FERNANDO BARROS DE VASCONCELOS

**INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE REGULAGEM DE MÁQUINA NAS
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE MALHAS DE POLIAMIDA/ELASTANO**

Dissertação apresentada à Escola de Artes
Ciências e Humanidades (EACH) da
Universidade de São Paulo para obtenção do
título de Mestre em Ciências

Área de concentração: Têxtil e Moda

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Regina A. Sanches

São Paulo

2012

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte

CATALOGAÇÃO-NA-PUBLICAÇÃO

Biblioteca

Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo

Vasconcelos, Fernando Barros de

Influência dos parâmetros de regulação de máquina nas características físicas de malhas de poliamida-elastano / Fernando Barros de Vasconcelos ; orientadora Regina A. Sanches. – São Paulo, 2012.
150 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Têxtil e Moda, Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo.

1. Fios (Indústria têxtil) – Propriedades físicas. 2. Máquinas têxteis - Regulação. 3. Fibras têxteis. 4. Indústria têxtil - Produção. I. Sanches, Regina Aparecida, orient. II. Título.

CDD 22.ed. – 677.02862

Nome: VASCONCELOS, Fernando Barros de

Título: Influência dos parâmetros de regulação de máquina nas características físicas de malhas de poliamida/elastano

Dissertação apresentada à Escola de Artes
Ciências e Humanidades (EACH) da
Universidade de São Paulo para obtenção do
título de Mestre em Ciências

Área de concentração: Têxtil e Moda

Aprovado em: _____

Banca Examinadora

Prof. Dr.: _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr.: _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr.: _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho aos meus pais (in memoriam), minha esposa e minha filha.

AGRADECIMENTOS

Ao Artur Radzavicius pela ajuda na fabricação das amostras.

Ao Centro Universitário da FEI pelo uso dos laboratórios de malharia, físico e químico têxtil.

À Rhodia Poliamida pela doação dos fios de poliamida utilizados e ensaios realizados no Lafitex.

À minha filha Fernanda Gomes de Vasconcelos pela ajuda nos ensaios realizados na FEI.

À minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Regina Aparecida Sanches pela orientação e apoio durante o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

VASCONCELOS, F. B. **Influência dos parâmetros de regulação de máquina nas características físicas de malhas de poliamida/elastano.** 2012. 138 f. Dissertação (mestrado) - Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

O comportamento dinamométrico de malhas submetidas à tração é geralmente inadequado para atender aos padrões atuais de conforto e desempenho e, portanto, fibras elastoméricas são cada vez mais utilizadas em conjunto com algodão, viscose, poliamida e poliéster para conferir aos artigos um maior grau de alongamento e uma melhor recuperação elástica. Dessa forma as características desses produtos estão amplamente associadas ao fio de elastano e sua utilização. No entanto as relações entre a proporção de elastano, a alimentação de fio rígido e as propriedades físicas obtidas nas malhas é algo ainda pouco estudado. O objetivo desse trabalho é estudar e definir essas relações através do planejamento de experimentos em malhas monofrontura de poliamida/elastano. Foram alteradas condições de alimentação do fio de poliamida (LFA) e tensão do elastano e, após relaxamento, medidas várias propriedades das malhas produzidas como gramatura, largura, densidade, espessura, porcentagem de elastano, permeabilidade ao vapor, alongamento e elasticidade. Foi possível observar como a tensão de elastano é preponderante na densidade e na porcentagem de elastano, enquanto o LFA da poliamida é predominante na espessura e alongamento da malha, enquanto a largura, a elasticidade e a permeabilidade ao vapor não sofrem influências significativas de nenhum dos dois fatores analisados.

Palavras-chave: malhas com elastano, regulação de máquina circular, propriedades físicas de malhas, poliamida

ABSTRACT

VASCONCELOS, F. B. **Influence of machine parameters on the physical properties of polyamide/elastane single jersey fabrics.** 2012. 138 f. Dissertação (mestrado) - Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

The dynamometric behavior of knits subjected to traction is generally inadequate to meet current standards of comfort and performance and, therefore, elastomeric fibers are increasingly used in combination with cotton, viscose, polyamide and polyester to give to these articles a greater degree of elongation and better elastic recovery. Thus the characteristics of these products are widely associated with elastane yarn. However the relationship between the elastic yarn rate, the loop length and the physical properties obtained in the jersey knit is somewhat poorly studied. The aim of this work is to study and define these relationships using design of experiments in polyamide / elastane single jersey knits. The polyamide feed (LFA) and elastane tension were changed and, after relaxation, measurements of jersey properties were done, such as mass per unit area, width, density, thickness, percentage of elastane, water vapor permeability, elongation and elasticity. It was possible to observe how elastane tension is leading to density and percentage of spandex, while polyamide LFA is predominant in the thickness and elongation, since the width, elasticity and vapor permeability are not influenced by either of the two significant factors

Keywords: knitted fabrics with elastane yarn, adjustment of circular machine, single jersey physical properties, polyamide

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVO	19
1.2 JUSTIFICATIVA	20
1.3 PROBLEMA	21
1.4 HIPÓTESE	21
1.5 METODOLOGIA	21
1.6 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	22
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 FIBRAS TÊXTEIS	23
2.1.1 Fibras Naturais	25
2.1.2 Fibras manufaturadas	25
2.2 POLIAMIDA	26
2.2.1 Fabricação da Poliamida: Polimerização e Fiação	27
2.2.2 Texturização da Poliamida	30
2.2.3 Apresentação no mercado	34
2.2.4 Morfologia da poliamida	34
2.2.5 Propriedades da Poliamida	36
2.3 ELASTANO (SPANDEX)	38
2.3.1 Polimerização do elastano	39
2.3.2 Fiação do elastano	41
2.4 MICROFIBRAS	44
2.4.1 História da microfibra	44
2.4.2 Fabricação das microfibras	46
2.4.3 Propriedades das microfibras	46
2.5 PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS	49
2.5.1 Diretrizes para o Planejamento de Experimentos	53
2.5.2 Planejamento fatorial	54
3. MALHARIA	59
3.1 HISTÓRIA DA MALHARIA	62
3.2 ELEMENTOS FORMADORES DA MALHA	64
3.2.1 Agulhas	64

3.2.2	Platinas.....	65
3.2.3	Guia-fios	66
3.3	A FORMAÇÃO DA MALHA.....	66
3.4	GEOMETRIA DA MALHA	67
3.4.1	LFA (quantidade de fio absorvido).....	67
3.4.2	Fator de Cobertura	68
3.4.3	Fatores de concentração da malha (K).....	69
3.4.4	A malha em três dimensões	71
3.5	DINÂMICA DE FORMAÇÃO DA MALHA.....	71
3.5.1	Variáveis da tensão do fio	73
3.5.2	Sistema de alimentação negativa	74
3.5.3	Sistema de alimentação positiva	74
3.5.4	Regulagens básicas das máquinas circulares.....	77
3.6	MALHAS COM ELASTANO	78
3.6.1	Alimentação positiva para elastano	81
3.6.2	Regulagens básicas nas máquinas com elastano	82
3.7	ESTUDOS EM MALHAS VANISADAS COM ELASTANO	84
3.7.1	Estudo de Marmarali (2003)	84
3.7.2	Estudo de Abdessalem et al (2009).....	85
3.7.3	Estudo de Tezel e Kavusturan (2008)	86
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	89
4.1	FIOS UTILIZADOS.....	91
4.2	PRODUÇÃO DAS MALHAS	91
4.3	ENSAIOS EFETUADOS NAS MALHAS	93
4.3.1	Gramatura	93
4.3.2	Largura	94
4.3.3	Densidade	94
4.3.4	Espessura.....	94
4.3.5	Alongamento e Elasticidade	95
4.3.6	Porcentagem de elastano.....	95
4.3.7	Permeabilidade ao vapor de água	96
4.4	ANÁLISE DOS DADOS.....	97
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	98
5.1	GRAMATURA	99

5.2	LARGURA.....	100
5.3	DENSIDADE	102
5.4	ESPESSURA	105
5.5	PORCENTAGEM DE ELASTANO	109
5.6	ALONGAMENTO	111
5.7	ELASTICIDADE	114
5.8	PERMEABILIDADE AO VAPOR	116
5.9	RESUMO DAS ANÁLISES.....	118
6.	CONCLUSÃO	124
	REFERÊNCIAS.....	127
	APÊNDICE A – RESULTADOS DOS ENSAIOS.....	140
	APÊNDICE B – RESULTADOS DO MINITAB	154

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Requisitos de elasticidade.....	17
Figura 1.2 – Produção regional de elastano 1994 - 2004.....	18
Figura 1.3 – Capacidade instalada de elastano por região 1995 - 2009	18
Figura 2.1 – Produção de poliamida 6.6.....	27
Figura 2.2 – Produção de poliamida 6.....	28
Figura 2.3 – Moléculas de poliamida 6 e 6.6.....	28
Figura 2.4 – Fiação por fusão de poliamida	29
Figura 2.5 – Tipos de fiação por fusão	30
Figura 2.6 – Fiação POY + Texturização	31
Figura 2.7 – Texturização FT	34
Figura 2.8 – Microscopia da poliamida.....	35
Figura 2.9 – Seções transversais	35
Figura 2.10 – Maticidade e seções transversais da poliamida	36
Figura 2.11 – Comportamento dinamométrico de elastano de várias marcas .	38
Figura 2.12 – Formação do segmento flexível da molécula de elastano.....	40
Figura 2.13 – Formação de irregularidades na molécula de elastano.....	40
Figura 2.14 – Início do segmento rígido da molécula de elastano.....	41
Figura 2.15 – Formação de irregularidades na molécula de elastano.....	41
Figura 2.16 – Fiação a seco do elastano	42
Figura 2.17 – Microscopia do elastano.....	43
Figura 2.18 –Estrutura molecular do elastano sob tensão	43
Figura 2.19 – Comparação dos filamentos fio standard x microfibra.....	44
Figura 2.20 – Gráfico comparativo de diâmetro das fibras	46
Figura 2.21 – Fio standard e microfibra de poliamida	47
Figura 2.22 – Relação título x diâmetro e superfície específica das microfibras	47
Figura 2.23 – Características das microfibras	49
Figura 2.24 – Entradas e saídas do processo	52
Figura 2.25 – Efeito do fator A.....	55
Figura 2.26 – Efeito do fator B.....	55
Figura 2.27 – Efeito da interação AB.....	56
Figura 2.28 – Gráfico de efeitos	56

Figura 2.29 – Gráfico de interações	57
Figura 2.30 – ANOVA.....	57
Figura 2.31 – Planejamento fatorial 2^2 com pontos centrais	58
Figura 3.1– Estrutura comparativa de tecido plano e malha	59
Figura 3.2 – Malha de trama	60
Figura 3.3 – Malha de urdume	60
Figura 3.4 – Tipos de malharia de trama.....	62
Figura 3.5 – Primeiro tear de malha manual	62
Figura 3.6 – Agulha de lingueta.....	65
Figura 3.7 – Formação da malha em maquina circular	66
Figura 3.8 – meia malha ou jérsei	67
Figura 3.9 – LFA (cm/malha).....	68
Figura 3.10 – Diferentes fatores de cobertura	69
Figura 3.11 – Gramatura em função do LFA e do titulo do fio.....	70
Figura 3.12 – Largura em função do LFA e do titulo do fio	70
Figura 3.13 – Imagem tridimensional da malha.....	71
Figura 3.14 – Representação esquemática do percurso do fio na formação da laçada.....	72
Figura 3.15 – Tensor	74
Figura 3.16 – Percurso do fio na maquina circular	75
Figura 3.17 – Alimentação positiva por fitas.....	75
Figura 3.18 – Alimentador positivo	76
Figura 3.19 – Controle de velocidade de alimentação do fio.....	76
Figura 3.20 – Controle de tensão do fio	77
Figura 3.21 – Principais regulagens de maquina circular	78
Figura 3.22 – Malha vanisada com elastano	79
Figura 3.23 – Alimentação do elastano em máquina circular	79
Figura 3.24 – Representação do vanisado em meia malha	80
Figura 3.25 – Meia malha de poliamida com elastano, direito e avesso	80
Figura 3.26 – Malhas com elastano	81
Figura 3.27 – Maquina circular com elastano.....	81
Figura 3.28 – Alimentador positivo para elastano	82
Figura 3.29 – Principais regulagens de maquina circular com elastano.....	83
Figura 3.30 – Resultados experimentais	85

Figura 3.31 – Resultados experimentais	86
Figura 3.32 – SNK ranking para ANOVA de três fatores.....	87
Figura 4.1 – Fatores e respostas.....	89
Figura 4.2 – Máquina Mayer Relanit	92
Figura 4.3 – Aparelho Shirley Water Vapour Permeability Tester	96
Figura 4.4 – Gráfico para calculo da taxa de transmissão de vapor.....	97
Figura 5.1 – Planejamento fatorial MINITAB	98
Figura 5.2 – Gráficos de efeitos e interação - gramatura	99
Figura 5.3 – Gráfico de superfície – Gramatura x LFA PA; Tensão EL.....	100
Figura 5.4 – Gráficos de efeitos e interação - largura	101
Figura 5.5 – Gráfico de superfície – Largura x LFA PA; Tensão EL.....	102
Figura 5.6 – Gráficos de efeitos e interação - densidade	103
Figura 5.7 – Gráfico de superfície – Densidade (malhas/cm ²) x LFA PA; Tensão EL.....	104
Figura 5.8 – correlação linear entre gramatura e densidade	104
Figura 5.9 – Regressão linear para gramatura x malhas/cm ²	105
Figura 5.10 – Gráficos de efeitos e interação - espessura	106
Figura 5.11 – Gráfico de superfície – Espessura x LFA PA; Tensão EL	106
Figura 5.12 – correlação linear entre gramatura e espessura	107
Figura 5.13 – Regressão linear para gramatura x espessura.....	107
Figura 5.14 – as três dimensões da malha	108
Figura 5.15 – variação de LFA em malha sem elastano	108
Figura 5.16 – comparativo de densidade em malhas com e sem elastano	109
Figura 5.17 – variação de LFA em malha com elastano	109
Figura 5.18 – Gráficos de efeitos e interação - % de elastano	110
Figura 5.19 – Gráfico de superfície – % Elastano x LFA PA; Tensão EL.....	111
Figura 5.20 – Gráficos de efeitos e interação – alongamento na largura	112
Figura 5.21 – Gráficos de efeitos e interação – alongamento no comprimento	112
Figura 5.22 – Gráfico de superfície – alongamento na largura x LFA PA; Tensão EL.....	113
Figura 5.23 – Gráfico de superfície – alongamento no comprimento x LFA PA; Tensão EL.....	113
Figura 5.24 – Gráficos de efeitos e interação – elasticidade na largura	115

Figura 5.25 – Gráficos de efeitos e interação – elasticidade no comprimento	115
Figura 5.26 – Gráfico de superfície – elasticidade na largura x LFA PA; Tensão EL.....	116
Figura 5.27 – Gráficos de efeitos e interação – permeabilidade ao vapor	117
Figura 5.28 – Gráfico de sobreposição de superfícies de resposta.....	121
Figura 5.29 – Gráfico de sobreposição de superfícies de resposta.....	122

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Comparação entre as propriedades das poliamidas 6 e 6.6	37
Tabela 2.2 – Título dos filamentos	45
Tabela 2.3 – Finura de algumas fibras	45
Tabela 2.4 – Propriedade físicas dos fios de microfibras	48
Tabela 4.1 – Fatores e níveis dos ensaios	90
Tabela 4.2 – Valores de LFA.....	90
Tabela 4.3 – Planejamento dos ensaios	91
Tabela 4.4 – Regulagens da máquina circular	92
Tabela 4.5 – Processo de relaxamento.....	93
Tabela 5.1 – Valor p para curvatura	98
Tabela 5.2 – Resultados de gramatura	99
Tabela 5.3 – Resultados de largura tubular.....	101
Tabela 5.4 – Resultados de densidade (malhas/cm ²)	103
Tabela 5.5 – Resultados de espessura	105
Tabela 5.6 – Resultados de % de Elastano.....	110
Tabela 5.7 – Resultados de alongamento	111
Tabela 5.8 – Resultados de elasticidade.....	114
Tabela 5.9 – Resultados de permeabilidade ao vapor	117
Tabela 5.10 – Resumo dos efeitos principais codificados	118
Tabela 5.11 – Resumo dos resultados.....	119
Tabela 5.12 – Resultados do ensaio de validação	123

INTRODUÇÃO

Segundo Bartels (2005), o conforto têxtil apoia-se em três eixos: elasticidade, regulação térmica e toque.

A diferença entre a elasticidade da pele e a pouca elasticidade dos tecidos convencionais resulta em restrição de movimento e consequente perda de conforto (VOYCE ET AL, 2005).

Os tecidos com elasticidade podem ser fabricados utilizando-se os seguintes métodos:

- Fibra com características de alongamento, como é o caso da borracha e dos elastômeros sintéticos, devido à geometria da cadeia molecular dessas fibras.
- Processamento do fio, como as ondulações do fio obtidas por meios químicos ou térmicos, assim como o método de texturização ou Falsa Torção.
- Estrutura do tecido, como por exemplo, a sua fabricação em malharia circular.
- Acabamento, modificando-se a estrutura do tecido por compactação, adição de silicone elástico ou aplicação de laminados elásticos.

Segundo Voyce et al (2005), movimentos corporais simples, como dobrar os cotovelos ou joelhos fazem com que a pele se estique em até 50% . Movimentos extenuantes envolvidos na prática de esportes ativos exigem esticar ainda mais. A diferença dramática entre a elasticidade da pele e a falta de elasticidade dos tecidos convencionais resulta em restrições de movimentos para o atleta e consequente perda de desempenho.

A figura 1.1 mostra os requisitos de elasticidade que devem ser atendidos minimamente pelo artigo têxtil para acompanhar alguns movimentos do corpo.

Figura 1.1 – Requisitos de elasticidade

Fonte: Voyce et al (2005)

O comportamento dinamométrico de malhas submetidas à tração é geralmente inadequado para atender aos padrões atuais de conforto e desempenho e, portanto, fibras elastoméricas são cada vez mais utilizadas em conjunto com algodão, viscose, poliamida e poliéster para conferir aos artigos um maior grau de alongamento e uma melhor recuperação elástica (ABDESSALEM ET AL, 2009). O elastano, mesmo quando aplicado em pequenas quantidades, proporciona a elasticidade necessária para que uma peça de vestuário possa responder a cada movimento do corpo e retornar ao seu tamanho e forma originais.

Segundo Yakartepe et al (1999), o uso de elastano na malharia circular permitiu a produção de tecidos que se moldam melhor no corpo como uma segunda pele e mantêm sua modelagem sem deformações ao longo da vida do produto.

Atualmente é cada vez maior o número de artigos contendo elastano nas coleções de moda feminina e masculina, artigos esportivos e lingerie devido aos atributos citados acima e também à diminuição do preço do fio de elastano provocada principalmente pelo aumento do número de fabricantes (sobretudo na Ásia) e, conseqüentemente, da concorrência no setor.

Conforme o relatório Saurer - The fiber year (2005) a produção mundial de elastano teve um crescimento na faixa de 20% ao ano em dez anos passando de 69000 ton em 1994 para 423600 ton em 2004 e tem atualmente uma capacidade instalada em torno de 600000 ton /ano.

Figura 1.2 – Produção regional de elastano 1994 - 2004

Fonte: The fiber year (2005)

Segundo o relatório, esse forte aumento de capacidade resultou em drástica diminuição nos preços o que fez com que o elastano aumentasse sua participação no vestuário casual. As principais áreas de utilização são: roupa esportiva, meias, trajes de banho, lingerie e produtos de moda feminina. Segundo a Textile Intelligence (2011), boa parte desse crescimento deveu-se à sua utilização na malharia circular cuja demanda continuará aumentando fortemente.

O relatório Oerlikon - The fiber year (2010) mostra a evolução da capacidade instalada do elastano de 1995 a 2009 por região e como ela continua a crescer, sobretudo na China, a despeito da crise mundial de 2008.

Spandex Installed Capacity

Figura 1.3 – Capacidade instalada de elastano por região 1995 - 2009

Fonte: The fiber year (2010)

Independentemente do processo de fabricação do tecido, o elastano é sempre utilizado em conjunto com outra fibra, e nunca individualmente. De acordo com Marmarali (2003) há duas formas diferentes de utilização do elastano em máquinas circulares: com elastano nú ou recoberto. No caso de fios recobertos o elastano é envolvido por outro tipo de fio ou fibra conforme o processo de recobrimento. Esse tipo de fio é pouco utilizado em máquinas circulares de grande diâmetro, limitando-se basicamente àquelas que não permitem a utilização de um sistema de alimentação positiva adequado pois seu preço é alto comparativamente à alternativa do elastano nú e a relação custo benefício não é compensatória.

Dessa forma o sistema que impera na grande maioria das malhas circulares é o da utilização de elastano nu alimentado junto com outro fio (chamado fio rígido) de forma a estabelecer na formação da malha um processo de vanisado. (SPENCER, 2001)

Segundo Vasconcelos e Gasi (2006) as principais malhas com elastano vanisado produzidos em malharia circular são:

- Cotton Lycra®¹
- Supplex®¹
- Amni®²
- Visco-Lycra®
- Poliéster Lycra®
- Malhas finas

1.1 OBJETIVO

O objetivo desse trabalho é de estudar e definir as relações entre os principais parâmetros de regulação de malhas vanisadas de poliamida e elastano (alimentação da poliamida e tensão do elastano) nas características básicas da malha.

¹ LYCRA® e SUPPLEX® são marcas registradas da INVISTA S.A.

² AMNI® é marca registrada da RHODIA POLIAMIDA E ESPECIALIDADES LTDA.

1.2 JUSTIFICATIVA

Vários estudos desde os anos 50 vêm analisando o comportamento das estruturas de meia malha de algodão como os trabalhos pioneiros de Doyle (1953), Munden (1960) e Knapton (1975). Ao longo dos anos vários autores seguiram estudando o tema tanto para fios de algodão como, mais recentemente, para fios sintéticos e, graças a esses trabalhos, temos bem claras as relações entre a alimentação de fio (LFA) e a características das malhas obtidas para vários artigos produzidos em estrutura meia malha. No entanto, apesar do enorme crescimento na utilização de elastano conforme visto anteriormente, estudos que tratam especificamente da relação entre proporção de elastano, alimentação do fio rígido e características da malha são, ainda hoje, bastante raros.

Um dos primeiros trabalhos sobre o tema foi desenvolvido por Tamasci (1996) que pesquisou o comportamento dimensional de malhas de algodão, viscose e poliéster com e sem elastano. Prakash (2007) e Herath e Kang (2008) estudaram a relação entre a taxa de elastano e algumas características das malhas mas referem-se apenas a artigos produzidos com fios recobertos e não elastano nú. Da mesma forma, Gokarneshan e Thangamani (2010), estudaram o comportamento de malhas produzidas com fios “core spun” de algodão/elastano e fio recoberto a ar de poliéster/elastano. Já Dang, Wang e Liu (2008), fizeram estudo semelhante com fios core spun de Lã/elastano.

Cuden et al.(2000) estudaram experimentalmente a evolução das características de malhas vanisadas com elastano após relaxamento mas não investigaram o efeito da regulação do elastano sobre essas propriedades. Marmarali (2003) estudou a influencia do lfa em malhas vanisadas de algodão/elastano e Abdessalem et al (2009) estudaram o efeito da variação de tensão em malhas vanisadas de algodão /elastano. Já Tezel e Kavusturan (2008) estudaram as duas relações mas somente em malhas algodão/elastano.

As malhas de misturas sintético/elastano, sobretudo com poliamida, têm hoje expressiva participação no mercado de malhas com elastano, porém muito pouco se estudou esse tipo de produto. Os técnicos desenvolvem tecidos empiricamente e, não raro, são surpreendidos por resultados inesperados.

1.3 PROBLEMA

Qual a influência da regulação do LFA da poliamida e da tensão do elastano nas propriedades de gramatura, largura, densidade, espessura, alongamento, elasticidade e permeabilidade ao vapor de malhas poliamida/elastano?

