_0_P3774
Fornecedor = DEF
Custo = 200
Prazo de entrega = 10

Figura 4

Finalmente, se a opção for **saída**, aparecerá a janela com o menú principal (Janela 3), a partir da qual se podem efectuar novas simulações.

Problema 2

Pretende-se saber quais as características da rama a utilizar para produzir um fio OE2, com as seguintes propriedades:

Coefficiente de torção:	4.79
Número do fio	22.13
Coefficiente de variação do número:	1.8
Resistência:	332
Coefficiente de variação da resistência :	14.6
Alongamento:	5.74
Coefficiente de variação do alongamento :	9.5
CV Uster:	17.18
Pontos finos .	52
Pontos Grossos:	111
Nepes:	82
Pilosidades:	166

O processo de controlo de rama utilizado é o Spinlab e a percentagem com que será efectuada a pesquisa é de 10%.

Dado que nos encontrarmos no menú principal, depois de termos efectuado a resolução do Problema 1, os passos serão os seguintes:

Passo 1 : Selecção de **metodos de controlo** (Janela 3)

Passo 2 : Escolha de **Spinlab** (Janela 4)

Passo 3 : Selecção de processos de produção (Janela 3)

Passo 4 : Escolha de OE2 (Janela 5)

Passo 5 : Selecção de Simulação fio (Janela 3)

Passo 6 : Selecção de novos valores (Janela 6)

Passo 7 : Introdução das características dos fios (Janelas 7-18)

Passo 8: Selecção das propriedades a pesquisar na base (Janela 19)

Passo 9: Introdução de 10 como percentagem de procura (Janela 20)

Neste caso e dado que não foi encontrada nenhuma rama com as características pretendidas, o utilizador deparará com os resultados impressos na figura 5.

```

simulação_fio
Spinlab
OE2
Não existe nenhuma rama nesta base capaz de produzir um fio com as características desejadas
Procura iniciada a 0 %
Procura finalizada a 10 %
=====
                          Valores da rama calculados
=====

Os valores da rama calculados, utilizando o Spinlab,
são os seguintes:

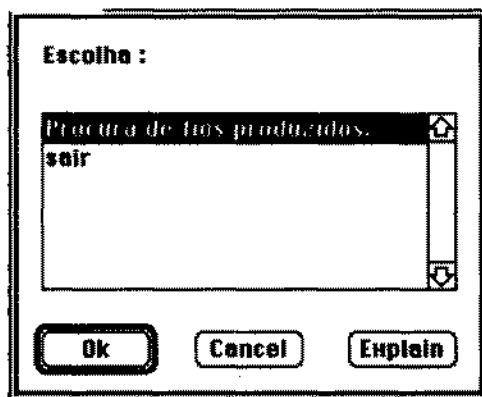
resistência_fibra(cN/tex) =      25.16
      alongamento(%) =        5.86
comprimento de fibra(") =      0.91
  indice_uniformidade(%) =     79.71
   micronaire(unidades) =      3.62
   reflectancia(%Rd) =       74.12
 grau_de_amarelo(Unid+b) =      8.45
      indice_de_cor1 =       37.79
      indice_de_cor2 =        4.54
=====

```

Figura 5

Depois de se premir o *continuar* aparecerá o Janela 22, no qual se pode seleccionar a procura de fios produzidos, isto é, será efectuada uma pesquisa na base onde se encontram as características dos fios bem como os algodões que o produziram de

modo a conseguir-se obter um fio já produzido com características semelhantes ao que foi introduzido pelo operador. Se for seleccionado o sair, o menú seguinte será o principal (Janela 3).



Janela 22

Ao seleccionarmos **procura de fios produzidos**, na janela *fiar_o* poderá visualizar-se a figura 6 ou 7.