1.4 HIPÓTESE

Diferentemente do que acontece nas malhas comuns, as características das malhas com elastano são fortemente determinadas pela presença deste que, por formar malha sob tensão, tende a tornar a estrutura da malha o mais fechada possível. Dessa forma um aumento da tensão do elastano deve fazer a malha mais densa, com maior gramatura e com maior elasticidade. Por outro lado um aumento do lfa do fio rígido deve se refletir num aumento da espessura e, conseqüentemente da gramatura e do alongamento da malha sem grandes alterações da largura e densidade. A permeabilidade ao vapor não deve sofrer alterações dado o alto fator de cobertura.

1.5 METODOLOGIA

Serão produzidas malhas nos laboratórios da FEI em máquina circular: Os fios utilizados serão de poliamida 6.6 texturizada microfibra 80f68 dtex x 2 e elastano 44 dtex (40 den).

As variáveis independentes (fatores) consideradas no trabalho são:

- LFA do fio rígido (poliamida) em cm/volta
- Tensão do elastano em cN

Cada um dos fatores será trabalhado em dois níveis e as combinações serão definidas através de planejamento fatorial 2^2 com ponto central.

As amostras produzidas serão a seguir lavadas, centrifugadas e secas para permitir um relaxamento das tensões internas nas malhas. Após relaxamento serão então submetidas, no laboratório físico têxtil da FEI, aos

ensaios de avaliação das propriedades em estudo. Serão analisadas as seguintes variáveis dependentes (respostas):

- Gramatura
- Largura
- Densidade (colunas e carreiras por cm)
- Espessura
- Porcentagem de elastano
- Alongamento e elasticidade
- Permeabilidade ao vapor d'água

Os resultados obtidos serão então analisados com auxílio do software estatístico MINITAB.

1.6 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho será dividido em cinco capítulos a saber: Introdução, Revisão Bibliográfica, Materiais e Métodos, Resultados e Discussões e Conclusão.

O capítulo 1 – Introdução apresenta um apanhado básico do que será tratado no trabalho, com objetivos, justificativa, perguntas e hipóteses e tipo de metodologia a ser utilizada, além do plano de organização do trabalho.

O capítulo 2 – Revisão Bibliográfica trata das fibras têxteis, mais especificamente poliamida e elastano e planejamento de experimentos e análise estatística de dados.

O capítulo 3 – Malharia trata dos conceitos básicos de malharia, características das malhas, regulagens de máquinas circulares, malhas com elastano e principais trabalhos publicados sobre malhas com elastano.

No capítulo 4 – Materiais e Métodos são descritos em detalhes todos os materiais, equipamentos, metodologias e normas utilizadas no trabalho.

No capítulo 5 – Resultados e Discussões serão descritos todos os resultados obtidos e serão apresentadas as análises dos mesmos e respectivas discussões para cada variável analisada no trabalho.

Finalmente, no capítulo 6 – Conclusão serão apresentadas as conclusões obtidas no trabalho, comparando-as com as hipóteses inicialmente apresentadas no capítulo da Introdução.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 FIBRAS TÊXTEIS

Fibra têxtil é um termo genérico para vários tipos de materiais, naturais ou artificiais, constituídos por elementos filiformes, que formam os elementos básicos para fins têxteis. Caracterizam-se por apresentar um comprimento pelo menos cem vezes superior à sua largura ou diâmetro. As demais características concludentes são: resistência à tensão, a absorção, o alongamento, a elasticidade, a flexibilidade, a resistência à abrasão, etc. (AGUIAR NETO, 1996).

É muito difícil precisar a origem da utilização das fibras têxteis. Os homens pré-históricos já utilizavam uma grande variedade de vegetais, como arbustos, para inúmeros fins: vestuário, redes, cestos etc.

Acredita-se que o linho foi a primeira fibra realmente trabalhada pelo homem já que vestígios deste material foram encontrados em fósseis de homens das cavernas. No Egito a cerca de 6000 a. C. o linho já era cultivado, e acredita-se que era cultivado do mesmo modo que é cultivado hoje em dia. Por vir de uma parte interna e bem protegida da planta o linho era tido como puro e por ser menos perecível que a lã ou o algodão logo foi adotado em rituais religiosos como a mumificação.

A pele de animais selvagens foi bastante utilizada pelos povos antigos como vestimenta. Com o passar dos tempos o homem foi dominando a técnica do pastoreio e a lã passou a ter grande importância na sociedade da época. Mesmo com o avanço da civilização a lã continuou a ser o centro da produção têxtil mundial, tendo seu foco maior na Inglaterra que no século XIII atingiu seu ápice de produção, vestindo praticamente toda a Europa.

O algodão também tem grande importância no âmbito das fibras têxteis naturais tendo seu início de uso na Índia, florescendo as margens do rio Ganges. O algodão, uma planta de clima tropical, já era utilizado pelos indianos há 5000 anos sendo trazido para o ocidente pelos soldados de Alexandre o Grande. Na Europa não teve grande sucesso até 1785 devido à produção de lã inglesa.

Acredita-se que a seda surgiu como fibra para o vestuário cerca de 2700 A.C. às margens do Rio Amarelo na China, onde foi mantida por 3000 anos. Alexandre o Grande, em suas campanhas persas, trouxe a seda para o ocidente que teve seu primeiro centro de manufatura na ilha grega de Kos, e mais tarde em Roma onde era símbolo de nobreza.

Para que o homem pudesse usar estas fibras na fabricação de quaisquer utensílios, desde roupas às redes de pesca, por exemplo, ele tinha que transformar estas fibras em fios e depois entrelaçá-los.

A fiação foi uma das grandes invenções do homem primitivo há 250000 anos, pode-se assumir que sua invenção foi por necessidade já que provavelmente necessitavam de fios maiores para suas redes e cordas. Ao que se refere à produção de malhas não se tem registro de quando começou, sendo que muitos povos antigos atribuíam o ensinamento da malharia aos deuses, fato este ocorrido no Egito, Grécia e Assíria por exemplo.

Segundo Resolução do CONMETRO 02/2001, entende-se por fibra têxtil todo elemento de origem química ou natural, constituído de macromoléculas lineares, que apresentem alta proporção entre seu comprimento e diâmetro e cuja características de flexibilidade, suavidade e conforto ao uso, tornem tal elemento apto às aplicações têxteis.

De acordo com Aguiar Neto (1996), as fibras podem ser classificadas em naturais e químicas. Dentre as naturais, estão as fibras animais, vegetais e minerais. As animais são constituídas de proteínas e são obtidas a partir de pelos como a lã ou de secreções como a seda. As fibras vegetais, a base de celulose, são extraídas de sementes como o algodão, de caules como o linho, de folhas como o sisal ou de frutos como o coco. Das fibras minerais, podemos citar o amianto.

As fibras químicas são obtidas através de operações químicas e mecânicas e se subdividem em artificiais, sintéticas e inorgânicas. Dentre as fibras artificiais, a base de matéria-prima natural, podemos citar as de celulose regenerada como a viscose e as de ésteres de celulose como o acetato. As fibras sintéticas, a base de matéria-prima sintética orgânica, abrangem um grande número de fibras como as poliamidas, as acrílicas, o poliéster, o

poliuretano e o polipropileno. Finalmente, podemos citar as fibras inorgânicas, que são cerâmicas, vidros e metálicas.

2.1.1 Fibras Naturais

As fibras naturais são encontradas já prontas na natureza, sendo apenas necessário extraí-las. São divididas em:

- a) Fibras animais, como seda (proveniente do bicho da seda), lã (de ovelha) e pelo (de cabra, cavalo, etc.);
- b) Fibras vegetais, essas ainda são subdivididas em três grupos, de semente (algodão, kapok e coco), de caule (linho, rami, juta e cânhamo) e de folhas (sisal);
- c) Fibras minerais, como o amianto.

As fibras naturais têm como apresentação mais comum a forma de fibra ou agregado de fibras, porém pode ser encontradas como filamentos (ex: seda – que o próprio animal já faz a eliminação da seda em forma de filamento).

2.1.2 Fibras manufaturadas

As fibras manufaturadas foram desenvolvidas inicialmente com o objetivo de copiar e melhorar as características e propriedades das fibras naturais. À medida que suas aplicações foram crescendo, elas se tornaram uma necessidade, principalmente porque o crescimento da população mundial passou a demandar vestuários confeccionados com rapidez e a um custo mais baixo, reduzindo, ao mesmo tempo, a vulnerabilidade da indústria têxtil às eventuais dificuldades da produção agrícola.

As fibras manufaturadas são fibras desenvolvidas pelo homem. São divididas em:

- Artificiais – são fibras transformadas a partir de polímeros naturais, como viscose e acetato.

- Sintéticas – são fibras feitas de polímeros sintetizados pelo homem a partir dos compostos químicos simples (monômeros) como poliéster, poliamida, acrílico, elastano.

2.2 POLIAMIDA

Poliamidas são polímeros obtidos a partir da poli condensação de monômeros cuja ligação das moléculas ocorre através da formação de grupos amida.

A poliamida foi a primeira fibra sintética a ser produzida em escala industrial e a única existente antes da Segunda Guerra Mundial. A poliamida 6.6 foi inicialmente pesquisada pelo químico americano Wallace Carothers nos laboratórios da DuPont a partir de 1928. Mais tarde outro pesquisador, Paul Schlack, obteve uma forma diferente de polímero, a partir da caprolactama, a qual chamou de poliamida 6. A primeira produção do nylon em âmbito comercial foi em 1939 e sua primeira aplicação foi na confecção de meia feminina.

A marca NYLON foi introduzida como marca pela Dupont e tentava traduzir a fineza do filamento, isto é, uma libra desse fio tinha um comprimento equivalente à distancia de Nova Iorque (NY) a Londres (LON) e não foi registrada propositadamente para facilitar sua massificação. (DEOPURA ET AL, 2008).

Existe atualmente uma grande variedade de poliamidas com diferentes marcas comerciais, no entanto as poliamidas 6 e 6.6 são, de longe, as de maior produção mundial. Segundo Deopura et al (2008), há como regra geral, dois tipos de poliamida: as poliamidas XY e as poliamidas Z. Nas XY, X refere-se ao numero de átomos de carbono na diamina do monômero, enquanto Y refere-se ao numero de carbonos no diácido do monômero. Nas Z, este se refere ao numero de átomos de carbono no monômero.

Assim a poliamida 6.6 é obtida através da hexametilandiamina $H_2N-(CH_2)_6-NH_2$ e do ácido adípico $HOOC-(CH_2)_4-COOH$, ambos com 6 átomos de carbono. Já a poliamida 6 é obtida a partir da caprolactama, $OC-(CH_2)_5-NH$, com 6 átomos de carbono.

As fibras de poliamidas constituem uma das quatro mais importantes famílias de fibras químicas, junto com celulósicas, poliésteres e acrílicas. (GUILLÉN, 1991).

2.2.1 Fabricação da Poliamida: Polimerização e Fiação

Segundo Guillén (1991), o polímero da poliamida 6.6 se obtém a partir da poli condensação da hexametileno diamina e do ácido adípico. Pelo processo de fusão, a uma temperatura de 280 a 290°C, ocorre a transformação em fibras.

Já a poliamida 6 é obtida pela condensação da caprolactama e a polimerização ocorre na presença de vapor de água e um catalisador ácido. Depois de eliminar a água, o ácido e a caprolactama que permanecem em equilíbrio com o polímero, este é fundido entre 250-260°C transformando-o em fibras.

Figura 2.1 – Produção de poliamida 6.6

Fonte: autor

Figura 2.2 – Produção de poliamida 6

Fonte: autor

A molécula das poliamidas 6 e 6.6 estão representadas na figura 2.3, destacando-se os grupos terminais amina (N-H) e carboxila (C=O).

Figura 2.3 – Moléculas de poliamida 6 e 6.6

Fonte: autor

A poliamida, assim como o poliéster é fiada no processo de fiação por fusão. O polímero é fundido na extrusora e a seguir bombeado para as fieiras pela bomba de título. Após a saída das fieiras os filamentos entram em contato com ar frio solidificando-se. A seguir são estirados através de godets e enrolados em bobinas. Esse fluxo resumido pode ser visto na figura 2.4.

Figura 2.4 – Fiação por fusão de poliamida

Fonte: adaptado de Lewin, 2007

Tanto a poliamida 6 quanto a poliamida 6.6 devem ser estiradas já na fiação para orientar as macromoléculas das fibras. De acordo com o nível de estiragem os processos de fiação de filamentos sintéticos por fusão, como o das poliamidas, podem ser classificados como LOY, MOY, POY e FOY.

Figura 2.5 – Tipos de fiação por fusão

Fonte: autor

Atualmente são utilizados os processos POY (principalmente para a obtenção de filamentos texturizados) e FOY (para filamentos lisos).

No caso do processo POY + TEXTURIZAÇÃO as bobinas de POY obtidas na fiação são levadas à texturização para transformação conforme podemos observar na figura 2.6.

2.2.2 Texturização da Poliamida

Segundo Hearle et al (2001), um fio texturizado pode ser identificado como um fio composto por longos e paralelos filamentos, os quais são torcidos ou entrelaçados, formando um fio coeso que proporciona tecidos densos e macios com o mínimo de aspectos texturais. Os primeiros fios texturizados comercializados apresentavam performance satisfatória em tecidos para paraquedas e baixa performance para artigos de vestuário, no entanto por um período curto eles foram destinados a este fim.

Hearle et al (2001) citam como uma razão para o desenvolvimento dos fios texturizados a necessidade de inovação no mercado para as fibras manufaturadas, que na época era dominado pelas fibras cortadas naturais, com aplicação em fios fiados utilizados em artigos de vestuário.

A utilização dos filamentos sintéticos para a produção de fios fiados, se fazia um processo inviável, uma vez que era necessário produzir os filamentos, cortar estes filamentos em comprimentos menores, desorganizar as fibras cortadas e por fim as submeter a um processo de fiação fibra curta ou longa, este processo definido pelo comprimento das fibras cortadas.

A solução deste problema teve inspiração nos fios crepe de alta torção, nos quais as forças de torque proporcionadas por seus altos níveis de torção geravam tecidos ondulados e franzidos.

As primeiras matérias primas utilizadas para produção de fios texturizados foram o acetato de celulose e a viscose, durante a segunda guerra mundial, contudo foram com as fibras de poliamida e de poliéster que os fios texturizados atingiram um nível comercial de destaque durante a década de 50.

Dentre as tecnologias existentes na época podemos destacar o processo de texturização a falsa torção (false twist method) e texturização a ar (air texturing), os quais perduram até hoje na produção de fios texturizados para aplicação em têxteis de vestuário e têxteis técnicos.

Figura 2.6 – Fiação POY + Texturização

Fonte: Lewin, 2007

O princípio “High-Bulk” para fibras acrílicas veio permitir a obtenção de feitos de um novo gênero. Esses fios apresentam uma grande melhoria no poder de absorção de umidade, no toque, no brilho e no poder de isolamento de calor, bem como um notável aumento de volume, porém não conseguindo evitar completamente os problemas de pilling e o processo só é aplicável a um número restrito de fibras sintéticas.

Os fios texturizados vieram praticamente solucionar os inconvenientes até então encontrados. Os tecidos fabricados com fios texturizados satisfazem mais amplamente aos desejos do consumidor, pois apresentam:

- elasticidade;
- maior poder de absorção de umidade;
- maior poder de isolamento de calor;
- maior conforto;
- boa resistência ao amarrotamento;
- menor brilho;
- melhor caimento;
- boa resistência ao desgaste;
- maior volume.

A primeira amostra de fio texturizado foi obtida em 1931, sendo atribuída ao técnico suíço Kagi que obteve uma amostra de rayon viscose frisada.

Esse processo tinha o objetivo de conseguir toque análogo ao da lã em filamentos de viscose e acetato e foi aperfeiçoado com o surgimento das fibras sintéticas, sendo hoje conhecido como processo convencional, clássico ou descontinuo.

Segundo a AFNOR - Associação Francesa de Normalização (1981), a definição de fio texturizado é um fio contínuo, com ou sem elasticidade, com ou sem torção, apresentando um aspecto volumoso que resulta de uma ondulação ou de uma frisagem dos seus filamentos elementares.

Um fio texturizado é aquele que apresenta um aspecto encrespado, obtido através de fios lisos submetidos a processos mecânicos / térmicos que visam proporcionar maior volume e elasticidade ao fio.

O principal processo de texturização utilizado atualmente chama-se "Falsa Torção" ou "FT". Esse processo é normalmente utilizado para a poliamida e tem como principais características:

- maior volume e elasticidade;
- efeito torque nos fios de um cabo. Muitas aplicações exigem que sejam utilizados na máquina fios "S" e "Z" alternadamente.

Nos fios com mais cabos essa tendência é eliminada, pois num fio a dois cabos, por exemplo, um dos cabos é "S" enquanto que o outro é "Z", equilibrando o fio.

Para os fios de Poliéster normalmente é utilizado o processo "Falsa Torção Fixado" ou "FTF" que consiste em fixar o fio por calor após a texturização eliminando o efeito torque, mas obtendo um fio com menos volume e elasticidade. Nesse caso quando for de fio um cabo não se refere à torção do fio (RHODIA, 2007).

A base da texturização por falsa torção consiste em torcer um fio o máximo possível, o submeter à ação de calor e de resfriamento e então destorcer este fio. Para aliviar o torque produzido com essa ação o fio se emaranha o que resulta em uma grande contração do fio. O fio pode ser esticado cinco vezes o seu comprimento total contraído antes dos filamentos se romperem.

O poder de recuperação destes fios é alto, proporcionando aos tecidos produzidos com estes fios altos valores de alongamento (stretch).

Porém não é apenas a fixação da torção da fibra que é importante. Os filamentos se encontram numa forma helicoidal no fio torcido, e, depois da fixação, existe a tendência deles voltarem a sua forma encrespada, o que proporciona ao fio texturizado alto volume e alto stretch. A forma básica das máquinas para produção destes dois tipos de fios se encontra na figura 2.7.

O método consiste basicamente em:

- a) estirar o fio POY
- b) aquecer o fio até a zona termoplástica
- c) torcer e destorcer o fio
- d) enrolamento do fio em bobina

Figura 2.7 – Texturização FT

Fonte: Rhodia (2007)

2.2.3 Apresentação no mercado

As fibras de poliamida se apresentam no mercado como: filamento contínuo ou fibras. De acordo com Guillén (1991), as formas de apresentação mais importantes da poliamida são, entre outros:

- Fio contínuo liso;
- Fio contínuo POY;
- Fio texturizado;
- Fio Texturizado a ar
- Fio contínuo BCF;
- Fio contínuo industrial;
- Telas “spunbonded”;
- Fibras para uso técnico;

2.2.4 Morfologia da poliamida

Tipicamente as fibras de Poliamida apresentam aspecto cilíndrico com seção redonda como pode ser visualizado na figura 2.8.

Figura 2.8 – Microscopia da poliamida

Fonte: Rhodia (2007)

No entanto, assim como outras fibras sintéticas fiadas por fusão, as poliamidas podem apresentar variadas seções transversais conforme o perfil dos furos da fieira (figura 2.9)

Figura 2.9 – Seções transversais

Fonte: Rhodia (2007)

Outra característica importante é a maticidade que pode ser definida como brilhante, semiopaca e opaca, em função da quantidade de dióxido de titânio contida na fibra de respectivamente de 0,02%, 0,20% e 1,0 a 1,5%. A figura 2.10 mostra as combinações mais importantes comercialmente de maticidade e seção transversal das poliamidas:

- Redondo brilhante
- Redondo semi opaco
- Redondo opaco
- Trilobal brilhante

Figura 2.10 – Maticidade e seções transversais da poliamida

Fonte: Rhodia (2007)

2.2.5 Propriedades da Poliamida

Segundo Guillén (1991), as propriedades da fibra de poliamida são consequência da repetição de grupos amidas ao longo da cadeia polimérica e algumas de maior ou menor importância dos grupos amidas terminais. O número amidas por 100 átomos da cadeia e a paridade do número de grupos metila entre os grupos amida sucessivos influem em propriedades como o ponto de fusão, a temperatura de transição vítrea, a densidade e a absorção de umidade.

Existem diferenças importantes nas propriedades da poliamida 6 e da poliamida 6.6 e algumas dessas diferenças estão descritas na tabela a seguir:

Podemos notar na tabela 2.1 que não há diferenças consideráveis entre as propriedades dinamométricas das poliamidas, dado que a resistência e o alongamento dessas fibras é função da estiragem mais do que a diferença do teor cristalino. (ALFIERI, 2005)

Tabela 2.1 – Comparação entre as propriedades das poliamidas 6 e 6.6

Propriedades	PA 6	PA 6.6
Peso específico (g/cm ³)	1,13	1,14
Tenacidade a seco (g/dtex)	4,0 a 6,0	4,0 a 6,0
Tenacidade a úmido (g/dtex)	4,0 a 7,0	4,5 a 7,0
Alongamento à ruptura seco (%)	20 a 40	20 a 40
Absorção de umidade (%)	4,5	4
Ponto de amolecimento	220	260
Ponto de fusão	187	210

Fonte: Adaptado de Guillén, 1991

Podemos notar que não há diferenças consideráveis entre as propriedades dinamométricas das poliamidas, dado que a resistência e o alongamento dessas fibras é função da estiragem mais do que a diferença do teor cristalino. (ALFIERI, 2005)

De acordo com Guillén (1991), as poliamidas 6 e 6.6 possuem grupos amidas e estruturas moleculares semelhantes, isso faz com que tenham algumas propriedades iguais, como:

- Grau de tenacidade;
- Alto alongamento;
- Baixo módulo;
- Excelente recuperação elástica;
- Excelente resistência à abrasão;
- Excelente resiliência;
- Estabilidade dimensional;
- Baixa resistência a luz;

2.3 ELASTANO (SPANDEX)

Elastano (Spandex nos EUA), é uma fibra sintética inventada pela DuPont e pertence à classificação genérica das fibras elastoméricas sendo descrita em termos químicos como um poliuretano segmentado. Suas propriedades de alongamento e recuperação valorizam os tecidos adicionando novas dimensões de caimento, conforto e contorno das roupas. Pode ser esticado quatro a sete vezes seu comprimento, retornando instantaneamente ao seu comprimento original quando sua tensão é relaxada. Resiste ao sol e água salgada, e retém sua característica flexível no uso e ao passar do tempo.

A figura 2.11 mostra o comportamento dinamométrico de fios de elastano de várias marcas (A, B, C e D)

Figura 2.11 – Comportamento dinamométrico de elastano de várias marcas

Fonte: Tezel e Kavusturan (2008)

Um tecido jamais é feito de 100% elastano, o qual é utilizado em pequenas quantidades sempre combinado com outra fibra, natural ou sintética.

Dentre as mais importantes aplicações para o fio nu estão as malhas circular para roupa íntima, top de meias, tecido canelado para punhos e cinturas, malhas de kettenstuhl para praia e esporte ativo e algumas construções de meias.

2.3.1 Polimerização do elastano

Conforme Hicks et al (1965), fibra elastomérica é a fibra produzida por polímeros lineares segmentados constituídos de pelo menos 85% de poliuretano. Polímero segmentado é um copolímero a blocos no qual se alternam ao longo da cadeia molecular, unidades de diferentes composições. No caso dos elastômeros de poliuretano, os blocos são caracterizados como rígidos e flexíveis.

Para compreender como se desenvolveu o poliuretano elástico, é preciso visualizar a estrutura do látex ou borracha natural. Foi do estudo aprofundado do látex que a Dupont chegou ao elastano de poliuretano que chamou de Lycra®³.

A borracha natural é uma mistura dos isômeros de isopreno extraída da seringueira. Esta mistura reage e polimeriza formando o poli-isopreno, que é uma molécula longa, flexível e irregular, portanto não apta a cristalizar. Estas moléculas formam um emaranhado molecular complexo que é 100% amorfo desorientado e tem as moléculas juntas não por ligações intermoleculares mas por “nós” ou laços moleculares lembrando um emaranhado de pedaços de barbante. (ALFIERI, 2005).

Na polimerização para obtenção do poliuretano elastano a Dupont se baseou nos conceitos da borracha e definiu uma rota de pesquisa:

1º- Construir macromoléculas longas e muito flexíveis e que não sejam regulares para que não favoreçam cristalização do filamento.

³ Lycra® é marca registrada da INVISTA S.A.

2º- Criar vínculos fortes entre as moléculas capazes de produzir um todo sólido e com propriedades mecânicas adequadas para substituir os nós moleculares.