Se não for encontrado na base nenhum fio com características semelhante ao introduzido, na janela *fiar_o* é impresso o que mostra a figura 6.

```
p fio
Não foi encontrado na BC nenhum fio.
```

Figura 6

Se ao fazer a pesquisa nos diferentes fios existentes na base, encontrar um fio, na janela de saída será impresso a rama que já produziu esse fio (figura 7).

```
p fio
-----
Rama
-----
Rama que já produziu fio com as características indicadas : sp_Daymaster1451u
Fio encontrado a uma percentagem de : 0
-----
```

Figura 7

A partir deste momento e depois de se fazer o **continuar**, estamos no menú principal (Janela 3).

Neste primeiro caso efectou-se uma simulação do fio, mas se o problema fosse o de determinar quais as propriedades do fio que se obteriam com a utilização de uma rama com as seguintes características:

Problema 3

O controlo da rama foi efectuado com Spinlab. As características obtidas foram as seguintes:

Resistência da fibra:	21.6
Alongamento da fibra :	5.6
Comprimento de fibra:	1.01
Índice de Uniformidade:	79
Micronaire:	3.60
Reflectância:	77.4
Grau de amarelo.:	9.8
Índice de cor1:	21
Índice de cor2:	3

Pretende-se determinar as características do fio, se o processo utilizado for o convencional..

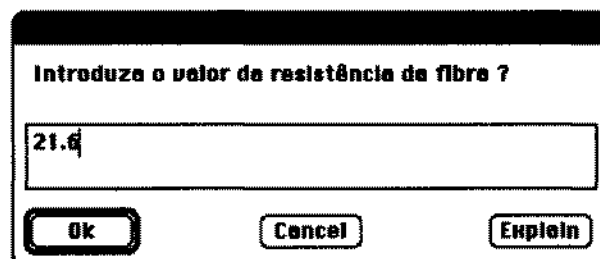
Passo 1 : Na Janela 3 escolha de **simulação rama**

Passo 2 : Na Janela 4, escolha de **Spinlab**

Passo 3 : Na Janela 5, escolha de **Convencional**

Passo 4 : Na Janela 6, escolha de **Introdução de novos valores**

Passo 5 : Introdução dos valores das características da rama de algodão, nas Janelas 23 a 31.



Introduza o valor da resistência da fibra ?

21.6

Ok Cancel Explic

Janela 23

Introduza o valor do alongamento da fibra ?

5.6

Ok **Cancel** **Explicar**

Janela 24

Introduza o valor do comprimento da fibra ?

1.01

Ok **Cancel** **Explicar**

Janela 25

Introduza o valor do índice de uniformidade da fibra ?

79

Ok **Cancel** **Explicar**

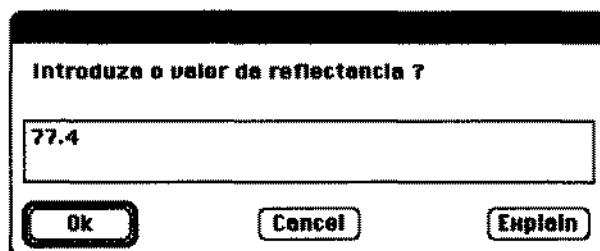
Janela 26

Introduza o valor do microneire da fibra ?

3.6

Ok **Cancel** **Explicar**

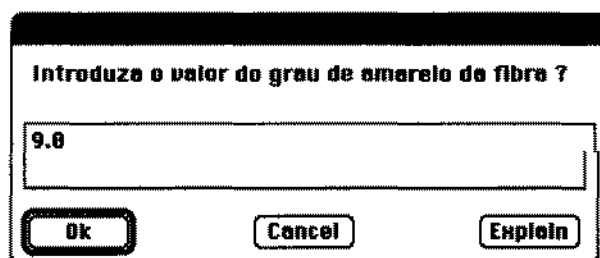
Janela 27



Introduza o valor da reflectancia ?