Esse conceito quando aplicado ao processo de fabricação pode ser traduzido nas quatro etapas mostradas nas figuras 2.12, 2.13, 2.14 e 2.15.

Etapa 1: formação do segmento flexível

Figura 2.12 – Formação do segmento flexível da molécula de elastano

Fonte: autor adaptado de Alfieri (2005)

Etapa 2: criação de irregularidades

Figura 2.13 – Formação de irregularidades na molécula de elastano

Fonte: autor adaptado de Alfieri (2005)

Etapa 3: início do segmento rígido

Poliéter irregular

Di-fenil metano di-isocianato (MDI)

Figura 2.14 – Início do segmento rígido da molécula de elastano

Fonte: autor adaptado de Alfieri (2005)

Etapa 4: término do segmento rígido

Poliuretano segmentado

Figura 2.15 – Formação de irregularidades na molécula de elastano

Fonte: autor adaptado de Alfieri (2005)

2.3.2 Fiação do elastano

O elastano pode ser fiado em fiação a úmido ou a seco. Atualmente mais de 80% da produção mundial de elastano, sobretudo na Ásia, é produzida em fiação a seco.

O polímero, dissolvido em dimetilformamida ou dimetilacetamida é extrudado através da fieira. Os filamentos passam através de um tubo vertical aquecido no qual o solvente é evaporado da massa extrudada. É possível obter filamentos elementares de 1 a 30 denier (1,1 a 33 dtex). A velocidade de fiação varia de 300 a 600 m/min.

Figura 2.16 – Fiação a seco do elastano

Fonte: Alfieri (2005)

Os filamentos secos, mas ainda pegajosos, são enrolados depois de terem sido lavados sem estiragem.

Os filamentos de poliuretano são colados uns aos outros porque as interações entre anéis benzênicos da superfície destes filamentos se manifestam durante a fiação, fazendo com que se formem ligações de superfície.

Figura 2.17 – Microscopia do elastano

Fonte: autor

Para produzir o elastano opaco é necessária uma elevada carga de dióxido de titânio (6% contra 1,0 a 1,5 do PES e PA). O alto teor de TiO_2 faz com que seja necessária uma ensimagem especial, que é de emulsão de silicone em altas quantidades (4 a 6% em peso do fio contra 0,5 a 1,0 % no PES e PA).

O elastano tem estrutura molecular micelar com apenas 1% de teor cristalino e orientação molecular muito baixa permitindo alongamentos de 400 a 700 %.

Figura 2.18 –Estrutura molecular do elastano sob tensão

Fonte: autor

Além do alongamento, outra característica importante do elastano é a excelente recuperação elástica (mais de 90% do comprimento original após alongamento de 400%). Este fenômeno é explicado pela própria estrutura

amorfa onde as moléculas desorientadas possuem grande número de ligações intramoleculares que rompem quando o fio é estendido, porém se refazem quando cessado o esforço de tensão.

2.4 MICROFIBRAS

2.4.1 História da microfibras

A partir da década de 70, no Japão, inicia-se a fabricação de fios contínuos do poliéster com filamentos individuais mais finos. Os fios eram produzidos frequentemente com filamentos de 5,0 den, mas podiam ter até 2,5 den. Com a melhora na qualidade dos polímeros, novas tecnologias de extrusão, processo de fiação, estiragem e texturização tornaram possíveis a fabricação de fibras de título inferior a 1,0 dtex, chegando até a 0,3 dtex. (GUILLÉN, 2001)

Segundo Alfieri, o poliéster é a fibra mais usada para a fabricação da microfibras, porém quando comparada a uma fibra de poliamida de 1,0 dtex, pode-se conseguir os mesmos efeitos de suavidade, flexibilidade e maciez do que com fibras de poliéster de 0,5 dtex. Isso ocorre porque a poliamida possui a cadeia molecular menos rígida que o poliéster o que resulta em um menor momento fleto

Figura 2.19 – Comparação dos filamentos fio standard x microfibras

Fonte: autor

Foi estabelecido o seguinte limite para as microfibras:

- Microfibras de poliéster < 1,0 dtex

- Microfibras de poliamida < 1,2 dtex

As finuras podem ser divididas em grupos, em função de sua finura. A tabela 2.2 mostra o título de fibra grossa até microfibra ultra superfina. A título de comparação, Guillén (2001), mostra na tabela 2.3 o título médio de algumas fibras e das microfibras.

Tabela 2.2 – Título dos filamentos

Fibra	Título (dtex)
Grossa	> 7,0
média	2,4 – 7,0
Fina	1,0 – 2,4
Microfibra	0,3 – 1,0
Super Microfibra	< 0,3

Fonte: Adaptado de Guillén (2001)

Tabela 2.3 – Finura de algumas fibras

Fibra	Diâmetro (mm)
Poliéster (5,5 dtex)	22,7
Lã	170,0
Algodão	13,5
Seda	12,0
Poliéster fino (1,3 dtex)	11,1
Poliéster micro (0,4 dtex)	6,4
Poliéster ultra (0,1 dtex)	3,0
Poliéster super ultra (0,05 dtex)	2,1

Fonte: Adaptado de Guillén (2001)

A figura 2.20 mostra um comparativo do diâmetro de várias fibras mostrando que a microfibra ultrapassou em muito a finura das fibras naturais.

Figura 2.20 – Gráfico comparativo de diâmetro das fibras

Fonte: adaptado de Guillen, 2001

2.4.2 Fabricação das microfibras

Para as estruturas têxteis, segundo Guillén, os melhores métodos de fabricação da microfibra são:

- Método convencional melhorado
- Fiação de mistura de polímeros
- Fiação de fibras ultra conjugadas
- Fiação de fibras conjugadas separadas

Segundo Guillén (2001), para utilizar o método convencional melhorado é necessário que o polímero tenha moléculas muito grande e tenham sido bem filtrados, porque nesse método a fibra irá sofrer uma estiragem de até 40 vezes, podendo assim obter microfibras de títulos menores que 0,5 den com polímeros de estrutura semi cristalina.

2.4.3 Propriedades das microfibras

Segundo Guillén (2001), a finura das microfibras são responsáveis por uma grande variação nas propriedades das fibras, dos fios e dos tecidos, como:

- Filamentos ou fibras – Superfície específica; propriedades de tração; momento de inércia e de resistência; rigidez a flexão e a torção.
- Fios contínuos ou fiados – número de fibras por quilograma; número de fibras na secção transversal de um fio de determinado título; número de

filamentos em um fio de mesmo título; tenacidade dos fios; rigidez a flexão e a torção; entre outros.

- Tecidos – Voluminosidade; suavidade; resistência a abrasão e ao rasgamento; flexibilidade, poder de cobertura, entre outros.

Figura 2.21 – Fio standard e microfibra de poliamida

Fonte: autor

Para Alfieri (2005), a primeira análise das diferenças das microfibras está na relação título/diâmetro e na superfície específica dos fios de mesmo título.

Figura 2.22 – Relação título x diâmetro e superfície específica das microfibras

Fonte: Alfieri (2005)

Para obter a mesma intensidade da cor para fios de microfibras é necessário aumentar a concentração de corante no banho de tingimento, isso porque fios feitos com microfibras possuem uma maior superfície específica e portanto menor rendimento da cor.

Tabela 2.4 – Propriedade físicas dos fios de microfibras

Propriedade	Fio standard		Fio de micro filamentos	
	167f30	76f34	76f72	76f144
Título dos filamentos (dtex)	5,6	2,2	1,1	0,5
Diâmetro do filamento (µm)	23,0	14,6	10,0	7,1
Tenacidade do fio (cN/dtex)	4,2	4,1	3,8	3,8
Tenacidade dos filamentos (cN/dtex)	4,2	4,2	3,8	4,0
Elasticidade (%)	48,0	45,0	30,0	16,0
Rigidez relativa à flexão (fios)	100,0	36,3	17,3	0,9
Rigidez relativa à flexão (Filamentos)	100,0	16,0	3,6	8,6

Fonte: Adaptado de Alfieri (2005)

A menor resistência dos fios de micro filamento se deve à menor resistência ao atrito, podendo gerar maior pilling.

Fios de micro filamentos também apresentam maior tendência à amarrotar devido a maior flexibilidade da fibra; em contrapartida o menor diâmetro melhora o toque e o caimento.

Segundo Alfieri (2005), pode-se verificar nos gráficos abaixo a influência do filamento no módulo de elasticidade e no alongamento dos fios, mostrando que os micro filamentos são mais sensíveis aos esforços físicos.

Nos tecidos, microfibras com menor porosidade auxiliam no transporte e absorção de umidade, maior isolamento térmica, maior impermeabilidade da água e do vento, etc.

Figura 2.23 – Características das microfibras

Fonte: Alfieri (2005)

A figura 2.23 mostra as características dinamométricas e a influência do título dos filamentos nas propriedades dos fios de microfibra.

2.5 PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS

Segundo Montgomery (2004) os métodos de controle estatístico do processo e planejamento experimental, são duas ferramentas muito poderosas para a melhoria e otimização de processos e estão intimamente correlacionados. Por exemplo, se um processo está sob controle estatístico, mas ainda tem capacidade inferior, então será necessário reduzir a variabilidade para melhorar a capacidade do processo. Os experimentos planejados podem oferecer uma maneira mais eficaz de fazer isto do que o Controle Estatístico do processo (CEP).

O CEP é um método passivo: observamos o processo e esperamos por alguma informação que nos leve a uma mudança útil. No entanto, se o processo está sob controle, a observação passiva pode não produzir muita informação útil. Por outro lado, o planejamento experimental é um método estatístico ativo: realmente realizamos uma série de ajustes no processo, fazendo mudanças nas entradas e observando as mudanças correspondentes nas saídas, o que produzirá informação que pode levar à melhoria do processo.

Os métodos de planejamento experimental podem também ser muito úteis no estabelecimento de controle estatístico de um processo. Por exemplo, suponha que um gráfico de controle indique que o processo está fora de

controle, e que o processo tenha várias variáveis de entrada controláveis. A menos que saibamos quais variáveis de entrada são importantes, poderá ser muito difícil trazer o processo de volta ao controle. Os métodos de planejamento experimental podem ser usados para indicar essas variáveis influentes no processo.

O planejamento experimental é uma ferramenta de engenharia criticamente importante para melhorar um processo de fabricação. Tem, também, aplicação extensiva no desenvolvimento de novos processos. A aplicação dessas técnicas no desenvolvimento do processo pode resultar em:

- Produção melhorada
- Variabilidade reduzida
- Tempo de desenvolvimento reduzido
- Custos totais reduzidos

Dentro da indústria, em especial no desenvolvimento de produto, muitas vezes é necessário obter informações sobre produtos e processos empiricamente. Neste momento o trabalho das pessoas envolvidas com o problema assemelha-se ao de pesquisadores ou cientistas que precisam projetar experimentos, coletar dados e analisá-los. Experimentos são empregados para resolver problemas de fabricação, decidir entre diferentes processos de manufatura, diferentes conceitos de produto, entender a influência de determinados fatores, etc. Além disso, esta tarefa torna-se cada vez mais importante na medida em que se intensifica a base tecnológica dos produtos e as exigências governamentais e de clientes aumentando a necessidade de emprego de experimentos durante todas as etapas do ciclo de vida do produto.

O Planejamento de experimentos é uma técnica utilizada para se planejar experimentos, ou seja, para definir quais dados, em que quantidade e em que condições devem ser coletados durante um determinado experimento, buscando, basicamente, satisfazer dois grandes objetivos: a maior precisão estatística possível na resposta e o menor custo. É, portanto, uma técnica de extrema importância para a indústria, pois seu emprego permite resultados

mais confiáveis economizando dinheiro e tempo, parâmetros fundamentais em tempos de concorrência acirrada. A sua aplicação no desenvolvimento de novos produtos é muito importante, onde uma maior qualidade dos resultados dos testes pode levar a um projeto com desempenho superior seja em termos de suas características funcionais como também sua robustez.

No entanto, deve ficar claro que esta ferramenta não substitui o conhecimento técnico do especialista da empresa sobre o assunto e nem mesmo trata-se de uma “receita de bolo” de como realizar um planejamento. O domínio do problema é de fundamental importância.

Barros Neto et al (2001) colocam os três princípios básicos de um planejamento de experimentos como sendo *replicação*, *aleatoriedade* e *blocagem*. Fazer um experimento com réplicas é muito importante por dois motivos. O primeiro é que isto permite a estimação do erro experimental. A estimativa desse erro é básica para verificar se as diferenças observadas nos dados são estatisticamente significativas. O segundo motivo se refere ao fato de que, se a média de uma amostra for usada para estimar o efeito de um fator no experimento, a replicação permite a obtenção de uma estimativa mais precisa desse fator.

Os métodos estatísticos requerem que as observações, ou os erros, sejam variáveis aleatórias distribuídas independentemente. Os experimentos, com suas réplicas, devem ser realizados de forma aleatória, de modo a garantir a distribuição equânime de todos os fatores não considerados.

A blocagem é uma técnica extremamente importante, utilizada industrialmente que tem o objetivo de aumentar a precisão de um experimento. Em certos processos, pode-se controlar e avaliar sistematicamente a variabilidade resultante da presença de fatores conhecidos (*nuisance factors*) que perturbam o sistema, mas que não se tem interesse em estudá-los. A blocagem é usada, por exemplo, quando uma determinada medida experimental é feita por duas diferentes pessoas, levando a uma possível não homogeneidade nos dados. Outro exemplo seria quando um determinado produto é produzido sob as mesmas condições operacionais, mas em diferentes bateladas. De modo a evitar a não homogeneidade, é melhor tratar cada pessoa e batelada como um bloco.

Segundo Rodrigues e Iemma (2005), as experiências devem ser realizadas sequencialmente. A primeira delas, chamada experimento de peneiramento (screening), é usada para determinar quais variáveis são importantes (variáveis críticas).

As experiências subsequentes são usadas para definir os níveis das variáveis críticas identificadas anteriormente, que resultam em um melhor desempenho do processo e estabelecer o modelo matemático a ser utilizado no processo.

Em suma, o que se quer aqui é obter um modelo matemático apropriado para descrever certo fenômeno, utilizando o mínimo possível de experimentos. O planejamento experimental permite eficiência e economia no processo experimental e o uso de métodos estatísticos na análise dos dados obtidos resulta em objetividade científica nas conclusões.

Os métodos básicos usados para realizar um planejamento experimental eficiente têm como objetivos:

- A seleção do melhor modelo entre uma série de modelos plausíveis;
- A estimação eficiente de parâmetros do modelo selecionado.

Domenech (2004) propõe a seguinte estrutura de análise dos elementos do processo com a interação entre as entradas, saídas, fatores não controlados e seu respectivo modelo:

Figura 2.24 – Entradas e saídas do processo

Fonte: adaptado de Domenech (2004)

2.5.1 Diretrizes para o Planejamento de Experimentos

Como descrito anteriormente os experimentos planejados são uma poderosa ferramenta para melhoria de processo onde o resultado depende de diversas variáveis ou da combinação destas. O sucesso de um planejamento de experimentos dependerá em grande parte da forma com que este é estruturado e como será realizado, entender claramente quais são os objetivos de realizar um experimento é necessário antes de qualquer ação para executá-lo. Em Montgomery (1997) é fornecido um roteiro para elaboração de um planejamento de experimentos onde as etapas que o compõe são abordadas na seguinte ordem:

1ª) Reconhecimento e relato do problema: Torna-se bastante difícil reconhecer e aceitar a existência de um problema, se não ficar claro para todos qual é o problema, quais são os objetivos a serem alcançados com a solução do mesmo não teremos resultados esperados com o planejamento. É de fundamental importância a participação de todos no entendimento do problema, Manutenção, Engenharia, Qualidade e principalmente os Operadores. A participação dos operadores é de grande importância pela sua habilidade prática e sensibilidade quando da análise das diversas variáveis do processo.

2ª) Escolha dos fatores e dos níveis. Devem ser levados em conta os intervalos sobre os quais esses fatores irão variar, e os níveis específicos em que cada rodada será realizada. É importante investigar todos os fatores que possam ser importantes e não deixar ser influenciado por experiências passadas. Quando o objetivo é a varredura dos fatores ou caracterização do processo, é, em geral, melhor manter baixo o número de níveis de fatores.

3ª) Seleção da variável resposta. Na seleção da variável resposta, muitas vezes, a média ou o desvio padrão (ou ambos) da característica medida será a variável resposta. Respostas múltiplas não são raras. A capacidade do medidor é, também, um fator importante. Se a capacidade do medidor é baixa, então apenas efeitos grandes serão detectados pelo experimento ou será necessária replicação adicional.

4ª) Escolha do planejamento experimental. A escolha do planejamento envolve consideração pelo tamanho da amostra (número de replicações), seleção de uma ordem adequada de rodadas para as tentativas experimentais, ou se a formação de blocos ou outras restrições de aleatorização estão envolvidas.

5ª) Realização do experimento. Quando da realização do experimento, é de vital importância monitorar o processo, para garantir que tudo esteja sendo feito de acordo com o planejamento. Erros no procedimento experimental neste estágio, em geral, destruirão a validade do experimento.

6ª) Análise dos dados. Métodos estatísticos devem ser usados para analisar os dados, de modo que os resultados e conclusões sejam objetivos. Se o experimento foi planejado corretamente e se foi realizado de acordo com o planejamento, então os tipos de métodos estatísticos exigidos não são complicados.

7ª) Conclusões e recomendações. Uma vez analisados os dados, o experimento deve acarretar conclusões práticas sobre os resultados e recomendar um curso de ação. Métodos gráficos são, em geral, usados neste estágio, particularmente na apresentação dos resultados para outras pessoas. Sequências de acompanhamento e testes de confirmação devem ser também realizados para validar as conclusões do experimento.

2.5.2 Planejamento fatorial

De acordo com Button (2005) o planejamento fatorial é indicado quando se deseja estudar os efeitos de duas ou mais variáveis de influência. Em cada tentativa ou réplica, todas as combinações possíveis dos níveis de cada variável são investigadas. Quando o efeito de uma variável depende do nível das outras variáveis, diz-se que há interação dessas variáveis.

2.5.2.1 Planejamento fatorial 2^k

Um caso particular é o planejamento fatorial com k fatores e 2 níveis, que é denominado planejamento fatorial 2^k . Os fatores e os níveis são pré-

determinados, configurando esse planejamento como um modelo de efeitos fixos. Para que a análise seja objetiva, as hipóteses de normalidade devem ser satisfeitas. Esse tipo de planejamento é usado normalmente nos estágios iniciais da pesquisa, permitindo o estudo de diversos fatores com um número reduzido de experimentos.

Como há somente dois níveis para análise de cada fator, assume-se que a variável de resposta apresente comportamento linear entre esses níveis. Esses níveis podem ser quantitativos ou qualitativos e são representados por: + (máximo) e - (mínimo).

O cálculo dos efeitos principais e das interações para dois fatores está mostrado nas figuras 2.25, 2.26 e 2.27.

Figura 2.25 – Efeito do fator A

Fonte: adaptado de Rodrigues e Iemma (2005)

Figura 2.26 – Efeito do fator B

Fonte: adaptado de Rodrigues e Iemma (2005)

Figura 2.27 – Efeito da interação AB

Fonte: adaptado de Rodrigues e Iemma (2005)

Os efeitos principais podem ser mostrados em gráficos de efeitos, conforme a figura 2.28.

Figura 2.28 – Gráfico de efeitos

Fonte: adaptado de Rodrigues e Iemma (2005)

As interações são mostradas em gráficos de interações conforme figura 2.29.

Figura 2.29 – Gráfico de interações

Fonte: Button (2005)

A análise estatística da influencia dos fatores no resultado é feita através de ANOVA conforme mostrado na figura 2.30.

	SQ	gl	QM			
fonte	soma dos quadrados	graus de liberdade	quadrados medios	Fcalc	p_value	Fcrit
Fator A	$\hat{A}^2 \times rep$	$n_A - 1$	SQ_A / gl_A	QM_A / QM_{res}	$p(F_{A_{calc}})$	$F_{(\alpha, gl_A, gl_{res})}$
Fator B	$\hat{B}^2 \times rep$	$n_B - 1$	SQ_B / gl_B	QM_B / QM_{res}	$p(F_{B_{calc}})$	$F_{(\alpha, gl_B, gl_{res})}$
A x B	$\hat{AB}^2 \times rep$	$(n_A - 1) \times (n_B - 1)$	SQ_{AB} / gl_{AB}	QM_{AB} / QM_{res}	$p(F_{AB_{calc}})$	$F_{(\alpha, gl_{AB}, gl_{res})}$
residuo	SQ_{res}	$n_A \times n_B \times (r - 1)$	SQ_{res} / gl_{res}			
total	$\sum (y - \bar{y})^2$	$n_A \times n_B \times r - 1$				

Figura 2.30 – ANOVA

Fonte: adaptado de Rodrigues e lemma (2005)

Segundo Rodrigues e lemma (2005), podem-se incluir ensaios em pontos centrais do planejamento fatorial 2^k e com isso determinar se a relação estudada é linear ou não. Um planejamento fatorial 2^2 com pontos centrais pode ser esquematizado conforme a figura 2.31.

Figura 2.31 – Planejamento fatorial 2^2 com pontos centrais

Fonte: adaptado de Rodrigues e Iemma (2005)

MALHARIA

Para Spencer (2001), tricotar é a arte de construir tecidos utilizando agulhas, entrelaçando os fios em diversas séries de laçadas (malhas), que se ligam umas as outras.

Os artigos de malhas possuem a estrutura e a geometria diferente dos artigos de tecidos plano (tecelagem) pois estes são formados por dois grupos distintos de fios, são eles a trama e o urdume.

As diferenças estruturais podem ser vistas na figura x (malha) e na figura x (tecido plano) as demais diferenças estão descritas na tabela abaixo.

Figura 3.1– Estrutura comparativa de tecido plano e malha

Fonte: autor

Dentro da indústria de malharia, existem ainda dois processos distintos que formar estruturas de malhas distintas, são eles a malharia de trama e a malharia de urdume.

Figura 3.2 – Malha de trama

Fonte: Spencer (2001)

Figura 3.3 – Malha de urdume

Fonte: Spencer (2001)

De acordo com Tremelloni e Ceriani (1982), as malhas de trama devido à sua estrutura de laçada possuem as seguintes características:

a) Flexibilidade: As malhas se adaptam às formas do corpo e acompanham seus movimentos, isso ocorre porque como são entrelaçadas as malhas não possuem ligação firme, podendo deslizar. Essa característica pode ser maior ou menor em função do tipo e da densidade da malha e também da natureza, espessura e flexibilidade do fio;

b) Elasticidade ou recuperação elástica: Quando a malha é tencionada ela assume dimensão diferente daquela em repouso, e quando esta ação para, a malha recupera parcialmente a sua forma inicial essa propriedade da malha é função da estrutura e do tipo de fio utilizado. Quanto mais elástico o fio, como os fios texturizados ou ainda os elastômeros, melhor será essa recuperação.

c) Porosidade: Os artigos de malhas são mais porosos do que os de tecido plano, isso ocorre devido o contorno das laçadas e da espessura da malha, gerando artigos de excelente conforto térmico. Em altas temperaturas, essa porosidade permite a transpiração através dos espaços existentes no artigo. Em temperaturas mais baixas combina-se a porosidade do artigo com sua voluminosidade formando dentro do artigo um colchão de ar que atua como isolante térmico, dificultando a troca de calor com o ambiente.

d) Deformação: Como possuem baixa estabilidade dimensional, esses tecidos tendem a apresentar maior facilidade de deformação com o uso. Quanto maior a flexibilidade maior a tendência a deformar.

e) Estabilidade dimensional: Esses artigos apresentam maior tendência de alterar as suas dimensões durante o uso. Para evitar esse inconveniente, que é mais evidente nas malhas feitas de fibras naturais ou regeneradas, torna-se necessário respeitar o formato de equilíbrio da malha. Caso não seja respeitado, após a lavagem a laçada pode assumir outra posição, alterando o tecido. Em malhas feitas de fios sintéticos de características termoplásticas esse problema é menor.

As características descritas acima podem variar de intensidade em função dos seguintes parâmetros:

- Tipo de fibra;
- Tipo e título do fio;
- Estrutura da malha (ligação);
- Acabamento/beneficiamento final.