Ok Cancel Explain

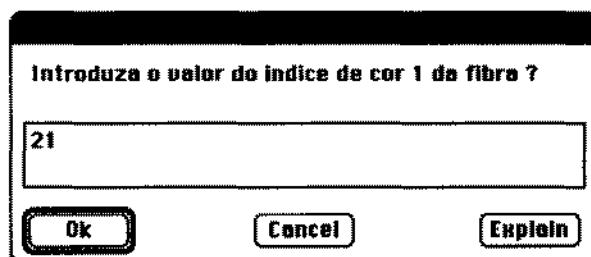
Janela 28



Introduza o valor do grau de amarelo da fibra ?

Ok Cancel Explain

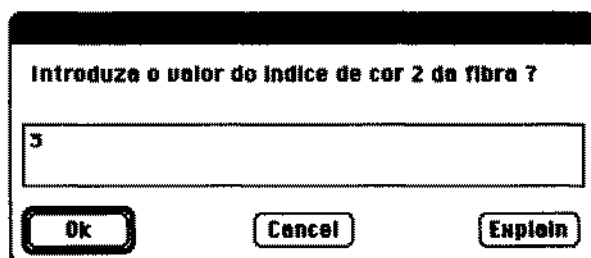
Janela 29



Introduza o valor do indice de cor 1 da fibra ?

Ok Cancel Explain

Janela 30



Introduza o valor do indice de cor 2 da fibra ?

Ok Cancel Explain

Janela 31

Após se terem introduzidos os valores, aparecerá na janela *fiar_o* as características do fio produzido com esta rama. (figura 8).

```

simulação_rama
Spinlab
Convencional
=====
Características do fio produzido
=====
Características do fio produzido com esta rama : valores_introduzidos_sp
      alfane =          4.00
    numero_do_fio(Ne) =    29.63
      cvNe(%) =          2.18
  resistência_fio(g) =   206.93
    cvresistência(%) =   15.91
  alongamento_fio(%) =    5.22
    cvalongamento(%) =   13.49
      cv_uster =         26.55
  pontos_finos/1000m =  1423.49
  pontos_grossos/1000m = 2028.88
      nepes/1000m =      692.93
  pilosidades/100m =   1110.39
=====

```

Figura 8

O carregar no **continuar**, faz com que o utilizador regresse ao menú principal (Janela 3).

Problema 4

Pretende-se saber quais as características do fio OE2, utilizando as características de rama do problema anterior.

Passo 1 : Na Janela 3 escolha de **Processo de produção**

Passo 2 : Na Janela 5, escolha de **OE2**

Passo 3 : Na Janela 3, escolha de **Simulação rama**

Passo 4 : Na Janela 6, escolha de **Utilização de valores antigos**

Após se ter percorrido estes passos, na janela *filar_o* aparecerá impresso os valores das características do fio OE2 (figura 9).

```

simulação_rama
Spinlab
OE2
valores_velhos_rama_sp
=====
Características do fio produzido
=====
Características do fio produzido com esta rama : valores_introduzidos_sp

      alfame =          4.79
numero_do_fio(Ne) =    24.88
      cvNe(%) =          1.61
resistência_fio(g) =   300.26
      cvresistência(%) =  11.12
alongamento_fio(%) =    5.16
      cvalongamento(%) =  10.39
      cv_uster =         16.28
pontos_finos/1000m =    60.94
pontos_grossos/1000m =  113.72
      nepes/1000m =     186.47
      pilosidades/100m =  147.00
=====

```

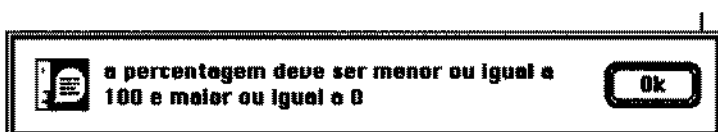
Figura 9

Tal como acontecia no caso anterior, depois de se carregar no **continuar**, o programa volta ao menú principal (Janela 3).

Finalmente apresentam-se outro tipos de janelas que o utilizador poderá deparar ao longo da execução do programa.



Janela 32



Janela 33



Janela 34