Por sua vez a malharia de trama divide-se em malharia retilínea e circular, sendo essa última dividida ainda em circulares de grande diâmetro, circulares de pequeno diâmetro (máquinas de meias) e de médio diâmetro (sem costura ou “seamless”).

Malharia de Trama	Retilínea	
	Circular	Grande Diâmetro (Ø: 16” a 38”)
		Seamless (Ø: 11” a 16”)
		Meias (Ø: 3” a 4”)

Figura 3.4 – Tipos de malharia de trama

Fonte: autor

3.1 HISTÓRIA DA MALHARIA

Segundo Araújo e Castro (1986), os principais passos no desenvolvimento da tecnologia da malharia em ordem cronológica são:

Em 1589, o inglês Willian Lee de Calverton, inventa o tear manual de malha para meias, no qual 16 agulhas funcionam de forma simultânea, formando uma carreira de malha no mesmo tempo que uma artesão demora em fazer uma laçada à mão.

Figura 3.5 – Primeiro tear de malha manual

Fonte: Spencer (2001)

Em 1758, Jedediah Strutt de Blackwell, inventa um acessório para o tear manual que permite a fabricação mecânica de malha canelada (“rib”). (Patente n.º 722).

Em 1769, Josiah Crane de Nottingham, inventa um acessório para o tear manual que permite a elaboração de desenhos ornamentais sobre as malhas. Surge um novo conceito de tricotar, a produção da malha de teia, o que lhe deu uma patente (Patente n.º 940).

Em 1798, Decroix inventa o tear circular. Nessa máquina a disposição das agulhas é em forma circular sobre uma coroa que gira sem para (ininterruptamente), formando laçadas.

Em 1805, Joseph Marie Jacquard, inventa um aparelho capaz de elaborar desenhos mais complicados através do uso de um cartão perfurado que permite selecionar os fios que formaram a laçada. Posteriormente esse princípio foi aplicado a todo tipo de teares de malha, permitindo a seleção das agulhas na formação da malha, o que possibilitou a elaboração de desenhos mais complexos, esse acessório ganhou o nome do inventor Jacquard.

Em 1847, Matthew Townsed de Leicester, ao tentar desencravar uma platina com o auxílio de um canivete, surge-lhe a idéia de construir a agulha com lingueta o que revoluciona a técnica de formação da malha (patente n.º 11899). Essa nova agulha gera aumento da capacidade e rendimento em todos os tipos de teares.

Em 1855, Redgate combinou um tear circular 1x1 com um tear de malha de teia, formando um tear com duas fileiras de agulhas disposta em ângulo reto permitindo produzir malhas com um ou dois lados. Mais tarde (em meados de 1859) Guilherme Barfuss desenvolve um tear mais aperfeiçoado com duas fileiras de agulhas de lingueta que se movimentavam na vertical por meio de barras dentadas e deu o nome de “Tear Raschel”.

Em 1857, Arthur Paget introduz a barra reciprocadora de agulhas o que resulta em um movimento mais simples para a platina uma vez que o movimento de laçada é realizado pelo movimento em conjunto da platina com as agulhas. Nesse tear as agulhas estavam introduzidas em ranhuras e orifícios na barra, outra inovação foi a possibilidade de diminuir a largura da malha automaticamente. Com essas inovações Paget consegue triplicar a

velocidade dos teares conhecidos até então e também consegue produzir uma malha mais bonita.

Em 1863, Isaac Wixom Lamb patenteou a máquina de tricotar doméstica, que permitia qualquer pessoa produzir sua roupa graças a simplicidade do equipamento. Lamb usou a disposição das fileiras criada por Eisenstuck e as agulhas de lingueta criadas por Townsend, mas a verdadeira inovação dessa máquina consistiu em no lugar das fileiras de agulhas se movimentarem em conjunto, idealizou um dispositivo onde cada agulha subia e descia rapidamente e independentes.

Em 1864, William Cotton, desenvolve um tear para a produção de malhas. Nessa inovação o tear possuía agulhas posicionadas verticalmente em uma barra móvel e platinas trabalhando na horizontal que servem a barra destas de prensa às molas das agulhas. Essa máquina ainda é usada nos dias de hoje para a produção de peças “fully-fashion”.

Em 1867, Theodore Groz, através de suas experiências escreve um manual técnico com instruções exatas para a fabricação de agulhas de aço, agulhas para meias e agulhas de lingueta.

Até o século XX, no contexto da indústria têxtil, a indústria de malha era considerada um segundo plano, ou seja, de menor importância em relação a indústria de tecido plano, isso mudou e agora a tendência é que a indústria de malha supere a de tecidos plano.

3.2 ELEMENTOS FORMADORES DA MALHA

As agulhas são os mais importantes de todos os elementos que intervêm na formação da laçada e a sua produção é um aspecto fundamental da indústria de construção de teares de malha.

3.2.1 Agulhas

Segundo Araújo e Castro (1986), existem diversos tipos de agulhas, isso ocorre devido a variedade de tipos e jogos de teares de malha e a diferença existentes na concepção de teares do mesmo tipo.

As agulhas dividem-se em três grupos:

- Agulhas de bico;
- Agulhas de lingueta;
- Agulhas compostas.

Inventada em 1849, a agulha de lingueta proporcionou melhorias nos teares de malha diminuindo a complexidade dos mesmos e aumentando a velocidade de produção, isso ocorreu devido a não necessidade da operação de prensar para produzir a laçada. É hoje em dia o tipo de agulha padrão utilizado em malharia circular.

Essas agulhas são mais difíceis de fabricar, portanto, não é possível obter a mesma finura da agulha de bico.

Figura 3.6 – Agulha de lingueta

Fonte: Araújo e Castro (1987)

3.2.2 Platinas

As platinas trabalham entre duas agulhas adjacentes e possuem o objetivo de frisar o fio entre as agulhas para formar a laçada. As finalidades

da platina são: reter o tecido, igualar a malha e formar o plano de desprendimento simultaneamente.

3.2.3 Guia-fios

Guia-fios são peças que alimentam com fios as agulhas e as platinas no local desejado. Em teares de malha de trama deve existir pelo menos um guia-fios por alimentador.

3.3 A FORMAÇÃO DA MALHA

O processo de formação da malha conforme descrito por Spencer (2001) esta mostrada a seguir:

Figura 3.7 – Formação da malha em máquina circular

Fonte: Spencer (2001)

- a. A laçada encontra-se no gancho da agulha; esta é considerada a posição de repouso;
- b. A agulha sobe e a laçada passa para a haste da agulha; diz-se que é o descarregar da laçada velha;
- c. Diz-se nova alimentação da agulha; a lingueta deve estar aberta;
- d. A agulha desce; a laçada velha obriga a lingueta a fechar, passando sobre esta;
- e. A agulha continua a descer, dando-se o desenganchamento da laçada velha, que sai da agulha; simultaneamente faz-se o abatimento da laçada nova.

3.4 GEOMETRIA DA MALHA

O Jersey, ou meia malha, teve a sua popularização no vestuário com a senhora Jersey Lily por ser natural da ilha de Jersey. A meia malha é o ponto mais simples e econômico de se produzir.

No artigo de meia malha, todas as agulhas sobem para produzir a laçada. A figura 3.8 mostra como é o esquema de representação da meia malha.

Figura 3.8 – meia malha ou jérsei

Fonte: autor

3.4.1 LFA (quantidade de fio absorvido)

É a quantidade de fio consumida por malha. Junto com o fio (título, matéria prima), a ligação e a máquina (finura, diâmetro) define as

características básicas do tecido como gramatura, largura, densidade e comportamento dimensional. Pode ser expresso de duas formas:

- LFA [cm/malha] = utilizado nas medidas a partir de amostras de malha
- LFA [cm/volta] = utilizado na regulação da máquina (alimentação de fio)

Figura 3.9 – LFA (cm/malha)

Fonte: Spencer (2001)

3.4.2 Fator de Cobertura

Representa a relação entre a área de tecido coberta pelo fio e a área total do tecido. Genericamente seu valor médio é de $15 \pm 10\%$ e é dado pela relação:

$$FC = \frac{\sqrt{tex}}{lfa}$$

A figura 3.10 mostra duas malhas com diferentes fatores de cobertura. É possível observar que a primeira malha tem maior fator de cobertura, possui malhas menores, tem maior quantidade de fios por unidade de área, consome mais fios, tem maior densidade, tem maior gramatura, é mais fechada, tem

maior fator de cobertura, é menos elástica e tem menor porosidade em relação à segunda.

Figura 3.10 – Diferentes fatores de cobertura

Fonte: autor

3.4.3 Fatores de concentração da malha (K)

Estudando o comportamento das malhas, Munden (1960), estabeleceu as seguintes relações:

$$car / cm = \frac{K_{car}}{lfa} \qquad col / cm = \frac{K_{col}}{lfa}$$

onde, **Kcar** e **Kcol**, também chamados fatores de concentração, são valores que variam em função do estado de relaxamento da malha para um mesmo tipo de fio e ligação.

Também podemos determinar fatores de concentração de superfície (**Ksup**) e de relação entre carreiras e colunas (**Krel**) conforme abaixo:

$$K_{sup} = K_{car} \times K_{col} \qquad K_{rel} = K_{car} / K_{col}$$

A gramatura da malha pode ser expressa como função do título (tex), e do LFA para um determinado estado de relaxamento como mostram o gráfico e a fórmula a seguir:

$$G = \frac{K_{\text{sup}} \times \text{tex}}{10 \times lfa} \quad [g / m^2]$$

Figura 3.11 – Gramatura em função do LFA e do título do fio

Fonte: autor

A largura da malha pode ser expressa como função do numero de agulhas da maquina e do LFA para um determinado estado de relaxamento como mostram o gráfico e a fórmula a seguir:

$$L = \frac{A \times lfa}{K_{col} \times 100} \quad [m]$$

Figura 3.12 – Largura em função do LFA e do título do fio

Fonte: autor

3.4.4 A malha em três dimensões

A figura 3.13 mostra a malha em escala tridimensional conforme idealizado por Benltoufa et al (2008) sendo:

- $1/C = 1 / \text{carreiras por cm}$
- $1/W = 1 / \text{colunas por cm}$
- $L = \text{espessura da malha}$

Figura 3.13 – Imagem tridimensional da malha

Fonte: Benltoufa et al (2008)

3.5 DINÂMICA DE FORMAÇÃO DA MALHA

Um dos parâmetros mais importantes para a formação da malha é a tensão presente no fio que alimenta as agulhas, é necessário que a tensão seja adequada (para não causar alongamento nos fios) e constante (para evitar defeitos).

Segundo Araújo e Castro (1986), a tensão antes da alimentação precisa ser baixa para que:

- Diminua o seu efeito no comprimento da laçada;
- Reduza o número de defeitos no tecido devido a quebras de fios;

- c) Reduza as deformações no fio, melhorando a estabilidade dimensional.

É conhecida a relação que existe entre a tensão de um fio antes e depois de entrar em contato com uma superfície sólida (que gera atrito fio/superfície). Entendendo a lei do atrito de Amonton, em que $T = \mu N$ (na qual T é a força necessária para movimentar um corpo, μ o coeficiente de atrito estático e N a força de reação resultante do peso de um corpo), e simplificando, como fio com características ideais, coeficiente de atrito constante, a não consideração da velocidade do tear, entre outros exemplos ideais que não são verdadeiros nos fios têxteis, podemos estabelecer uma relação entre a tensão de entrada e de saída do fio ao passar por uma superfície circular como vemos na figura 3.14:

Figura 3.14 – Representação esquemática do percurso do fio na formação da laçada

Fonte: Catarino (1998)

Onde:

- T_e é a tensão de entrada;
- T_s a tensão resultante da passagem do fio pelo corpo
- μ é o coeficiente de atrito entre o corpo e o fio;
- α é o ângulo entre as linhas perpendiculares às tangentes do fio ao corpo.

Como diversos fatores influenciam na tensão de saída do fio, se aceitarmos a expressão acima como correta, podemos chegar a uma expressão que resulte a tensão em uma determinada agulha em função da tensão de entrada. Então, pela expressão acima descrita, e observando a passagem do fio na zona de tricotagem, verifica-se que durante este trajeto, o fio passa por diversos contactos metálicos, os quais devido à sua dimensão e para simplicidade se consideram aproximadamente circulares. Seguindo esta

suposição, a zona de tricotagem corresponde a uma sucessão de situações semelhantes à apresentada na figura anterior, pelo que é possível aplicar sucessivamente esta equação, pois a tensão de entrada na superfície seguinte é igual à tensão de saída na superfície anterior. Após algumas manipulações algébricas, chega-se à expressão:

$$T_{\max} = T_e e^{\mu \sum \phi_n}$$

Onde:

- $T_{\max}$ é a tensão máxima no fio;
- T_e é a tensão de entrada, na altura em que o fio é solicitado;
- μ é o coeficiente de atrito entre fio e as superfícies metálicas;
- $\sum \phi_n$ é a soma dos ângulos formados pelo fio quando passa pelos elementos tricotadores na altura da tricotagem.

Esta relação foi pela primeira vez apresentada por Knapton e Munden. E mostra que a tensão máxima na zona de tricotagem é função da tensão de entrada, do coeficiente de atrito entre fio e metal, e do número de pontos de contato entre o fio e o metal nessa zona de tricotagem.

3.5.1 Variáveis da tensão do fio

Algumas das causas que geram tensões excessivas no fio, ou diferentes entre os fios da mesma malha estão descritas abaixo:

- Diferenças nos diâmetros das bobinas;
- Diferentes ângulos e zonas de contato entre fio e superfície;
- Sujidade dos guias-fios;

3.5.2 Sistema de alimentação negativa

Antigamente para manter a tensão de alimentação do fio constante eram usados tensores de atrito. Existem vários tensores de atrito, como mostra a figura a seguir, a escolha era dada de acordo com o tear utilizado.

Figura 3.15 – Tensor

Fonte: autor

Na alimentação negativa o fio é puxado pela agulha, o que causa tensões altas no fio, tensores não são suficientes para garantir a tensão de alimentação constante e adequada. A falta de controle dessa tensão causa mudanças nos comprimentos das laçadas diminuindo a qualidade final do artigo.

3.5.3 Sistema de alimentação positiva

Diferente do sistema de alimentação negativa, no sistema de alimentação positiva um dispositivo alimenta as agulhas com fio em velocidade (V) constante. Com o controle da quantidade de fio entregue à agulha controla-se o LFA (Comprimento de fio absorvido) o que assegura a qualidade e dimensões da malha.

Figura 3.16 – Percurso do fio na máquina circular

Fonte: autor

Esse sistema permite a alimentação de comprimentos idênticos de fios para cada alimentador a partir de um comando único de uma polia central de diâmetro variável denominada roda de qualidade. (ARAÚJO e CASTRO, 1986)

Figura 3.17 – Alimentação positiva por fitas

Fonte: autor

Segundo Iyer et al (1997), nos sistemas mais modernos o fio passa por uma polia inferior que por sua vez é acionada por uma das polias superiores comandadas pela fita.

Figura 3.18 – Alimentador positivo

Fonte: memminger/IRO

Com Alimentação Positiva o fio é fornecido às agulhas na quantidade que elas necessitam para formar malhas. O tamanho da malha é determinado pela velocidade de alimentação do fio e a regulação da pedra de descida (ponto) passa a ter a função secundária de determinar a tensão de trabalho do fio.

Figura 3.19 – Controle de velocidade de alimentação do fio

Fonte: autor

Figura 3.20 – Controle de tensão do fio

Fonte: autor

3.5.4 Regulagens básicas das máquinas circulares

O fluxo do fio e do tecido numa máquina circular com alimentação positiva está mostrado na figura 3.21. Os parâmetros importantes na regulação de máquina são:

- LFA
- Tensão do fio

O puxamento da malha é uma regulação secundária, dado que não altera o LFA e, portanto, não influi nas características da malha. (TREMELLONI E CERIANI, 1982). Deve ser o mínimo que permita um bom andamento da máquina. Dessa forma temos como regulagens básicas:

- O diâmetro da roda de qualidade: regula a velocidade da alimentação positiva, e consequentemente, o LFA.
- A regulação da pedra de descida: regula o ponto e, consequentemente, a tensão do fio.

Figura 3.21 – Principais regulagens de máquina circular

Fonte: autor

3.6 MALHAS COM ELASTANO

De acordo com Marmarali (2003) há duas formas diferentes de utilização do elastano em máquinas circulares: elastano nú ou recoberto. No caso de fios recobertos o elastano é envolvido por outro tipo de fio ou fibra conforme o processo de recobrimento.

Esse tipo de fio é pouco utilizado em máquinas circulares de grande diâmetro, limitando-se basicamente àquelas que não permitem a utilização de um sistema de alimentação positiva adequado (Araújo e Castro, 1986), pois seu preço é alto comparativamente à alternativa do elastano nú e a relação custo benefício não é compensatória.

Dessa forma o sistema que impera na grande maioria das malhas circulares é o da utilização de elastano nu alimentado junto com outro fio (chamado fio rígido) de forma a estabelecer a formação da malha em processo de vanisado (Spencer, 2001) onde os dois fios formam malhas paralelas sendo

que a malha do fio rígido encobre a do elastano que somente é visível no avesso do tecido como pode ser observado na figura 3.22 a seguir.

Figura 3.22 – Malha vanisada com elastano

Fonte: adaptado de Spencer (2001)

Segundo explicam Iyer et al.(1997), para atender a essa formação os fios devem ser alimentados em níveis diferentes no mesmo alimentador conforme mostrado na figura 3.23 e com tensões de trabalho diferentes.

Figura 3.23 – Alimentação do elastano em máquina circular

Fonte: adaptado de Iyer et al (1997)

A estrutura da malha é representada conforme segue:

Figura 3.24 – Representação do vanisado em meia malha

Fonte: Iyer et al (1997)

A figura 3.25 mostra o aspecto do direito e do avesso para uma malha de poliamida com elastano.

Figura 3.25 – Meia malha de poliamida com elastano, direito e avesso

Fonte: autor

A figura 3.26 mostra os principais tipos de malhas vanisadas com elastano produzidas no Brasil, segundo Vasconcelos e Gasi (2006).

Cotton lycra®		Supplex®	
Artigo em meia malha de Algodão + Elastano. Utilizado em tops, shorts e calças para jogging e ginástica. Vem sendo largamente substituído por artigos sintéticos.		Artigo em meia malha de Poliamida texturada a ar + Elastano. Utilizado em tops, shorts e calças para jogging e ginástica.	
Fio rígido: CO Ne 30/1 Elastano: 40 denier Finura: 28 Gramatura: 250-270 Largura: 1,65-1,70		Fio rígido: PA tx ar 150 den Elastano: 40 den Finura: 28 Gramatura: 320 a 340 Largura: 1,35 a 1,45
Amni®		Viscolyra	
Artigo em meia malha de Poliamida microfibril opaca texturizado FT + Elastano. Utilizado em tops e blusas femininas.		Artigo em meia malha de Viscose fiada + Elastano. Utilizado em roupas femininas para moda. Tem disputado mercado com produtos equivalentes em outras fibras.	
Fio rígido: PA TX 2x80f68 dtex Elastano: 40 den Finura: 28 Gramatura: 250 a 270 Largura: 1,40 a 1,50		Fio rígido: CV Ne 30/1 Elastano: 40 den Finura: 28 Gramatura: 240 a 260 Largura: 1,50 a 1,60
Poliéster lycra®		Malha fina	
Artigo em meia malha de Poliéster texturizado microfibril + Elastano. Utilizado como opção mais barata às outras fibras e também em camisetas esportivas.		Produzidas em máquinas de finuras 36 a 44 que permitem tecidos mais finos, maior rendimento para a confecção e aplicação principal em lingerie.	
Fio rígido: PES TX 150 den Elastano: 40 den Finura: 28 Gramatura: 250 a 270 Largura: 1,40 a 1,50		Fio rígido: PA 60 a 70 den Elastano: 20 den Finura: 38 Gramatura: 150 a 200 Largura: 1,45 a 1,60

Figura 3.26 – Malhas com elastano

Fonte: Vasconcelos e Gasi (2006)

3.6.1 Alimentação positiva para elastano

Para trabalhar com elastano nu é necessário um sistema de alimentação positiva especial conforme visto na figura 3.27.

Figura 3.27 – Máquina circular com elastano

Fonte: Iyer et al (1997)

Esse sistema é composto de dois eixos acionados por um sistema de fita e polia, sobre os quais vão apoiadas as bobinas de elastano. Isso permite um desenrolamento tangencial do elastano visando manter constante e uniforme a tensão de alimentação.

Figura 3.28 – Alimentador positivo para elastano

Fonte: Memminger/IRO

3.6.2 Regulagens básicas nas máquinas com elastano

O fluxo do fio e do tecido numa máquina circular monofrontura trabalhando com elastano está mostrado na figura 3.29.

Os parâmetros importantes na regulação de máquina são:

- LFA do fio rígido
- Tensão do fio rígido
- Tensão do elastano

Figura 3.29 – Principais regulagens de máquina circular com elastano

Fonte: autor

Assim como nas malhas sem elastano, o puxamento da malha é uma regulagem secundária, dado que não altera o LFA e, portanto, não influi nas características da malha. Não deve ser utilizado como parâmetro de regulagem para alterar características da malha, mas somente para permitir um melhor andamento da máquina, e melhor descarregamento das malhas sem no entanto forçar demais os fios e as agulha. (Tremelloni e Ceriani, 1982).

Trabalhando com elastano as regulagens básicas são:

- Diâmetro da roda de qualidade do fio rígido: define o LFA do fio rígido
- Regulagem da pedra de descida: define a tensão de trabalho do fio rígido
- Diâmetro da roda de qualidade do elastano: define a tensão de trabalho do elastano (uma vez fixada a regulagem de ponto em função da tensão do fio rígido).

3.7 ESTUDOS EM MALHAS VANISADAS COM ELASTANO

Como já foi citado na introdução, dentre os estudos publicados sobre malhas com elastano, vários deles referem-se a malhas produzidas com fios recobertos de algodão, poliéster e lã com elastano. Dos trabalhos mencionados naquele capítulo, os de Marmarali (2003), Abdessalem et al (2009) e Tezel e Kavusturan (2008) tratam de malhas com elastano nu vanisado.

3.7.1 Estudo de Marmarali (2003)

Nesse estudo foram realizadas malhas com fio de algodão Ne 30/1 vanisado com elastano 44 dtex (40 den) em máquina monofrontura de finura 28 agulhas/polegada e diâmetro 32 polegadas. Foram produzidas malhas sem elastano, com elastano em alimentadores alternados e com elastano em todos os alimentadores. Todas elas foram trabalhadas em três níveis de LFA (aberto, médio e fechado) e tensão do elastano constante em 6 cN.

A seguir as amostras foram deixadas em uma superfície lisa e plana em atmosfera padrão por uma semana, depois lavados em máquina de lavar por 45 minutos a 60 ° C com agente umectante a 0,05 g / l. Após a lavagem, as amostras sofreram breve hidro-extração. A seguir foram tintas em processo convencional para malhas desse tipo.

As malhas tintas foram então analisadas quanto às seguintes propriedades:

- espaçamento entre as colunas
- espaçamento entre as carreiras
- gramatura
- espessura
- permeabilidade ao ar
- pilling
- espiralidade

A tabela da figura 3.30 mostra os resultados obtidos por Marmarali.

Properties	Cotton fabric without spandex			Cotton/spandex half plating			Cotton/spandex full plating		
	Tight	Med.	Loose	Tight	Med.	Loose	Tight	Med.	Loose
Weight, g/m ²	167.7	148.8	135.5	251.5	249	244	402.8	381	347
Thickness, mm	0.71	0.73	0.74	0.87	0.96	1.04	0.94	1.05	1.21
Air permeability, $\ell/m^2/s$	382.8	663.6	987.4	80.6	97.4	146.2	30.1	30.6	32.8
Pilling	2-3	1-2	2	3-4	2-3	2-3	4-5	4-5	4
Spirality, degree	11	13	12	4	4.25	7	1.25	1.62	1.75

Figura 3.30 – Resultados experimentais

Fonte: Marmarali (2003)

Os resultados observados permitem concluir que um aumento de LFA causa:

- Pequena alteração nas carreiras e nenhuma alteração nas colunas das malhas com elastano em comparação com as malhas sem elastano;
- Diminuição da gramatura em todas as malhas;
- 22 % de aumento na espessura da malha com elastano cheio contra somente 4% nas malhas sem elastano;
- Um aumento de 158% na permeabilidade da malha sem elastano contra apenas 9% na malha com elastano cheio.

3.7.2 Estudo de Abdessalem et al (2009)

Nesse estudo foram realizadas malhas com fio de algodão Nm 60/1 vanisado com elastano 22 dtex (20 den) em máquina monofrontura de finura 28 agulhas/polegada e diâmetro 30 polegadas. O LFA foi mantido constante em 0,310 cm/malha e a tensão do elastano variou em cinco níveis entre 2,1 e 6,3 cN. As malhas foram submetidas a relaxamento a seco, sob condições têxteis padrão de teste de 21°C $\pm$ 1°C e 65% $\pm$ 2% de umidade relativa durante 24 horas. Após isso foram avaliadas quanto a:

- largura
- gramatura
- RR% (grau de recuperação elástica) na largura e no comprimento

A tabela da figura 3.31 mostra os resultados obtidos por Abdessalem et al.

Lycra [®] consumption (cm/100 needles)	Lycra [®] proportion (%)	Lycra [®] tension (cN)	Fabric width (cm)	Fabric weight (gr/m ²)	Longitudinal RR (%)	Transversal RR (%)
10,1	4,12	6,3	157	182	45	50
10,4	4,24	4,4	161	178	52	60
10,45	4,26	4,3	162	177	55	62
10,6	4,32	3,1	166	175	58	65
10,7	4,36	2,1	168	172	62	70

Figura 3.31 – Resultados experimentais

Fonte: Abdessalem et al (2009)

As principais conclusões observadas quando se aumenta de 2 para 6 cN a tensão do elastano foram:

- a largura da malha diminui
- a gramatura da malha aumenta
- a recuperação elástica diminui nos dois sentidos

3.7.3 Estudo de Tezel e Kavusturan (2008)

Nesse estudo foram realizadas malhas com fio de algodão Ne 30/1 vanisado com elastano 44 dtex (40 den) de quatro marcas diferentes em máquina monofrontura de finura 28 agulhas/polegada e diâmetro 34 polegadas. Foram desenvolvidas nove regulagens diferentes combinando três níveis de LFA (aberto, médio e fechado) com três níveis de tensão (mínima, média e máxima) sendo cada uma delas aplicada a todas as marcas. No entanto todas as amostras (36) foram tricotadas com elastano em alimentadores alternados, ou seja, um alimentador 100% algodão seguido de outro alimentador vanisando algodão e elastano.

As amostras foram relaxadas a seco sobre uma superfície plana em condições padrão de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e $65 \pm 5\%$ de umidade relativa por uma semana e após tintas em processo padrão para esse tipo de malha, com prefixação (180°C , 12 m/s), alveijamento com peróxido de hidrogênio, tingimento com

corante reativo em Jet com relação de banho 1:8 e secagem (110°C, 15m/s). Após beneficiamento as malhas foram submetidas a nova relaxação a seco.

A seguir as amostras foram avaliadas quanto a gramatura, densidade, espessura, resistência ao estouro e permeabilidade ao ar.

Os resultados obtidos por Tezel e Kavusturan estão mostrados na tabela da figura 3.32.

	Weight (g/m ²)	Courses per cm	Wales per cm	Stitches per cm ²	Thickness (mm)	Bursting strength (PSI)	Air permeability (Pa)	Cotton yarn loop length (mm)	Spandex yarn loop length (mm)
Brand									
A	186.35 b	19.86 b	15.73 b	312.84 b	0.57 b	83.76 a	5.77 c	2.98 c	0.619 b
B	195.96 d	20.77 d	15.86 c	329.50 d	0.61 d	86.04 a	5.12 a	2.98 d	0.586 a
C	188.19 c	20.26 c	15.68 b	318.09 c	0.59 c	86.72 a	5.53 b	2.97 b	0.605 ab
D	179.79 a	19.62 a	15.56 a	305.39 a	0.57 a	89.78 b	6.27 d	2.97 a	0.625 b
Cotton tightness									
Tight	199.23 c	22.78 c	15.87 c	361.50 c	0.56 a	90.88 b	4.19 a	2.73 a	0.625 b
Medium	186.74 b	19.92 b	15.72 b	313.11 b	0.58 b	89.13 b	5.53 b	2.97 b	0.608 ab
Loose	176.75 a	17.68 a	15.53 a	274.77 a	0.61 c	79.72 a	7.30 c	3.23 c	0.594 a
Spandex tightness									
Tight	193.85 c	20.78 c	15.84 c	329.39 c	0.60 c	85.32 a	5.11 a	2.98 a	0.542 a
Medium	186.85 b	20.03 b	15.70 b	314.72 b	0.58 b	86.67 a	5.61 b	2.97 a	0.608 b
Loose	182.01 a	19.58 a	15.58 a	305.26 a	0.57 a	87.74 a	6.30 c	2.98 a	0.678 c
100% cotton									
Tight	148.1	18.0	15.8	284.4	0.478	99.0	8.58	2.76	–
Medium	130.0	16.0	15.0	240.0	0.474	92.0	14.08	2.98	–
Loose	118.1	14.1	14.0	197.4	0.474	76.7	18.95	3.24	–

Figura 3.32 – SNK ranking para ANOVA de três fatores

Fonte: Tezel e Kavusturan (2008)

O estudo permitiu concluir que para um aumento da tensão do elastano:

- gramatura aumenta
- carreiras/cm aumentam
- colunas/cm ficam praticamente constantes
- espessura aumenta
- resistência ao estouro fica praticamente constante
- permeabilidade ao ar diminui

Por outro lado, quando se aumenta o LFA do fio rígido:

- gramatura diminui
- carreiras/cm diminuem
- colunas/cm ficam praticamente constantes
- espessura aumenta

- e. resistência ao estouro fica praticamente constante
- f. permeabilidade ao ar aumenta

Quanto às marcas, foi possível concluir que embora elas influenciem no resultado final das propriedades analisadas, todas elas apresentam o mesmo tipo de tendência de comportamento.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para esse estudo será analisada malha de Poliamida microfibras texturizada convencional com elastano, tipo AMNI®, uma das mais representativas malhas vanisadas com elastano no mercado segundo Vasconcelos e Gasi (2006) e ainda não estudada profundamente por outros autores.

As amostras foram produzidas, relaxadas e analisadas nos laboratórios do departamento de engenharia têxtil da Fundação Educacional Inaciana (FEI), com fios de poliamida e elastano obtidos de fornecedores nacionais.

A figura 4.1 resume o procedimento utilizado no trabalho, mostrando os fatores de variação e as variáveis resposta.

Figura 4.1 – Fatores e respostas

Fonte: autor

Para definição dos ensaios foi utilizado planejamento fatorial 2^2 com pontos centrais. Os fatores de variação e seus níveis estão mostrados na tabela 4.1. Os valores de LFA em cm/malha estão mostrados na tabela 4.2.

Tabela 4.1 – Fatores e níveis dos ensaios

FATORES	NÍVEIS	
	mínimo	máximo
A: LFA da Poliamida (cm/volta)	830	970
B: Tensão do Elastano (cN)	3	7

Tabela 4.2 – Valores de LFA

	NÍVEIS		
	mínimo	central	máximo
LFA da Poliamida (cm/volta)	830	900	970
LFA da Poliamida (cm/malha)	0,314	0,341	0,367

Os valores de LFA foram definidos considerando um fator de cobertura médio de 13 e uma variação de $\pm 8\%$ para os pontos mínimo e máximo utilizando-se da formula exposta no item 3.4.2, pagina 61 deste texto.

Os valores de tensão do elastano foram fixados seguindo orientação de Dorlastan, 2008.

A tensão do fio de poliamida foi mantida constante em 5 cN em todos os ensaios.

O planejamento dos ensaios mostrado na tabela 4.3 foi desenvolvido no software Minitab com os fatores e níveis da tabela 4.1 e um total de 10 ensaios com as seguintes condições:

- Uma replicagem em cada ponto fatorial (8 ensaios)
- Dois ensaios no ponto central (900 cm/volta de LFA e 5 cN de tensão do elastano)

Tabela 4.3 – Planejamento dos ensaios

Amostra	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	LFA PA	Tensão EL
1	1	2	1	1	830	3
4	2	4	1	1	970	3
2	3	6	1	1	830	7
3	4	10	1	1	970	7
1A	5	8	1	1	830	3
4A	6	5	1	1	970	3
2A	7	1	1	1	830	7
3A	8	7	1	1	970	7
5	9	9	0	1	900	5
5A	10	3	0	1	900	5

Obs.: LFA PA em cm/volta; Tensão EL em cN

4.1 FIOS UTILIZADOS

Os fios utilizados são os líderes de mercado para esse tipo de malha no Brasil segundo a Rhodia Poliamida (2007) e estão listados a seguir:

- Fio rígido: Poliamida 6.6 texturizada microfibra 80f68 dtex X 2
- Elastano: elastano 44 dtex (40 den)

4.2 PRODUÇÃO DAS MALHAS

As amostras de meia malha de poliamida vanisada com elastano foram produzidas em máquina circular monofrontura com as mesmas especificações das máquinas industrialmente utilizadas no Brasil e no mundo para produção desse tipo de malha, conforme dados a seguir:

- Marca / modelo: Mayer Relanit
- Finura (agulhas por polegada): 28
- Diâmetro (polegadas): 30
- Numero de agulhas: 2640
- Alimentadores: 96

Figura 4.2 – Máquina Mayer Relanit

Fonte: autor

De acordo com o planejamento dos ensaios definido na tabela 4.3 foram produzidas malhas com as regulagens da tabela 4.4. De cada regulagem foram produzidas duas amostras conforme sequência (run order) da tabela 4.3.

Tabela 4.4 – Regulagens da máquina circular

Amostras	LFA PA (cm/volta)	Tensão EL (cN)	RQ PA (mm)	Ponto	RQ EL (mm)
1 1A	830	3	173	11	237
2 2A	830	7	173	11	156
3 3A	970	7	203	15	188
4 4A	970	3	203	15	264
5 5A	900	5	188	13	205

Onde: RQ = diâmetro da roda de qualidade

As medidas de LFA e tensão foram feitas através do equipamento MLT WESCO – Yarn meter.

Após produção, as amostras em cru ficaram descansando por uma semana e a seguir foram lavadas, centrifugadas e secas para permitir um relaxamento das tensões internas nas malhas de acordo com o proposto por Araujo e Castro (1986) e cuja sequência esta especificada na tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Processo de relaxamento

Processo de relaxamento	Equipamento	Tempo	Temperatura
1- Descanso em cru	mesa	1 semana	ambiente
2- Lavagem	maquina de lavar	45 min	ambiente
3 - Hidroextração	centrifuga	1 min	ambiente
4 - Secagem	estufa	60 min	60 °C
5 - Condicionamento	mesa	48 h	ambiente

4.3 ENSAIOS EFETUADOS NAS MALHAS

Após relaxamento as amostras foram então submetidas, no laboratório físico têxtil da FEI, aos ensaios de avaliação das propriedades em estudo de acordo com as normas relacionadas:

4.3.1 Gramatura

Foram efetuadas medidas de gramatura (g/m^2) das amostras segundo a norma ABNT - NBR 10591/1988.

Para a realização desse ensaio devem ser preparados cinco corpos de prova. Na sequência os corpos de provas devem ser pesados em uma balança analítica e, a partir do peso obtido, pode-se efetuar o cálculo para obtenção da gramatura do artigo em gramas por metro quadrado. Os equipamentos necessários são:

- Escala metálica graduada em milímetros
- Gabarito metálico com dimensões de (10x10) cm ou circular com área de 100cm^2 .
- Balança com precisão de 0,001g.

4.3.2 Largura

As medidas de largura (cm) das malhas tubulares forma efetuadas conforme norma ABNT - NBR 10589/1988.

Foram feitas 3 medidas em centímetro com régua de aço, em três pontos diferentes ao longo do comprimento da malha utilizando-se os seguintes equipamentos:

- Mesa de comprimento mínimo de 3 m e largura superior a do tecido,
- Escala graduada de no mínimo 1 metro.

4.3.3 Densidade

Foram realizadas as medidas de colunas por cm e carreiras por cm segundo norma ABNT - NBR 12060/1991.

Para a realização desse ensaio, utilizando uma lente conta-fios, deve-se contar, em cinco regiões do tecido, o número de carreiras por centímetro e o número de colunas por centímetro. Os valores de malhas por cm² foram calculados multiplicando-se os valores de colunas e carreiras por cm. Os materiais utilizados são:

- Conta-fios

4.3.4 Espessura

Os valores de espessura (mm) das amostras foram determinados segundo a norma ABNT - NBR 13383.

Para esse ensaio são preparados cinco corpos de prova de 100 cm², os quais são submetidos à medição no aparelho medidor de espessura, sob a ação de um apalpador de aço de área de 25 cm² e com pressão aplicada de 4 gf/cm² por 10 segundos, após o qual é feita a medida da espessura dos corpos de prova em milímetros.

- Gabarito metálico com dimensões de (10x10) cm ou circular com área de 100 cm².
- Aparelho medidor de espessura

4.3.5 Alongamento e Elasticidade

Para determinar os valores de alongamento (%) e elasticidade (%) foi utilizada a norma JIS - L 1018.

Para realização deste ensaio, utilizando-se gabaritos especificados, devem ser preparados cinco corpos de prova cortados no sentido das colunas da malha e cinco cortados no sentido de suas carreiras. O aparelho extensor deve ser regulado com uma carga inicial e a distância entre mordentes, marcada no início do experimento, é de 7,0 cm (distância L).

O ensaio consiste na aplicação da carga por um período de um minuto no corpo de prova, em seguida mede-se a distância entre as marcas após seu alongamento (distância L0). Passado o tempo predeterminado, deve-se retirar o corpo de prova do aparelho e medir novamente a distância entre as marcas iniciais efetuadas no início do experimento (distância L1).

Para atender às exigências do tipo de malha analisado, as cargas foram alteradas em relação à norma original, utilizando-se os seguintes valores:

L = medida inicial com carga de pré-tensão de 30 gf

L0 = medida após 1 min com carga de 600 gf

L1 = medida após 3 min com carga de pré-tensão de 30 gf

Os valores percentuais de alongamento (A%) e elasticidade (EI%) são obtidos após a realização do experimento através das seguintes relações:

$$A\% = 100 \times (L0 - L) / L$$

$$EI\% = 100 \times (L0 - L1) / (L0 - L)$$

4.3.6 Porcentagem de elastano

A porcentagem de elastano nas amostras foi determinada conforme norma ISO 1833-20:2009.

Nesse procedimento, os corpos de provas (três), após pesagem inicial são tratados com dimetilacetamida, que dissolve o elastano. Após dissolução os corpos de prova são secados em estufa a 60°C e a seguir são novamente

pesados. A porcentagem de elastano é dada pela diferença entre as duas pesagens em relação ao peso inicial. Os materiais utilizados são:

- Becker
- Balança com precisão de 0,001g
- Estufa

4.3.7 Permeabilidade ao vapor de água

A permeabilidade ao vapor d'água foi determinada conforme norma ASTM E-96-00 – Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials - Water Method

Nesse ensaio, um recipiente contendo determinada quantidade de água (figura 4.3) é recoberto de forma hermética com o artigo a ser avaliado, distribuído em oito corpos de prova. O recipiente é movimentado de forma contínua em ambiente de atmosfera padrão, sendo a perda de água por evaporação controlada em intervalos de uma hora. A transmissão do vapor de água é determinada pela reação linear entre a perda de peso e o tempo.

Figura 4.3 – Aparelho Shirley Water Vapour Permeability Tester

Fonte: autor

Determina-se a taxa de transmissão de vapor de água em g/h.m^2 , que representa o fluxo contínuo de vapor por unidade de tempo e de área que atravessa no sentido normal as superfícies paralelas de um material, sob

condições específicas de temperatura e umidade. A taxa de vapor por unidade de área é dada pela relação entre o coeficiente angular da reta e a área do corpo de prova (padronizada em 0,00538m²).

Figura 4.4 – Gráfico para calculo da taxa de transmissão de vapor

Fonte: autor

4.4 ANÁLISE DOS DADOS

Após realização dos ensaios nas amostras, os dados obtidos para as várias características medidas foram analisados através do software MINITAB, com obtenção dos seguintes elementos de análise:

- ANOVA
- Gráficos de influência dos fatores e interações
- Gráficos dos efeitos dos fatores principais e interações
- Análise dos resíduos
- Gráficos de superfície de resposta

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados obtidos dos ensaios realizados nas amostras foram analisados com o auxílio do software MINITAB conforme planejamento mostrado na figura 5.1 a seguir.

Factors:	2	Base Design:	2; 4
Runs:	10	Replicates:	2
Blocks:	none	Center pts (total):	2
Display Order: Standard Order			
Display Units: Uncoded			
Factors and Their Uncoded Levels			
Factor Name		Low	High
A	LFA PA (cm/volta)	830	970
B	Tensão EL (cN)	3	7

Figura 5.1 – Planejamento fatorial MINITAB

Fonte: autor

Inicialmente, a análise do ponto central mostra que, para todas as propriedades analisadas, não existe efeito de curvatura ao nível de 95% de confiança na relação de cada uma delas com o LFA da poliamida e a tensão do elastano, conforme mostram os valores p na tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Valor p para curvatura

Propriedade	valor p
gramatura	0,372
largura	0,224
densidade (malhas/cm ²)	0,190
espessura	0,067
alongamento na largura	0,326
elasticidade na largura	0,342
alongamento no comprimento	0,200
elasticidade no comprimento	0,566
% de elastano	0,534
permeabilidade ao vapor	0,883

5.1 GRAMATURA

Os resultados obtidos nos ensaios de gramatura estão mostrados na tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Resultados de gramatura

Amostra	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	LFA PA (cm/volta)	Tensão EL (cN)	gram. (g/m ²)
1	1	2	1	1	830	3	326,6
4	2	4	1	1	970	3	341,8
2	3	6	1	1	830	7	337,0
3	4	10	1	1	970	7	361,4
1A	5	8	1	1	830	3	321,9
4A	6	5	1	1	970	3	335,0
2A	7	1	1	1	830	7	334,1
3A	8	7	1	1	970	7	355,2
5	9	9	0	1	900	5	341,7
5A	10	3	0	1	900	5	342,7

Os gráficos da figura 5.2 mostram os efeitos e interações para a variável resposta gramatura. É possível observar que o LFA da Poliamida e a Tensão do Elastano têm efeitos da mesma ordem de grandeza e que não há interação entre os fatores ao nível de 95% de confiança.

Figura 5.2 – Gráficos de efeitos e interação - gramatura

Fonte: autor

O gráfico de superfície da figura 5.3 mostra a relação da gramatura com LFA e tensão, onde é possível verificar que a gramatura da malha aumenta com um aumento dos dois fatores. Note-se que essa relação de gramatura e LFA é inversa à que ocorre em malhas sem elastano, onde um aumento do LFA implica em diminuição da gramatura (ARAUJO e CASTRO, 1986).

Figura 5.3 – Gráfico de superfície – Gramatura x LFA PA; Tensão EL

Fonte: autor

5.2 LARGURA

Os resultados obtidos nos ensaios de largura de malha estão mostrados na tabela 5.3.

As medidas de largura foram obtidas com as malhas sem serem abertas, ainda em forma tubular de maneira que a largura da malha aberta é igual a duas vezes a largura tubular.

Os gráficos da figura 5.4 mostram os efeitos e interação para a variável resposta largura.

Tabela 5.3 – Resultados de largura tubular

Amostra	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	LFA PA (cm/volta)	Tensão EL (cN)	larg. (cm)
1	1	2	1	1	830	3	76,2
4	2	4	1	1	970	3	77,0
2	3	6	1	1	830	7	74,0
3	4	10	1	1	970	7	75,3
1A	5	8	1	1	830	3	76,0
4A	6	5	1	1	970	3	76,9
2A	7	1	1	1	830	7	74,2
3A	8	7	1	1	970	7	75,8
5	9	9	0	1	900	5	75,8
5A	10	3	0	1	900	5	76,1

Pode-se observar que ambos os fatores têm efeitos estatisticamente significativos ao nível 95% de confiança e não existe interação significativa entre eles. Os dois fatores têm efeitos inversos sobre a largura da malha.

Figura 5.4 – Gráficos de efeitos e interação - largura

Fonte: autor

O gráfico de superfície da figura 5.5 mostra a relação da largura com LFA e tensão. Observa-se que a largura diminui com o aumento da tensão do elastano e aumenta com o aumento do LFA da poliamida. No entanto, essas

variações, embora estatisticamente significativas, são pequenas na prática. Ao explorar uma variação dos fatores de 17 % no LFA da poliamida (830 a 970 cm/volta) e de 130 % na tensão do elastano (3 a 7 cN) a variação máxima obtida na largura é de menos de 4%.

Figura 5.5 – Gráfico de superfície – Largura x LFA PA; Tensão EL

Fonte: autor

5.3 DENSIDADE

Os resultados de densidade de malhas por unidade de área (malhas/cm²) obtidos estão mostrados na tabela 5.4. Esses valores foram obtidos pelo resultado da multiplicação de carreiras/cm por colunas/cm.

Os gráficos da figura 5.6 mostram os efeitos e interação para a variável densidade em função dos fatores LFA da poliamida e tensão do elastano.

Pode-se observar que os dois fatores têm efeitos estatisticamente significativos ao nível 95% de confiança. Os dois fatores têm efeitos inversos sobre a densidade.

Tabela 5.4 – Resultados de densidade (malhas/cm²)

Amostra	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	LFA PA (cm/volta)	Tensão EL (cN)	malhas/cm ²
1	1	2	1	1	830	3	536,3
4	2	4	1	1	970	3	465,0
2	3	6	1	1	830	7	569,5
3	4	10	1	1	970	7	512,0
1A	5	8	1	1	830	3	528,0
4A	6	5	1	1	970	3	457,3
2A	7	1	1	1	830	7	561,0
3A	8	7	1	1	970	7	496,0
5	9	9	0	1	900	5	528,0
5A	10	3	0	1	900	5	520,0

Figura 5.6 – Gráficos de efeitos e interação - densidade

Fonte: autor

O gráfico de superfície da figura 5.7 mostra a relação da densidade com LFA e tensão. Observa-se que a densidade aumenta com o aumento da tensão do elastano e diminui com o aumento do LFA da poliamida, sendo os maiores valores obtidos com o menor LFA e maior tensão. A relação entre LFA e densidade tem o mesmo efeito das malhas sem elastano, ou seja, um aumento do LFA produz uma diminuição na densidade das malhas.

Figura 5.7 – Gráfico de superfície – Densidade (malhas/cm²) x LFA PA; Tensão EL

Fonte: autor

Nas malhas sem elastano, conforme Araújo e Castro (1986), a gramatura tem forte correlação linear com a densidade de malhas para um mesmo ligamento e mesmo fio. Quanto maior a densidade, maior a gramatura.

No caso das malhas com elastano aqui estudadas a correlação encontrada para essas duas variáveis é fraca ($r = 0,225$; $r^2 = 5,1\%$) conforme mostrado nas figuras 5.8 e 5.9 obtidas no Minitab.

Correlations: malhas/cm²; gramatura

Pearson correlation of malhas/cm² and gramatura = -0,225
P-Value = 0,532

Figura 5.8 – correlação linear entre gramatura e densidade

Fonte: autor

Figura 5.9 – Regressão linear para gramatura x malhas/cm²

Fonte: autor

5.4 ESPESSURA

Os resultados de espessura das malhas (mm) estão mostrados na tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Resultados de espessura

Amostra	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	LFA PA (cm/volta)	Tensão EL (cN)	esp. (mm)
1	1	2	1	1	830	3	0,634
4	2	4	1	1	970	3	0,782
2	3	6	1	1	830	7	0,664
3	4	10	1	1	970	7	0,808
1A	5	8	1	1	830	3	0,624
4A	6	5	1	1	970	3	0,776
2A	7	1	1	1	830	7	0,648
3A	8	7	1	1	970	7	0,802
5	9	9	0	1	900	5	0,730
5A	10	3	0	1	900	5	0,726

Os gráficos da figura 5.10 mostram os efeitos e interação para a variável espessura em função dos fatores LFA da poliamida e tensão do elastano. Pode-se observar que os dois fatores têm efeitos estatisticamente significativos ao nível 95% de confiança. Não há interação entre os dois fatores.

Figura 5.10 – Gráficos de efeitos e interação - espessura

Fonte: autor

Figura 5.11 – Gráfico de superfície – Espessura x LFA PA; Tensão EL

Fonte: autor

O gráfico de superfície da figura 5.11 mostra a relação da espessura com LFA e tensão do elastano. Observa-se que a espessura aumenta muito com o aumento do LFA da poliamida e pouco com o aumento da tensão do elastano. Em malhas sem elastano não há variação significativa de espessura com variação do LFA, conforme já haviam verificado, entre outros, Marmarali (2003) e Tezel e Kavusturan (2008).

Através das figuras 5.12 e 5.13 é possível verificar a forte correlação entre gramatura e espessura para malhas de poliamida com elastano ($r = 0,84$; $r^2 = 70,6\%$)

Correlations: espessura; gramatura

Pearson correlation of espessura and gramatura = 0,840
P-Value = 0,002

Figura 5.12 – correlação linear entre gramatura e espessura

Fonte: autor

Figura 5.13 – Regressão linear para gramatura x espessura

Fonte: autor

Esses resultados permitem deduzir que as malhas com elastano se comportam geometricamente de forma diferente das malhas sem elastano.

As malhas apresentam três dimensões mostradas na figura 5.14: carreiras, colunas e espessura.

Figura 5.14 – as três dimensões da malha

Fonte: adaptado de Choi e Lo (2003)

Nas malhas sem elastano as alterações de LFA atuam principalmente em duas das três dimensões da malha: carreiras e colunas. Assim um aumento de LFA provoca um aumento nas dimensões das colunas e carreiras e uma consequente diminuição na densidade da malha, enquanto que a espessura pouco se altera, conforme figuras 5.15.

Figura 5.15 – variação de LFA em malha sem elastano

Fonte: autor

Já as malhas com elastano tendem a se apresentarem bastante mais densas e com maior espessura pois o elastano força a estrutura a uma compactação máxima quando relaxada, conforme mostra a figura 5.16.

Figura 5.16 – comparativo de densidade em malhas com e sem elastano

Fonte: autor

Dessa forma com a estrutura muito compactada, qualquer aumento de LFA proporcionará uma quantidade adicional de fio rígido que, sem ter muito espaço nas dimensões de carreiras e colunas, irá se colocar na outra dimensão, aumentando a espessura da malha conforme mostra a figura 5.17.

Figura 5.17 – variação de LFA em malha com elastano

Fonte: autor

5.5 PORCENTAGEM DE ELASTANO

Os resultados de % de elastano das malhas (mm) estão mostrados na tabela 5.6.

Tabela 5.6 – Resultados de % de Elastano

Amostra	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	LFA PA (cm/volta)	Tensão EL (cN)	% Elastano
1	1	2	1	1	830	3	10,6
4	2	4	1	1	970	3	11,0
2	3	6	1	1	830	7	8,7
3	4	10	1	1	970	7	9,3
1A	5	8	1	1	830	3	10,1
4A	6	5	1	1	970	3	10,6
2A	7	1	1	1	830	7	8,4
3A	8	7	1	1	970	7	9,0
5	9	9	0	1	900	5	10,0
5A	10	3	0	1	900	5	9,7

Os gráficos da figura 5.18 mostram os efeitos e interação para a variável % de elastano em função dos fatores LFA da poliamida e tensão do elastano.

Figura 5.18 – Gráficos de efeitos e interação - % de elastano

Fonte: autor

Pode-se observar que somente a tensão do elastano tem efeito estatisticamente significativo ao nível 95% de confiança e não há interação entre os dois fatores. O gráfico de superfície da figura 5.19 mostra o comportamento da % de elastano em função dos fatores analisados.

Figura 5.19 – Gráfico de superfície – % Elastano x LFA PA; Tensão EL

Fonte: autor

5.6 ALONGAMENTO

Os resultados de alongamento na largura (alon. larg.) e no comprimento (along. comp.) estão mostrados na tabela 5.7 e refletem a capacidade da malha em se alongar quando submetida a determinada carga.

Tabela 5.7 – Resultados de alongamento

Amostra	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	LFA PA (cm/volta)	Tensão EL (cN)	Along. comp. (%)	Along. larg. (%)
1	1	2	1	1	830	3	73,8	51,4
4	2	4	1	1	970	3	114,8	90,3
2	3	6	1	1	830	7	66,9	46,7
3	4	10	1	1	970	7	111,5	81,7
1A	5	8	1	1	830	3	76,0	50,3
4A	6	5	1	1	970	3	111,5	81,7
2A	7	1	1	1	830	7	69,2	48,5
3A	8	7	1	1	970	7	113,9	89,5
5	9	9	0	1	900	5	94,6	69,3
5A	10	3	0	1	900	5	95,2	71,8

Os gráficos de efeitos e interações (figuras 5.20 e 5.21) mostram comportamentos similares nos alongamentos na largura e no comprimento.

Figura 5.20 – Gráficos de efeitos e interação – alongamento na largura

Fonte: autor

Figura 5.21 – Gráficos de efeitos e interação – alongamento no comprimento

Fonte: autor

Figura 5.22 – Gráfico de superfície – alongamento na largura x LFA PA; Tensão EL

Fonte: autor

Figura 5.23 – Gráfico de superfície – alongamento no comprimento x LFA PA; Tensão EL

Fonte: autor

Em ambos os casos a fator determinante no alongamento é o LFA da poliamida sendo que a tensão do elastano tem muito pouca (comprimento) ou nenhuma (largura) influência significativa estatisticamente.

Esse comportamento que pode se observado nos gráficos das figuras 5.22 e 5.23, é explicável pelo fato de que quando se aumenta o LFA o fio excedente é “estocado” na espessura da malha deixando represado um potencial de alongamento quando solicitado que será maior quanto maior for essa quantidade de fio (LFA).

5.7 ELASTICIDADE

A medida de elasticidade reflete a capacidade da malha de recuperar sua medida original uma vez retirada a carga aplicada para medida do alongamento após determinado tempo. Está expressa como porcentagem recuperada da medida inicial.

A tabela 5.8 mostra os resultados de elasticidade no sentido da largura e no sentido do comprimento.

Tabela 5.8 – Resultados de elasticidade

Amostra	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	LFA PA (cm/volta)	Tensão EL (cN)	Elast. comp. (%)	Elast. larg. (%)
1	1	2	1	1	830	3	85,0	86,2
4	2	4	1	1	970	3	84,5	83,3
2	3	6	1	1	830	7	84,5	86,7
3	4	10	1	1	970	7	85,0	83,8
1A	5	8	1	1	830	3	84,7	85,7
4A	6	5	1	1	970	3	85,0	83,8
2A	7	1	1	1	830	7	83,9	85,6
3A	8	7	1	1	970	7	84,1	82,6
5	9	9	0	1	900	5	85,3	85,5
5A	10	3	0	1	900	5	84,1	82,1

Os gráficos de efeitos e interações (figuras 5.24 e 5.25) mostram os comportamentos da elasticidade na largura e no comprimento. Verifica-se que estatisticamente ao nível de 95% de confiança, no sentido da largura nenhum dos fatores estudados tem influência, enquanto que no sentido do comprimento somente o LFA da poliamida tem efeito.

Os gráficos de superfície das figuras 5.26 e 5.27 mostram o comportamento da elasticidade em função dos dois fatores analisados.

Figura 5.24 – Gráficos de efeitos e interação – elasticidade na largura

Fonte: autor

Figura 5.25 – Gráficos de efeitos e interação – elasticidade no comprimento

Fonte: autor

Figura 5.26 – Gráfico de superfície – elasticidade na largura x LFA PA; Tensão EL

Fonte: autor

É possível verificar pelo gráfico da figura 5.26 que a variação obtida na elasticidade na largura em relação ao LFA da poliamida é bastante pequena ficando em limites entre 83 e 86 % para variações extremas de LFA. No caso da elasticidade no comprimento não foi produzido gráfico de superfície de resposta dado que nenhum dos fatores estudados tem influência na variável resposta.

Provavelmente a carga aplicada no ensaio (600 cN) não foi suficiente para provocar alterações de recuperação elástica que fosse sensível aos fatores analisados, sobretudo a tensão do elastano.

5.8 PERMEABILIDADE AO VAPOR

Os resultados de permeabilidade ao vapor d'água estão mostrados na tabela 5.9.

Os gráficos da figura 5.27 mostram o comportamento da propriedade permeabilidade ao vapor em relação aos fatores estudados. É possível verificar

que, ao nível de confiança de 95%, tanto a tensão do elastano como o LFA da poliamida não têm influência no valor obtido de permeabilidade ao vapor. Com efeito, conforme explicado no capítulo 5.4, a compactação obtida nas malhas de elastano é tão grande (figura 5.16) que a alteração de densidade provocada pela mudança desses fatores não é suficiente para interferir no transporte de vapor ao longo da estrutura da malha. Nesses casos, o tipo de fibra tende a ter influência preponderante conforme demonstrado por Gasi et al (2010), além de outros fatores como título do fio e finura da máquina.

Tabela 5.9 – Resultados de permeabilidade ao vapor

Amostra	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	LFA PA (cm/volta)	Tensão EL (cN)	perm. Vapor (g/h.m ²)
1	1	2	1	1	830	3	23,9
4	2	4	1	1	970	3	24,0
2	3	6	1	1	830	7	25,3
3	4	10	1	1	970	7	26,3
1A	5	8	1	1	830	3	26,7
4A	6	5	1	1	970	3	27,6
2A	7	1	1	1	830	7	26,7
3A	8	7	1	1	970	7	29,3
5	9	9	0	1	900	5	25,2
5A	10	3	0	1	900	5	27,7

Figura 5.27 – Gráficos de efeitos e interação – permeabilidade ao vapor

Fonte: autor

Como os fatores estudados não têm influência na variável permeabilidade ao vapor, não foi produzido gráfico de superfície de resposta nesse caso.

5.9 RESUMO DAS ANÁLISES

A tabela 5.10 mostra um resumo dos efeitos principais codificados dos fatores estudados nas variáveis analisadas.

A tabela 5.11 mostra um resumo dos resultados analisados e as principais conclusões na relação entre os fatores LFA da poliamida e tensão do elastano nas várias propriedades estudadas. As setas marcadas entre parênteses ($\searrow$, $\nearrow$) indicam que, para aquela determinada característica, embora exista uma significância estatística com 95% de confiança, os valores encontrados apresentam diferenças muito pequenas e que na prática pode ser assumida como sem influência ($\leftrightarrow$).

Tabela 5.10 – Resumo dos efeitos principais codificados

	LFA POLIAMIDA	TENSÃO ELASTANO
Gramatura	18,475	15,165
Largura	1,150	-1,700
Densidade	-63,130	38,000
Espessura	0,149	0,026
% elastano	0,525	-1,725
Alongamento no comprimento	41,444	-3,656
Alongamento na largura	36,589	-1,834
Elasticidade no comprimento	0,558	0,277
Elasticidade na largura	-3,162	0,384
Permeabilidade ao vapor	1,140	1,336
significativo		
significativo estatisticamente mas não na prática		
não significativo		

Tabela 5.11 – Resumo dos resultados

	LFA POLIAMIDA	TENSÃO ELASTANO
Gramatura	↗	↗
Largura	↔ (↗)	↔ (↘)
Densidade	↘	↗
Espessura	↗	↗
% elastano	↔	↘
Alongamento no comprimento	↗	↔ (↘)
Alongamento na largura	↗	↔
Elasticidade no comprimento	↔	↔
Elasticidade na largura	↔ (↘)	↔
Permeabilidade ao vapor	↔	↔

↗ diretamente proporcional

↘ inversamente proporcional

↔ sem influência

5.10 APLICAÇÃO PRÁTICA

O conhecimento do comportamento das malhas com elastano bem como dos fatores responsáveis por esse comportamento permite desenvolver produtos com características específicas para determinada aplicação através da correta definição das regulagens básicas a serem utilizadas na produção do tecido. Como exemplo é possível mostrar sua aplicação no desenvolvimento de tecido para utilização em prática esportiva.

Segundo Voyce et al (2005), movimentos corporais simples como dobrar os cotovelos ou joelhos fazem com que a pele se estique em até 50%. Movimentos extenuantes envolvidos na prática de esportes ativos exigem esticar ainda mais. A diferença dramática entre a elasticidade da pele e a falta de elasticidade dos tecidos convencionais resulta em restrições de movimentos para o atleta e consequente perda de desempenho.

Assim, foi considerada a opção do processamento de tecido em malharia circular para melhor estrutura do tecido além do uso de um fio elastômero para proporcionar maior elasticidade ao artigo. A fibra de base será microfibras de poliamida texturizada para atender os requisitos de regulação térmica e toque, conforme Vasconcelos (2006);

O artigo a ser produzido deverá obedecer aos seguintes requisitos:.

- A gramatura da malha relaxada deve estar entre 325 e 335g/m².
- A espessura da malha não deve ultrapassar 0,7 mm para não prejudicar o conforto térmico do artigo.
- Deverá apresentar bom índice de alongamento: mínimo de 60% nos dois sentidos.
- O percentual de elastano deve estar entre 8 e 10% para não aumentar demais o custo e não prejudicar as demais características relacionadas ao conforto.

Conhecendo e aplicando as relações entre os fatores de regulação e as especificações das propriedades do tecido é possível determinar a regulação ótima da máquina de malharia para obter uma base de malha que possa atender aos requisitos solicitados, conforme mostrado a seguir:

$$\text{Gramatura} \rightarrow 325,0 \leq 0,132 \text{ LFA}_{\text{PA}} + 3,90 \text{ T}_{\text{EL}} + 201,4 \leq 335,0$$

$$\text{Espessura} \rightarrow 0,001 \text{ LFA}_{\text{PA}} + 0,007 \text{ T}_{\text{EL}} - 0,275 \leq 0,7$$

$$\text{Alongamento largura} \rightarrow 0,26 \text{ LFA}_{\text{PA}} - 167,1 \geq 60,0$$

$$\text{Alongamento comprimento} \rightarrow 0,30 \text{ LFA}_{\text{PA}} - 173,7 \geq 60,0$$

$$\% \text{ Elastano} \rightarrow 8,0 \leq -0,43 \text{ T}_{\text{EL}} + 11,9 \leq 10,0$$

A solução gráfica do sistema acima pode ser observada no gráfico de sobreposição de contornos de superfícies de respostas (overlaid contour plot)

do minitab, mostrado na figura 5.28, onde a área branca representa a resposta que atende a todas as especificações.

Figura 5.28 – Gráfico de sobreposição de superfícies de resposta

Fonte: autor

Essa metodologia tem a vantagem de permitir visualizar todas as possibilidades de resposta do sistema dentro dos limites do processo utilizados no estudo, segundo Khuri e Cornell (1987).

Assim pode-se escolher, por exemplo, a solução que apresente menor lfa da poliamida (menor consumo de fio) e, portanto, menor custo e também menor tensão do elastano com menores possibilidades de ruptura do fio durante o tecimento e, conseqüentemente, maior qualidade e menor custo. Esta solução está mostrada com os respectivos valores de regulagens na figura 5.29 a seguir.

Assim as regulagens de máquina otimizadas para atender às especificações seriam:

- LFA da poliamida = 870 cm/volta
- Tensão do elastano = 4 cN

Figura 5.29 – Gráfico de sobreposição de superfícies de resposta

Fonte: autor

De acordo com o proposto por Montgomery (1991), foi efetuado novo ensaio para validação dos resultados, na mesma máquina e com os mesmos fios, utilizando os valores calculados de LFA da poliamida e tensão do elastano na regulação da máquina.

Foram produzidas cinco amostras de malha nessas condições.

As malhas produzidas foram submetidas ao mesmo processo de relaxamento (tabela 4.5) e a seguir foram avaliados os parâmetros de especificação conforme as mesmas normas descritas no capítulo 4.3:

- Gramatura
- Espessura
- Alongamento nos dois sentidos
- Porcentagem de elastano

A seguir foram determinados os intervalos de confiança para media das amostras (95% de confiança).

A Tabela 5.12 mostra os intervalos de confiança calculados, comparativamente com os valores especificados e os valores determinados no mintab.

Tabela 5.12 – Resultados do ensaio de validação

	Especificado	Determinado pelo minitab	Ensaio de validação		
			IC 95%	inf.	sup.
Gramatura (g/m²)	325 a 335	331,5	330,9 ± 2,0	328,9	332,9
Espessura (mm)	< 0,7	0,679	0,667 ± 0,012	0,655	0,679
Alongamento comp. (%)	> 60	84,0	83,5 ± 1,5	82,0	85
Alongamento larg. (%)	> 60	60,0	58,8 ± 1,9	56,9	60,7
% Elastano	8 a 10	10,0	9,9 ± 0,2	9,7	10,1

É possível verificar que, em todos os casos, os valores determinados no minitab estão dentro dos Intervalos de confiança calculados e que todas as especificações estão satisfeitas nas malhas produzidas, comprovando a validade do procedimento utilizado.

CONCLUSÃO

Através dos ensaios e análises efetuados nesse trabalho foi possível verificar como se comportam as propriedades básicas das malhas de poliamida/elastano em função de dois importantes fatores de regulação de máquina: o LFA da poliamida e a tensão do elastano. Foi possível verificar as seguintes relações:

- Ambos os fatores influenciam na densidade da malha sendo esta inversamente proporcional ao LFA da poliamida e diretamente proporcional à tensão do elastano;
- Na porcentagem de elastano o efeito primordial é da tensão do elastano e de forma inversamente proporcional;
- Na espessura o efeito preponderante é do LFA da poliamida e diretamente proporcional;
- Na gramatura da malha tanto o LFA da Poliamida como a tensão do elastano têm efeitos equivalentes e ambos diretamente proporcionais;
- No alongamento (nos dois sentidos) o efeito é exclusivo do LFA da poliamida (diretamente proporcional), sem influência da tensão do elastano;
- As demais características - largura, elasticidade e permeabilidade ao vapor não sofrem influências significativas de nenhum dos dois fatores.

Com relação à gramatura da malha verificou-se que sofre influência equivalente dos dois fatores analisados. Um aumento no nível dos fatores, seja o LFA da poliamida seja a tensão do elastano, provoca um aumento na variável resposta, ou seja um aumento na gramatura da malha. No caso da tensão do elastano, um aumento do seu valor provoca uma maior contração da malha após relaxamento e, conseqüentemente, maior densidade e maior massa por unidade de área. Já no caso do LFA da poliamida, embora haja uma pequena diminuição na densidade (malhas/cm²), um aumento do LFA provoca um considerável aumento na espessura da malha, o que acaba se refletindo num aumento da gramatura.

A capacidade de alongamento da malha quando submetida a determinada carga é determinada predominantemente pelo LFA da poliamida.

Com efeito, quando se aumenta o LFA aumenta a quantidade de fio na malha, o qual fica “estocado” na espessura da mesma, uma vez que a presença do elastano faz a malha se concentrar nas dimensões de comprimento e largura (carreiras e colunas). Quando a malha é solicitada, inicialmente se deforma no sentido da aplicação da carga e numa segunda fase utiliza o fio “estocado” diminuindo sua espessura. Dessa forma, quanto mais espessa for a malha maior será seu potencial de alongamento tanto no sentido da largura quanto do comprimento.

A elasticidade das malhas, que reflete a capacidade de recuperação depois de submetida à tensão, depende principalmente do elastano, porém no nível de carga utilizado a diferença na tensão do elastano aplicada na regulação da máquina não foi suficiente para alterar o nível de recuperação elástica. Esse valor também independe do LFA da poliamida.

Dessa forma, independentemente da tensão do elastano, uma malha com maior LFA alonga mais com a mesma carga aplicada sem perder em recuperação elástica.

Finalmente, no que diz respeito à permeabilidade ao vapor nenhum dos fatores tem influência pois as malhas já são naturalmente bastante fechadas independentemente da regulação dos fatores analisados, o que implica em baixa porosidade da malha independentemente dos níveis dos fatores analisados.

Os resultados obtidos confirmam as hipóteses com exceção da elasticidade em relação à tensão do elastano que não mostrou alteração significativa, provavelmente em função da carga utilizada. Se fossem utilizadas cargas próximas à carga de ruptura esse efeito deveria ter significância.

Com o conhecimento das relações envolvidas no processo é possível projetar quais as regulações de máquinas necessárias para atingir determinadas especificações e/ou necessidades de comportamento de malhas permitindo um desenvolvimento lógico do produto. É possível ainda visualizar toda a dimensão de possibilidades de resposta o que possibilita levar em consideração outros parâmetros secundários não abrangidos no estudo como custo, índice de defeitos, etc. conforme mostrado no exemplo de aplicação

descrito no trabalho. Esses aspectos são importantes pois mostram o potencial de aplicação prática desse estudo.

Como sugestões para trabalhos futuros podem ser destacadas:

- Estudo semelhante em malhas vanisadas de poliéster/elastano;
- Estudo semelhante em malhas de poliamida e/ou poliéster com fios de elastano recoberto;
- Estudar de forma mais ampla as propriedades elásticas das malhas com elastano;
- Estudar o fator de cobertura de malhas com elastano.

REFERÊNCIAS

ABDESSALEM, S.B., ABDELKADER, Y.B., MOKHTAR, S., ELMARZOUGUI, S., **Influence of Elastane Consumption on Plated Plain Knitted Fabric Characteristics**, Journal of Engineered Fibers and Fabrics, Volume 4, Issue 4, 2009, p. 30 – 35

ABDESSALEM, S.B., ELMARZOUGUI, S., SAKLI, F., **Dynamic fatigue on plain knitted fabric**, Journal of textile and apparel, technology and management, vol 5, issue 2, 2006

ABRAMAVICIUTE, J., MIKUCIONIENE, D., CIUKAS, R., **Structure Properties of Knits from Natural Yarns and their combination with elastane and polyamide threads**, Materials Science, vol. 17, nº 1, 2011

ABRAFAS, Associação Brasileira de Produtores de Fibras Artificiais e Sintéticas – **A Indústria Brasileira de Fibras Artificiais e Sintéticas** – São Paulo, 1999.

AGUIAR NETO, P. P., **Fibras Têxteis – vol. I e II**, SENAI-CETIQT, Rio de Janeiro, 1996

AISAKA, N., KAWAKAMI, T., SHINDO, T., **Knitting Tension During Weft-Knitting**, Journal of the Textile Machinery Society of Japan, Transactions, Vol.22, Nº 3, p39—50, 1969.

ALFIERI, Paulo P. M. **Apostila Tecnologia das Fibras II**, FEI – Fundação Educacional Inaciana. São Bernardo do Campo, 2005. Apostila não publicada.

ALFIERI, Paulo P. M. **Apostila Tecnologia das Fibras III**, FEI – Fundação Educacional Inaciana. São Bernardo do Campo, 2005. Apostila não publicada.

ANGELOVA, Y., CUDEN, A. P., HLADNIK, A., **Assessment Of The Influence Of The Structural, Material And Processing Parameters On The Knitted Loop Length With ANOVA**, International Scientific Conference, Nov. 2010, Gabrovo.

ARAÚJO, M., CASTRO, E.M.M., **Manual de Engenharia Têxtil**. Vol.1 e 2, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1986

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I.S. E BRUNS, R.E., **Como fazer experimentos – Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. Editora Unicamp. Campinas, 2001

BARTELS, V. T., **Physiological comfort of sportswear**, The Textile Institute, CRC Press, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2005

BATRA, S. K.; BERTONIERI, N. R.; BLANCHARD, E. J.; BRAGG, C. K.; CALAMARI, T. A.; DAUL, G. C.; DYER, J., **Handbook of fiber chemistry**. 2nd. ed., New York: Marcel Dekker, 1998.

BAYKALDI, B., TASKIN, C., ÜNAL, P. G., ARIKAN, C, SENOL, M. F., **Parameters Affecting The Properties Of The Spliced Cotton/Elastane Blended Core Yarns**, Tekstil Ve Konfeksiyon, fev. 2011, p 140-146

BENLTOUFA, S., FAYALA, F., BENNASRALLAH, S., **Capillary Rise in Macro and Micro Pores of Jersey Knitting Structure**. Journal of Engineered Fibers and Fabrics, vol. 3, 3 ed., 2008.

BENLTOUFA, S., FAYALA, F., CHEIKHROUHOU, M., BENNASRALLAH, S., **Porosity Determination Of Jersey Structure**, AUTEX Research Journal, Vol. 7, No 1, Mar 2007, p 63-69.

BISFA, The Internacional Bureau for the Standardization of Man-Made Fibers, **Terminology of man-made fibers**, 2009 Edition, Brussels, 2009

BOGATY, H.; HOLLIES, N. R. S.; HARRIS, M., **Some Thermal Properties of Fabrics**, Textile Research Journal, jun 1957, p 445-449.

BUTTON, S.T. **Metodologia para planejamento experimental e análise de resultados**. Campinas: FEM, Universidade Estadual de Campinas, 2001. Apostila não publicada.

CAMPOS, M. S., **Desvendando o Minitab**, Rio de Janeiro: Ed. Qualitymark, 2003, p. 147-178, 183-191.

CATARINO, A. P. A. W., **Dinâmica Da Tricotagem: Estudo Da Dinâmica Da Tensão De Entrada Do Fio E Sua Aplicação Em Controlo De Qualidade**, Universidade do Minho, dissertação de mestrado, Guimarães, 1998

CHOI, M. S., ASHDOWN, S. P., **Effect of changes in knit structure and density on the mechanical and hand properties of weft-knitted fabrics for outwear**, Textile Research Journal, 70 (12), 2000, p1033–1045.

CHOI, K. F., LO, T. Y., **An energy model of plain knitted fabrics**. Textile Research Journal , 73(8), 2003, p 739–748

COSTA NETO, P.L.O. **Estatística**. São Paulo. Editora Edgard Blucher Ltda, 1977.

CUDEN, A. P., **Parameters of Compact Single Weft Knitted Structure (Part 3): Fabric Thickness and Knapton Constant**, Tekstilec, 54, 1-3, p 5-15, 2011

CUDEN, A. P., HLADNIK, A., **Analysis of loop length basic weft knitted structures with elastane**, Tekstil, 59 (11), 2010, p 492-499.

CUDEN, A. P., HLADNIK, A., and SLUGA, F., **Impact of material, structure and relaxation process parameters of elasticized single-knitted fabrics on loop length**, Textile Research Journal, 0(00) 1–10, 2012

CUDEN, A. P., SRDJAK, M., PELKO, H., **Optimization of the cotton/Lycra plain knitted Fabric parameters**, International Journal of Polymeric Materials, 47, 2000, p. 633 – 648.

CUDEN, A. P., ANGELOVA, Y., HLADNIK, A., **Influence of process and structural parameters of elasticised knitted fabrics on loop length**, Tekstil 60 (2-3), 2011, p 57-64

DANG, M., WANG, S., LIU, G., **Theoretical Prediction on Tensile Model of Wool/Spandex Core-spun Yarn**, Journal Of Industrial Textiles, Vol. 37, N° 4, Abr 2008.

DEOPURA, B. L. (Ed.) et al. **Polyamide Fibers**, em: _____. **Polyesters and polyamides**. Cambridge: CRC, 2008. cap. 2. p. 41-60.

DHOUB, A. B., EL-GHEZAL, S., CHEIKHROUHOU, M., **A study of the impact of elastane ratio on mechanical properties of cotton wrapped elastane-core spun yarns**, Journal Of The Textile Institute, 2006, Vol. 97, No. 2, p 167–172

DOMENECH, C., **Seleção do esquema de amostragem**, Falando de qualidade, Banas, nº 146, 80-82, 2004

DORLASTAN, **Dorlastan in circular knitting**, Dorlastan product information technical report, Asahi Kasei Spandex Europe GmbH, Germany, 2008.

DOYLE, D.J., **Fundamental aspects of the design of knitted fabrics**. Journal of The Textile Institute, Manchester, n. 44, p. 561-578, 1953.

DREAN, J.Y., SILVA, A. C.; SILVA, M. C., **Relationships between mechanical properties of fibres and yarns**. [S.l.]: Universidade de Minho, 1991.

EASTER, E., ANKENMAN, B. E., **Evaluation of the Care and Performance**

of Comfort-Stretch Knit Fabrics, AATCC Review, nov. 2006, p 28-32

FATKIC, E., GERSAK, J., UJEVIC, D., **Influence of Knitting Parameters on the Mechanical Properties of Plain Jersey Weft Knitted Fabrics**, Fibres & Textiles in Eastern Europe, 2011, Vol. 19, No. 5 (88) p. 87-91.

FOURNÉ, F. **Synthetic fibers: machines and equipment, manufacture, properties**. Munich: Hanser, 1998.

GASI, F., BITENCOURT, E., VASCONCELOS, F.B., **Estudo Comparativo Das Propriedades De Permeabilidade Ao Vapor Transporte De Umidade E Proteção Ultravioleta Em Malhas De Poliamida 6.6 E Poliéster Com Elastano**, Química Têxtil, ano XXXIII, mar 2010, p 36-40

GERSAK J., SAJN GORJANC, D., BUKOSEK, V.; **A Study of the Relaxation Phenomena in the Fabrics Containing Elastane Yarns**, International Journal of Clothing Science Technologie, Vol. 17, No. 3/4, 2005, pp. 188-199.

GOKARNESHAN, N., THANGAMANI, K., **An investigation into the properties of cotton/spandex and polyester/spandex knitted fabrics**, The Journal of The Textile Institute, Vol. 101, N° 2, Fev 2010, p 182-186

GORJANC, S., BUKOSEK, V., **The behavior of fabric with elastane yarn during stretching**, Fibres and Textiles in Eastern Europe, 3, 2008, 63-68.

GORJANC, D. S., DIMITROVSKI, K. and BIZJAK, M., **Thermal and water vapor resistance of the elastic and conventional cotton fabrics**, Textile Research Journal, 82(14) 1498–1506, 2012

GUILLÉN, J. G., **Fibras textiles: propiedades y descripción**. Barcelona: UPC, 1991.

GUILLÉN, J. G., **Microfibras**. Barcelona: UPC, 2001.

GUPTA, D., CHATTOPADRYAY, R., BERA, M., **Comfort properties of pressure garments in extended state**, Indian Journal Of Fibre & Textile Research, vol. 36, dez 2011, p 415-421

HEARLE, J. W. S., HOLLICK, L., WILSON, D. K., **Yarn texturing technology**, Woodhead Publishing Ltd, 2001

HERATH, C. N.; KANG, B. C., **Dimensional Stability of Core Spun Cotton/Spandex Single Jersey Fabrics under Relaxation**. Textile Research Journal, Mar 2008, Vol. 78 Issue 3, p209-216

HICKS, E. M.; ULTEE, A.J., DROUGAS, J., **Spandex Elastic Fibers**, SCIENCE, vol. 147, 1965

HIGGINS, L.; ANAND, S., **Textile Materials and Products for Activewear and Sportswear**, Textiles Intelligence Limited, Reino Unido: jul. 2003.

IYER, S., MAMMEL, B., SCHÄCH, W., **Maquinas Circulares: Teoria e Prática de la tecnologia del punto**, Meisenbach Bamberg, 1997

KARIMI, H. R., JEDDI, A. A. A., RASTGOO, A., **Theoretical analysis of load-extension behaviour of plain-weft-knitted fabric**, Journal of The Textile Institute, Vol. 100, No. 1, Jan. 2009, p 18-27

KAWASAKI, K., ONO, T., **Stretch Properties of Weft Knitted Fabrics**, Journal of the Textile Machinery Society of Japan, Transactions, Vol. 19, N° 4, 1966, p 112 – 117.

KESHKARI, K. R., **Effect of yarn feed length on cotton weft knitted fabrics**, The Indian textile Journal, Mar 2002, pp. 131 - 136.

KHAMBRA, K., YADAV, N., **Effect of Tightness factors on dimensional properties of knitted fabric**, Man-made Textiles in India , 62-64, Feb. 2009

KHURI, A. I. e CORNELL, J. A., **Response Surfaces: Designs and Analyses**. Marcel Dekker, Inc., 1987

KNAPTON, J. J. F., **Geometry, dimensional properties and stabilization of the cotton plain jersey structure**. Journal of The Textile Institute, Manchester, n. 66, p. 413-419, 1975.

KONONOVA, O., KRASNIKOVS, A., DZELZITIS, K., KHARKOVA, G., VAGEL, A., EIDUK, M., **Modelling and experimental verification of mechanical properties of cotton knitted fabric composite**, Estonian Journal of Engineering, 2011, 17, 1, p 39–49

KUDRIVIAN, L., **Laboratory practice in knitting technology**, Mir Publishers Moscow, 1985

LEAF, G. A., GLASKIN, A., **The geometry of plain knitted loop**. Journal of The Textile Institute, 1955 , 25 , p 587

LEWIN, M., **Handbook of Fiber Chemistry (International Fiber Science and Technology)**, CRC Press; 3rd edition, Boca Raton, 1998

LORD, P. R., **Handbook of yarn production: technology, science and economics**, Cambridge; The Textile Institute: Boca Raton: CRC, 2003.

MALUF. A e KOLBE. W., **Manual de dados técnicos para a Indústria Têxtil**, IPT, São Paulo, 2003

MARMARALI, A.B., **Dimensional and physical properties of cotton/spandex single jersey fabrics**, Textile Research Journal, Jan 2003

MARMARALI, A.B., OZDIL, N., KRETZSCHMAR, D., **Thermal Comfort Properties of Plain Knitted Fabrics With Elastic Yarn**, Tekstil ve Konfeksiyon, n° 3, 2007, p 178-181

MATTHEWS, J. M., **Textile Fibers: Their Physical, Microscopical, And Chemical Properties**, 5th. Ed, New York: John Wiley, London: Chapman & Hall, 1952.

MEMMINGER/IRO, **Mer 2 – Instruções de operação**, manual técnico, Memminger/Iro GMBH, Dornstatten, 2010

MERRITT, R. E., **A Determinative Model for Calculating Yam Velocity and Tension**, Knitting Times 49(5), 99-103, 1980

MOFEDA, A. R. A., **Effect of Spandex Ratio on the Properties of Woven Fabrics Made of Cotton / Spandex Spun Yarns**, Journal of American Science, 7(12) , 2011

MONTGOMERY, D.C. **Design and analysis of experiments**. John Wiley & Sons. New York, 3ªedição, 1991.

MONTGOMERY, D.C., RUNGER, G.C., **Applied Statistics and Probability for Engineers**, John Wiley and Sons, New York, 1994.

MORTON, W. E.; HEARLE, J. W. S., **Physical properties of textile fibres**. 2nd. ed. London: The Textile Institute, 1975.

MUKHOPADHYAY, A., SHARMA, I. C., MOHANTY A., **Impact of Lycra filament on extension and recovery characteristics of cotton knitted fabric**, Indian Journal of Fibre & Textile Research, Dez. 2003, Vol. 28, pp. 423 - 430.

MUNDEN, D. L. **The dimensional behavior of knitted fabrics**. Journal of The Textile Institute, n. 51, p. 200-209, 1960

MUNDEN, D. L., KNAPTON, J. J. F., FRITH, C. D., **Factors Affecting The Properties Of Plain-Knitted Fabrics Knitted From Bulked And Stretch Yarns**, Journal of The Textile Institute, n° 9, 1961, p 488-507

OERLIKON, **The fiber year 2009/10** – Oerlikon Corporation AG, Pfafficon, 2010

PFANGEN, T., **Finishing of woven and knitted fabrics with elastane fibers**, Asian Textile Business, 585, 2003, 46-51.

PRAKASH, C., **Study on Dimensional Properties of Polyester-Lycra Air Covered Knitted Fabric**, Man-made Textiles in India , 48 - 51, Fev. 2007.

PRAKASH, C., THANGAMANI, K., **Establishing the effect of loop length on dimensional stability of single jersey knitted fabric made from cotton/lycra core spun yarn**, Indian Journal of Science and Technology, Vol. 3, N° 3, Mar 2010.

PUSCH, T., WÜNSCH, I., OFFERMANN, P., **Dynamics of yarn tension on knitting machines**, AUTEX Research Journal, Vol 1, No. 2, Nov. 2000

QIANLI, M., **Reformation of China's Spandex Industry**, China Chemical Reporter, Mai. 2005, p 16-18

RAZ S., **Spandex Knitting Technology**. AATCC Symposium on Elastic Fabrics, Nov. 2-3, 1998, p33

RAMAMURTHY, R., GOVINDARAJAN, S., PILLAY, K. P. R., SIVAKUMAR, V. R., **Positive Feeds for Weft Knits**, Textile Asia 2, p 83-85, 1980

RICHARDS, A. F. Nylon Fibers. In: J. E. MCINTYRE. **Synthetic fibres: nylon, polyester, acrylic, polyolefin**. Textile Institute. Manchester, England: CRC Press, 2005. Cap. 2, p. 20-88

RHODIA POLIAMIDA, **Sal Nylon**, Material interno, não publicado. Santo André: 2000

RHODIA POLIAMIDA, **A Poliamida 6.6 e suas aplicações no vestuário**, material interno, não publicado. Santo André, 2007

RODRIGUES, M.I., IEMMA, A.F.. **Planejamento de experimentos e otimização de processos: uma estratégia sequencial de planejamentos**. Casa do Pão Editora, Campinas, 2005

SADEK, R., EL-HOSSINI, A. M., ELDEEB, A. S., YASSEN, A. A., **Effect of Lycra Extension Percent on Single Jersey Knitted Fabric Properties**, Journal of Engineered Fibers and Fabrics, Volume 7, Issue 2, 2012

SALOPEK, I., SKENDERI, Z., GERSAK, J., **Investigation of knitted fabrics dimensional characteristics**, Textil, 56 (7), 391-398, 2007

SANCHES, R. A. **Procedimento para o desenvolvimento de Tecidos de Malha a partir do Planejamento Experimental**. Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica Universidade Estadual de Campinas, 2006. Tese de doutorado.

SAVILLE, B. P., **Physical testing of textiles.**, Cambridge: Woodhead, 1999.

SAURER, **The fiber year 2005** – Saurer Corporation AG, Pfafficon, 2006

SENTHILKUMAR, M., ANBUMANI, N., **Dynamic elastic behavior of spandex (elastane fiber) plaited cotton knitted fabric.**, Melliand International, Jun 2010, Vol. 16 Issue 3, p108-110.

SENTHILKUMAR, M., ANBUMANI, N., HAIYADANA, J., **Elastane fabrics – a tool for stretch applications in sports**, Indian Journal of Fibre & Textile Research, vol. 36, set 2011, p 300-307.

SENTHILKUMAR, M., ANBUMANI, N., **Dynamics of Elastic Knitted Fabrics for Sports Wear**, Journal Of Industrial Textiles, Vol. 41, N° 1, 2010

SENTHILKUMAR, M., ANBUMANI, N., **Elastic knitted fabrics for tight fit sportswear**, The Indian Textile Journal, jun/2011

SENTHILKUMAR, S., SOUNDERRAJ, S., ANBUMANI, N., **Effect of Spandex Input Tension, Spandex Linear Density and Cotton Yarn Loop Length on Dynamic Elastic Behavior of Cotton/Spandex Knitted Fabrics**, Journal of textile and apparel, technology and management, vol 7, issue 4, 2012

SHAHBAZ, B., NAWAZ, S.M., SAEED, M.A., **Technological studies on elastic core cotton covered yarn**, Pakistan Journal of Applied Sciences, 2(6), 2002

SHINAKARAN, M., SUNDARESAN, S., DASARADAN, B. S., **Comfort properties of apparels**, Department of textile Technology, Kumaraguru College of technology. The Indian textile journal. Coimbatore, mar. 2007

SPENCER, D., **Knitting technology**, Pergamon Press, 3rded, London, 2001.

SU, C. L., YANG, H. Y., **Structure and Elasticity of Fine Elastomeric Yarns**, Textile Research Journal, 74(12), p 1041-1044, 2004.

SU, C. L., MAA, M. C., YANG, H. Y., **Structure and Performance of Elastic Core-Spun Yarn**, Textile Research Journal, jul. 2004, p 607-610

TASMACI, M., **Effects of spandex yarn on single jersey fabrics**, Tekstil konfek, n° 6, 1996

TEXTILES INTELLIGENCE Ltd., **Strong global elastane yarn demand**, Chemical Fibers International, Vol. 61 Issue 4, p183-183, dec. 2011

TEZEL, S., **Usage of Elastane Yarn in Circular Knitting Machines**, Master Thesis, The University of Uludag, Bursa - Turkey, 2007.

TEZEL, S., KAVUSTURAN, Y., **Experimental Investigation of Effects of Spandex Brand and Tightness Factor on Dimensional and Physical Properties of Cotton/Spandex Single Jersey Fabrics**. Textile Research Journal, Nov 2008, Vol. 78 Issue 11, p 966-976

THANGAMANI, K., NATARAIAN, V., **Dimensional stability of polyester/Lycra air-covered yarn knitted fabrics**, 2^o Indo-Czech Textile Research Conference, November 2003, 97-101.

TREMELLONI, A. e CERIANI, L., **Manuale técnico per l'industria della maglieria**. Industria Pubblicazioni Audiovisivi, Milano, 1975

VASCONCELOS, F. B., **Parâmetros para o desenvolvimento de artigos esportivos**, Congresso de Moda Esportiva, Rhodia, São Paulo, 2006

VASCONCELOS, F. B. e GASI, F., **Malharia Circular**, Apostila do curso de Especialização e Produtos e Processos Têxteis do Centro Universitario da FEI, não publicada, São Bernardo do Campo, 2006

VOYCE, J., DAFNIOTIS, P. & TOWLSON, S. **Elastic textiles**, In: SHISHOO, R. Textile in sport, Woodhead Publishing in Textiles, New York, p. 204-230, 2005

VURUSKAN, D., BABAARSLAN, O., İLHAN, I., **Effect Of Production Parameters On Strength And Elongation Of The Selected Yarns Containing Elastane**, Tekstil Ve Konfeksiyon, Vol: 21 Issue: 1 / jan-mar 2011, p 22-29

WAJCHENBERG, M. I., **Beneficiamentos têxteis.**, Ed. Geral, São Paulo, 1977.

WATKINS, P., **Designing with stretch fabrics**, Indian Journal of Fibre & Textile Research, Vol. 36, Dez 2011, p 366-379.

WEBER, H., NOLTE, H., **Single jersey fabrics knitted with naked lycra yarn**, Knit Technic, n° 6, 1984

WEN, Z., **Present Status And Market Analysis Of Spandex**, China Chemical Reporter, ago. 2004, p 23-24.

YAKARTEPE, M., YAKARTEPE, Z., ANYIG, S., **The Use of Spandex Yarn in circular knitting**, Tekstil Teknik , n° 175, 1999, p. 62-68.

ZHOU J., YI L, LAM, J. and XUYONG, C., **The Poisson Ratio and Modulus of Elastic Knitted Fabrics**, *Textile Research Journal*, vol. 80(18), 2010

APÊNDICE A – RESULTADOS DOS ENSAIOS

GRAMATURA (g/m ²)									
1	1a	2	2a	3	3a	4	4a	5	5a
327,6	318,6	335,0	332,0	360,8	356,3	339,8	337,6	341,5	344,9
326,7	319,2	339,9	331,4	365,7	353,6	340,7	334,2	343,7	339,8
326,4	320,9	335,5	336,8	359,1	354,9	343,3	335,4	341,5	339,7
326,7	325,3	341,0	336,2	360,6	360,0	344,1	332,1	340,0	344,1
325,7	325,3	333,6	334,2	361,0	351,3	341,3	335,7	342,0	344,8
media	326,6	321,9	337,0	334,1	361,4	355,2	341,8	335,0	341,7
desvio padrão	0,68	3,25	3,25	2,42	2,50	3,24	1,80	2,03	1,33
largura (cm)									
1	1a	2	2a	3	3a	4	4a	5	5a
76,0	76,0	73,8	74,3	75,3	75,9	76,9	76,8	75,8	76,1
76,3	76,0	74,0	74,2	75,3	75,8	76,9	76,9	75,7	76,0
76,2	75,9	74,1	74,1	75,4	75,8	77,1	77,0	75,9	76,2
media	76,2	76,0	74,0	74,2	75,3	75,8	77,0	76,9	76,1
desvio padrão	0,15	0,06	0,15	0,10	0,06	0,06	0,12	0,10	0,10
carreiras por cm									
1	1a	2	2a	3	3a	4	4a	5	5a
33,0	33,0	33,0	33,0	32,0	32,0	30,0	30,0	33,0	32,5
33,0	32,5	33,5	33,0	32,0	31,5	30,0	29,5	33,0	32,5
33,0	33,5	33,5	33,0	31,5	32,5	30,0	29,5	33,5	32,5
32,5	33,0	33,5	33,5	32,0	32,0	30,5	29,0	32,5	33,0
33,5	33,0	34,0	32,5	32,5	32,0	29,5	29,5	33,0	32,0
media	33,0	33,0	33,5	33,0	32,0	32,0	30,0	29,5	33,0
desvio padrão	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
colunas por cm									
1	1a	2	2a	3	3a	4	4a	5	5a
16,5	16,0	17,0	17,0	15,5	16,0	15,0	16,0	16,0	16,0
16,0	16,5	17,0	17,5	16,0	16,0	15,5	16,0	16,5	16,0
16,5	15,5	17,0	16,5	16,0	15,0	15,5	15,0	15,5	15,5
16,0	16,0	17,5	17,0	16,0	15,5	16,0	15,0	16,0	16,0
16,5	16,0	16,5	17,0	16,5	15,0	15,5	15,5	16,0	16,5
media	16,3	16,0	17,0	16,0	15,5	15,5	15,5	16,0	16,0
desvio padrão	0,27	0,35	0,35	0,35	0,35	0,50	0,35	0,50	0,35
malhas por cm ²									
1	1a	2	2a	3	3a	4	4a	5	5a
536,3	528,0	569,5	561,0	512,0	496,0	465,0	457,3	528,0	520,0
ESPESSURA (mm)									
1	1a	2	2a	3	3a	4	4a	5	5a
0,63	0,62	0,66	0,64	0,82	0,82	0,77	0,77	0,72	0,74
0,63	0,62	0,67	0,64	0,81	0,80	0,77	0,79	0,75	0,73
0,63	0,62	0,66	0,66	0,80	0,79	0,80	0,78	0,74	0,73
0,64	0,63	0,67	0,64	0,80	0,80	0,79	0,78	0,72	0,73
0,64	0,63	0,66	0,66	0,81	0,80	0,78	0,76	0,72	0,70
media	0,634	0,624	0,664	0,648	0,808	0,802	0,782	0,776	0,730
desvio padrão	0,0055	0,0055	0,0055	0,0110	0,0084	0,0110	0,0130	0,0114	0,0152
% elastano									
1	1a	2	2a	3	3a	4	4a	5	5a
10,4	10,0	8,5	8,3	9,3	9,0	10,8	10,5	10,0	9,8
10,8	10,2	8,8	8,5	9,5	8,9	10,9	10,6	10,0	9,5
10,5	10,1	8,7	8,4	9,2	9,2	11,2	10,6	10,1	9,7
media	10,6	10,1	8,7	8,4	9,3	9,0	11,0	10,6	9,7
desvio padrão	0,21	0,10	0,15	0,10	0,15	0,21	0,06	0,06	0,15

Alongamento e Elasticidade na largura									
1					1a				
L	L0	L1	alongamento (%)	elasticidade (%)	L	L0	L1	alongamento (%)	elasticidade (%)
20,1	34,8	22,2	73,1	85,7	20,2	35,1	22,9	73,8	81,9
20,2	34,9	22,3	72,8	85,7	20,3	36,0	22,3	77,3	87,3
20,2	35,0	22,4	73,3	85,1	20,3	35,5	22,7	74,9	84,2
20,1	35,1	22,2	74,6	86,0	20,2	35,8	22,9	77,2	82,7
19,9	34,9	22,5	75,4	82,7	20,1	35,5	22,0	76,6	87,7
media			73,8	85,0	media			76,0	84,7
desvio padrão			1,11	1,37	desvio padrão			1,58	2,62
2					2a				
L	L0	L1	alongamento (%)	elasticidade (%)	L	L0	L1	alongamento (%)	elasticidade (%)
20,2	33,7	22,1	66,8	85,9	20,2	34,0	22,5	68,3	83,3
20,2	33,8	22,3	67,3	84,6	20,3	34,7	22,5	70,9	84,7
20,3	33,7	22,4	66,0	84,3	20,0	33,9	22,4	69,5	82,7
20,1	33,6	22,4	67,2	83,0	20,1	34,5	22,5	71,6	83,3
20,4	34,1	22,5	67,2	84,7	20,5	34,0	22,5	65,9	85,2
media			66,9	84,5	media			69,2	83,9
desvio padrão			0,53	1,06	desvio padrão			2,29	1,04
3					3a				
L	L0	L1	alongamento (%)	elasticidade (%)	L	L0	L1	alongamento (%)	elasticidade (%)
20,2	42,5	23,4	110,4	85,7	20,4	42,1	24,0	106,4	83,4
20,3	42,8	23,9	110,8	84,0	20,2	42,9	24,1	112,4	82,8
20,3	43,2	23,5	112,8	86,0	20,5	43,5	24,1	112,2	84,3
20,4	43,7	24,1	114,2	84,1	20,4	43,1	23,5	111,3	86,3
20,3	42,5	23,6	109,4	85,1	20,0	42,5	23,8	112,5	83,1
media			111,5	85,0	media			110,9	84,0
desvio padrão			1,96	0,90	desvio padrão			2,60	1,43
4					4a				
L	L0	L1	alongamento (%)	elasticidade (%)	L	L0	L1	alongamento (%)	elasticidade (%)
20,5	43,6	24,2	112,7	84,0	20,5	43,5	24,4	112,2	83,0
20,4	43,5	24,1	113,2	84,0	20,6	44,3	24,5	115,0	83,5
20,2	43,4	23,6	114,9	85,3	20,5	44,0	24,0	114,6	85,1
20,6	44,5	24,6	116,0	83,3	20,4	43,9	24,0	115,2	84,7
20,2	43,9	23,5	117,3	86,1	20,5	43,5	24,1	112,2	84,3
media			114,8	84,5	media			113,9	84,1
desvio padrão			1,92	1,15	desvio padrão			1,53	0,84
5					5a				
L	L0	L1	alongamento (%)	elasticidade (%)	L	L0	L1	alongamento (%)	elasticidade (%)
20,3	39,6	23,5	95,1	83,4	20,2	39,8	23,5	97,0	83,2
20,2	39,5	23,2	95,5	84,5	20,3	39,9	23,7	96,6	82,7
20,3	39,4	23,0	94,1	85,9	20,4	39,5	23,2	93,6	85,3
20,5	39,5	23,0	92,7	86,8	20,2	39,2	23,1	94,1	84,7
20,1	39,3	23,2	95,5	83,9	20,2	39,3	23,3	94,6	83,8
media			94,6	84,9	media			95,2	83,9
desvio padrão			1,21	1,43	desvio padrão			1,53	1,11

Alongamento e Elasticidade no comprimento									
1					1a				
L	L0	L1	alongamento (%)	elasticidade (%)	L	L0	L1	alongamento (%)	elasticidade (%)
20,5	30,7	22,0	49,8	85,3	20,2	30,9	21,9	53,0	84,1
20,0	30,2	21,4	51,0	86,3	20,4	30,5	22,0	49,5	84,2
20,0	30,4	21,5	52,0	85,6	20,4	30,4	21,6	49,0	88,0
19,8	30,2	21,3	52,5	85,6	20,0	30,2	21,5	51,0	85,3
19,9	30,2	21,1	51,8	88,3	20,2	30,1	21,5	49,0	86,9
media			51,4	86,2	media			50,3	85,7
desvio padrão			1,07	1,25	desvio padrão			1,70	1,71
2					2a				
L	L0	L1	alongamento (%)	elasticidade (%)	L	L0	L1	alongamento (%)	elasticidade (%)
20,0	29,2	21,1	46,0	88,0	20,0	30,5	21,7	52,5	83,8
20,3	29,7	21,0	46,3	92,6	20,3	29,9	21,6	47,3	86,5
20,1	29,5	21,2	46,8	88,3	20,2	29,2	21,8	44,6	82,2
20,3	29,7	21,9	46,3	83,0	20,2	29,7	21,6	47,0	85,3
20,2	29,9	22,0	48,0	81,4	20,4	30,8	21,4	51,0	90,4
media			46,7	86,7	media			48,5	85,6
desvio padrão			0,80	4,47	desvio padrão			3,21	3,10
3					3a				
L	L0	L1	alongamento (%)	elasticidade (%)	L	L0	L1	alongamento (%)	elasticidade (%)
20,5	36,9	23,4	80,0	82,3	20,2	36,5	23,5	80,7	79,8
20,2	37,0	22,9	83,2	83,9	20,0	36,8	23,1	84,0	81,5
20,1	36,7	22,3	82,6	86,7	19,9	37,2	23,3	86,9	80,3
20,2	36,5	23,2	80,7	81,6	20,4	36,6	23,5	79,4	80,9
20,1	36,6	22,7	82,1	84,2	20,0	36,7	22,9	83,5	82,6
media			81,7	83,8	media			82,9	81,0
desvio padrão			1,32	2,00	desvio padrão			2,95	1,11
4					4a				
L	L0	L1	alongamento (%)	elasticidade (%)	L	L0	L1	alongamento (%)	elasticidade (%)
20,2	38,7	23,4	91,6	82,7	20,4	39,0	23,5	91,2	83,3
20,1	38,0	23,0	89,1	83,8	20,3	38,5	23,5	89,7	82,4
20,3	38,4	23,3	89,2	83,4	20,4	38,8	23,6	90,2	82,6
20,2	38,2	23,3	89,1	82,8	20,5	38,5	23,8	87,8	81,7
20,1	38,7	23,1	92,5	83,9	20,4	38,5	23,5	88,7	82,9
media			90,3	83,3	media			89,5	82,6
desvio padrão			1,65	0,55	desvio padrão			1,30	0,62
5					5a				
L	L0	L1	alongamento (%)	elasticidade (%)	L	L0	L1	alongamento (%)	elasticidade (%)
20,0	33,8	21,9	69,0	86,2	20,4	34,9	22,9	71,1	82,8
20,0	33,9	22,0	69,5	85,6	20,2	35,0	23,0	73,3	81,1
20,3	34,0	22,2	67,5	86,1	20,1	34,7	22,8	72,6	81,5
19,9	33,9	22,1	70,4	84,3	20,2	34,9	22,9	72,8	81,6
20,1	34,2	22,2	70,1	85,1	20,4	34,5	22,7	69,1	83,7
media			69,3	85,5	media			71,8	82,1
desvio padrão			1,14	0,80	desvio padrão			1,70	1,07

FUNDAM. AMÉRICA DO SUL

Solicitação:	AT - 026/11
Solicitante:	CAROL/FABIANO
Cliente:	RHODIA
Amostra:	MALHA 1
PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA	

MEDIDAS	DIGITAR DADOS			HORDEC	DIFPESO	HORACUM	DIFPESOAC
	HORA	MINUTOS	PESO				
1	7	40	116,1023				
2	8	47	115,9868	1,117	0,115	1,117	0,115
3	9	50	115,8637	1,050	0,123	2,167	0,239
4	10	55	115,7274	1,083	0,136	3,250	0,375
5	11	59	115,5916	1,067	0,136	4,317	0,511
6	13	1	115,4426	1,033	0,149	5,350	0,660
7	14	4	115,2979	1,050	0,145	6,400	0,804
8	15	7	115,1734	1,050	0,124	7,450	0,929
9	16	10	115,0566	1,050	0,117	8,500	1,046

Nº VALORES	X (horas)	Y (peso/g)	X²	X.Y
1	1,12	0,12	1,247	0,129
2	2,17	0,24	4,694	0,517
3	3,25	0,37	10,563	1,218
4	4,32	0,51	18,634	2,205
5	5,35	0,66	28,623	3,529
6	6,40	0,80	40,960	5,148
7	7,45	0,93	55,503	6,920
8	8,50	1,05	72,250	8,888
SOMA=	38,55	4,68	232,473	28,555

Numero de valores=

8

(Sx.Sy)= 180,3523

(Sx)²= 1486,103

Med (X)= 4,82

Med (Y)= 0,585

 $Y = aX + b$

a= 0,128692 g/h

b= -0,03533

Area do cp= 0,00538 m²

RESULTADO

Taxa de Transmissão de Vapor de Água= 23,92043 g/h.m²

Espessura de camada de ar = 1,4cm

Condições ambientes: 20 C/65% UR

FUNDIUM AMERICA DO SUL

Solicitação:	AT - 026/11
Solicitante:	CAROL/FABIANO
Cliente:	RHODIA
Amostra:	MALHA 1A

PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA

MEDIDAS	DIGITAR DADOS			HORDEC	DIFPESO	HORACUM	DIFPESOAC
	HORA	MINUTOS	PESO				
1	7	0	115,4033				
2	8	3	115,2813	1,050	0,122	1,050	0,122
3	9	6	115,1593	1,050	0,122	2,100	0,244
4	10	7	115,0208	1,017	0,139	3,117	0,383
5	11	11	114,8746	1,067	0,146	4,183	0,529
6	12	15	114,7178	1,067	0,157	5,250	0,686
7	13	17	114,5500	1,033	0,168	6,283	0,853
8	14	19	114,3887	1,033	0,161	7,317	1,015
9	15	22	114,2542	1,050	0,135	8,367	1,149

Nº VALORES	X (horas)	Y (peso/g)	X²	XY
1	1,05	0,12	1,103	0,128
2	2,10	0,24	4,410	0,512
3	3,12	0,38	9,714	1,192
4	4,18	0,53	17,500	2,212
5	5,25	0,69	27,563	3,599
6	6,28	0,85	39,480	5,362
7	7,32	1,01	53,534	7,423
8	8,37	1,15	70,001	9,614
SOMA=	37,67	4,98	223,304	30,042

Numero de valores=

8

(Sx.Sy)= 187,5687

(Sx)²= 1418,778

Med (X)= 4,71

Med (Y)= 0,622

Y=aX + b

a= 0,143534 g/h

b= -0,05334

Area do cp= 0,00538 m²

RESULTADO

Taxa de Transmissão de Vapor de Água= 26,67915 g/h.m²

Espessura de camada de ar =1,4cm

Condições ambientes: 20 C/65% UR

FUNDAMENTOS AMÉRICAS DO SUL

Solicitação:	AT - 026/11
Solicitante:	CAROL/FABIANO
Cliente:	RHODIA
Amostra:	MALHAS 2

PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA

MEDIDAS	DIGITAR DADOS			HORDEC	DIFPESO	HORACUM	DIFPESOAC
	HORA	MINUTOS	PESO				
1	7	40	118,8115				
2	8	47	118,6939	1,117	0,118	1,117	0,118
3	9	50	118,5668	1,050	0,127	2,167	0,245
4	10	55	118,4268	1,083	0,140	3,250	0,385
5	11	59	118,2876	1,067	0,139	4,317	0,524
6	13	1	118,1302	1,033	0,157	5,350	0,681
7	14	4	117,9725	1,050	0,158	6,400	0,839
8	15	7	117,8322	1,050	0,140	7,450	0,979
9	16	10	117,7100	1,050	0,122	8,500	1,102

Nº VALORES	X (horas)	Y (peso/g)	X²	X.Y
1	1,12	0,12	1,247	0,131
2	2,17	0,24	4,694	0,530
3	3,25	0,38	10,563	1,250
4	4,32	0,52	18,634	2,262
5	5,35	0,68	28,623	3,645
6	6,40	0,84	40,960	5,370
7	7,45	0,98	55,503	7,296
8	8,50	1,10	72,250	9,363
SOMA=	38,55	4,87	232,473	29,846

Numero de valores=

8

(Sx.Sy)= 187,8156

(Sx)²= 1486,103

Med (X)= 4,82

Med (Y)= 0,609

Y=aX + b

a= 0,136362 g/h

b= -0,04809

Area do cp= 0,00538 m²

RESULTADO

Taxa de Transmissão de Vapor de Água= 25,34607 g/h.m²

Espessura de camada de ar =1,4cm

Condições ambientes: 20 C/65% UR

FUNDAMEN. AMÉRICA DO SUL

Solicitação:	AT - 026/11
Solicitante:	CAROL/FABIANO
Cliente:	RHODIA
Amostra:	MALHAS 2A
PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA	

MEDIDAS	DIGITAR DADOS			HORDEC	DIFPESO	HORACUM	DIFPESOAC
	HORA	MINUTOS	PESO				
1	7	0	118,9230				
2	8	3	118,8027	1,050	0,120	1,050	0,120
3	9	6	118,6823	1,050	0,120	2,100	0,241
4	10	7	118,5464	1,017	0,136	3,117	0,377
5	11	11	118,4000	1,067	0,146	4,183	0,523
6	12	15	118,2435	1,067	0,157	5,250	0,680
7	13	17	118,0766	1,033	0,167	6,283	0,846
8	14	19	117,9105	1,033	0,166	7,317	1,013
9	15	22	117,7760	1,050	0,135	8,367	1,147

Nº VALORES	X (horas)	Y (peso/g)	X²	X.Y
1	1,05	0,12	1,103	0,126
2	2,10	0,24	4,410	0,505
3	3,12	0,38	9,714	1,174
4	4,18	0,52	17,500	2,188
5	5,25	0,68	27,563	3,567
6	6,28	0,85	39,480	5,318
7	7,32	1,01	53,534	7,408
8	8,37	1,15	70,001	9,597
SOMA=	37,67	4,95	223,304	29,884

Numero de valores=

8

(Sx.Sy)= 186,2993

(Sx)²= 1418,778

Med (X)= 4,71

Med (Y)= 0,618

Y=aX + b

a= 0,143532 g/h

b= -0,05755

Area do cp= 0,00538 m²

RESULTADO

Taxa de Transmissão de Vapor de Água= 26,67888 g/h.m²

Espessura de camada de ar =1,4cm

Condições ambientes: 20 C/65% UR

FONAMIDA AMERICA DO SUL

Solicitação:	AT - 026/11
Solicitante:	CAROL/FABIANO
Cliente:	RHODIA
Amostra:	MALHAS 1,2,3,4,5 - 1º DIA

PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA

DIGITAR DADOS							
MEDIDAS	HORA	MINUTOS	PESO	HORDEC	DIFPESO	HORACUM	DIFPESOAC
1	7	2	116,3343				
2	8	4	116,2363	1,033	0,098	1,033	0,098
3	9	6	116,1187	1,033	0,118	2,067	0,216
4	10	10	115,9834	1,067	0,135	3,133	0,351
5	11	11	115,8447	1,017	0,139	4,150	0,490
6	12	14	115,6889	1,050	0,156	5,200	0,645
7	13	15	115,5190	1,017	0,170	6,217	0,815
8	14	16	115,3669	1,017	0,152	7,233	0,967
9	15	18	115,2391	1,033	0,128	8,267	1,095

Nº VALORES	X (horas)	Y (peso/g)	X²	XY
1	1,03	0,10	1,068	0,101
2	2,07	0,22	4,271	0,446
3	3,13	0,35	9,818	1,099
4	4,15	0,49	17,223	2,032
5	5,20	0,65	27,040	3,356
6	6,22	0,82	38,647	5,068
7	7,23	0,97	52,321	6,998
8	8,27	1,10	68,338	9,054
SOMA=	37,30	4,68	218,725	28,154

Numero de valores=

8

(Sx.Sy)= 174,467

(Sx)²= 1391,29

Med (X)= 4,66

Med (Y)= 0,585

Y=aX + b

a= 0,141597 g/h

b= -0,07552

Area do cp= 0,00538 m²

RESULTADO

Taxa de Transmissão de Vapor de Água= 26,31917 g/h.m²

Espessura de camada de ar =1,4cm

Condições ambientes: 20 C/65% UR

FONAMIDA AMERICA DO SUL

Solicitação:	AT - 026/11
Solicitante:	CAROL/FABIANO
Cliente:	RHODIA
Amostra:	MALHAS 3A

PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA

DIGITAR DADOS							
MEDIDAS	HORA	MINUTOS	PESO	HORDEC	DIFPESO	HORACUM	DIFPESOAC
1	7	0	116,2673				
2	8	3	116,1286	1,050	0,139	1,050	0,139
3	9	6	115,9962	1,050	0,132	2,100	0,271
4	10	7	115,8482	1,017	0,148	3,117	0,419
5	11	11	115,6805	1,067	0,168	4,183	0,587
6	12	15	115,5055	1,067	0,175	5,250	0,762
7	13	17	115,3236	1,033	0,182	6,283	0,944
8	14	19	115,1513	1,033	0,172	7,317	1,116
9	15	22	115,0065	1,050	0,145	8,367	1,261

Nº VALORES	X (horas)	Y (peso/g)	X²	X.Y
1	1,05	0,14	1,103	0,146
2	2,10	0,27	4,410	0,569
3	3,12	0,42	9,714	1,306
4	4,18	0,59	17,500	2,455
5	5,25	0,76	27,563	3,999
6	6,28	0,94	39,480	5,930
7	7,32	1,12	53,534	8,165
8	8,37	1,26	70,001	10,549
SOMA=	37,67	5,50	223,304	33,119

Numero de valores=

8

(Sx.Sy)= 207,0913

(Sx)²= 1418,778

Med (X)= 4,71

Med (Y)= 0,687

Y=aX + b

a= 0,157379 g/h

b= -0,05374

Area do cp= 0,00538 m²

RESULTADO

Taxa de Transmissão de Vapor de Água= 29,25266 g/h.m²

Espessura de camada de ar =1,4cm

Condições ambientes: 20 C/65% UR

FONAMIDA AMERICA DO SUL

Solicitação:	AT - 026/11
Solicitante:	CAROL/FABIANO
Cliente:	RHODIA
Amostra:	MALHAS 4

PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA

DIGITAR DADOS							
MEDIDAS	HORA	MINUTOS	PESO	HORDEC	DIFPESO	HORACUM	DIFPESOAC
1	7	40	116,1705				
2	8	47	116,0531	1,117	0,117	1,117	0,117
3	9	50	115,9268	1,050	0,126	2,167	0,244
4	10	55	115,7870	1,083	0,140	3,250	0,383
5	11	59	115,6498	1,067	0,137	4,317	0,521
6	13	1	115,4980	1,033	0,152	5,350	0,672
7	14	4	115,3589	1,050	0,139	6,400	0,812
8	15	7	115,2347	1,050	0,124	7,450	0,936
9	16	10	115,1169	1,050	0,118	8,500	1,054

Nº VALORES	X (horas)	Y (peso/g)	X²	X.Y
1	1,12	0,12	1,247	0,131
2	2,17	0,24	4,694	0,528
3	3,25	0,38	10,563	1,246
4	4,32	0,52	18,634	2,248
5	5,35	0,67	28,623	3,598
6	6,40	0,81	40,960	5,194
7	7,45	0,94	55,503	6,972
8	8,50	1,05	72,250	8,956
SOMA=	38,55	4,74	232,473	28,873

Numero de valores=

8

(Sx.Sy)= 182,6807

(Sx)²= 1486,103

Med (X)= 4,82

Med (Y)= 0,592

Y=aX + b

a= 0,129256 g/h

b= -0,0305

Area do cp= 0,00538 m²

RESULTADO

Taxa de Transmissão de Vapor de Água= 24,02529 g/h.m²

Espessura de camada de ar =1,4cm

Condições ambientes: 20 C/65% UR

FONAMIDA AMERICA DO SUL

Solicitação:	AT - 026/11
Solicitante:	CAROL/FABIANO
Cliente:	RHODIA
Amostra:	MALHAS 4A

PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA

DIGITAR DADOS							
MEDIDAS	HORA	MINUTOS	PESO	HORDEC	DIFPESO	HORACUM	DIFPESOAC
1	7	0	115,7544				
2	8	3	115,6280	1,050	0,126	1,050	0,126
3	9	6	115,5013	1,050	0,127	2,100	0,253
4	10	7	115,3589	1,017	0,142	3,117	0,395
5	11	11	115,2187	1,067	0,140	4,183	0,536
6	12	15	115,0438	1,067	0,175	5,250	0,711
7	13	17	114,8831	1,033	0,161	6,283	0,871
8	14	19	114,7025	1,033	0,181	7,317	1,052
9	15	22	114,5631	1,050	0,139	8,367	1,191

Nº VALORES	X (horas)	Y (peso/g)	X²	X.Y
1	1,05	0,13	1,103	0,133
2	2,10	0,25	4,410	0,532
3	3,12	0,40	9,714	1,233
4	4,18	0,54	17,500	2,241
5	5,25	0,71	27,563	3,731
6	6,28	0,87	39,480	5,475
7	7,32	1,05	53,534	7,696
8	8,37	1,19	70,001	9,967
SOMA=	37,67	5,14	223,304	31,007

Numero de valores=

8

(Sx.Sy)= 193,4485

(Sx)²= 1418,778

Med (X)= 4,71

Med (Y)= 0,642

Y=aX + b

a= 0,148526 g/h

b= -0,05733

Area do cp= 0,00538 m²

RESULTADO

Taxa de Transmissão de Vapor de Água= 27,60704 g/h.m²

Espessura de camada de ar =1,4cm

Condições ambientes: 20 C/65% UR

FONAMIDA AMERICA DO SUL

Solicitação:	AT - 026/11
Solicitante:	CAROL/FABIANO
Cliente:	RHODIA
Amostra:	MALHAS 5

PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA

DIGITAR DADOS							
MEDIDAS	HORA	MINUTOS	PESO	HORDEC	DIFPESO	HORACUM	DIFPESOAC
1	7	40	116,3796				
2	8	47	116,2585	1,117	0,121	1,117	0,121
3	9	50	116,1275	1,050	0,131	2,167	0,252
4	10	55	115,9820	1,083	0,145	3,250	0,398
5	11	59	115,8397	1,067	0,142	4,317	0,540
6	13	1	115,6819	1,033	0,158	5,350	0,698
7	14	4	115,5350	1,050	0,147	6,400	0,845
8	15	7	115,4007	1,050	0,134	7,450	0,979
9	16	10	115,2735	1,050	0,127	8,500	1,106

Nº VALORES	X (horas)	Y (peso/g)	X²	X.Y
1	1,12	0,12	1,247	0,135
2	2,17	0,25	4,694	0,546
3	3,25	0,40	10,563	1,292
4	4,32	0,54	18,634	2,331
5	5,35	0,70	28,623	3,733
6	6,40	0,84	40,960	5,405
7	7,45	0,98	55,503	7,293
8	8,50	1,11	72,250	9,402
SOMA=	38,55	4,94	232,473	30,137

Numero de valores=

8

(Sx.Sy)= 190,3599

(Sx)²= 1486,103

Med (X)= 4,82

Med (Y)= 0,617

Y=aX + b

a= 0,135775 g/h

b= -0,03702

Area do cp= 0,00538 m²

RESULTADO

Taxa de Transmissão de Vapor de Água= 25,23702 g/h.m²

Espessura de camada de ar =1,4cm

Condições ambientes: 20 C/65% UR

FONAMIDA AMERICA DO SUL

Solicitação:	AT - 026/11
Solicitante:	CAROL/FABIANO
Cliente:	RHODIA
Amostra:	MALHAS 5A
PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA	

DIGITAR DADOS							
MEDIDAS	HORA	MINUTOS	PESO	HORDEC	DIFPESO	HORACUM	DIFPESOAC
1	7	0	115,7747				
2	8	3	115,6434	1,050	0,131	1,050	0,131
3	9	6	115,5125	1,050	0,131	2,100	0,262
4	10	7	115,3705	1,017	0,142	3,117	0,404
5	11	11	115,2055	1,067	0,165	4,183	0,569
6	12	15	115,0560	1,067	0,150	5,250	0,719
7	13	17	114,8688	1,033	0,187	6,283	0,906
8	14	19	114,7173	1,033	0,151	7,317	1,057
9	15	22	114,5782	1,050	0,139	8,367	1,197

Nº VALORES	X (horas)	Y (peso/g)	X²	X.Y
1	1,05	0,13	1,103	0,138
2	2,10	0,26	4,410	0,551
3	3,12	0,40	9,714	1,260
4	4,18	0,57	17,500	2,381
5	5,25	0,72	27,563	3,773
6	6,28	0,91	39,480	5,692
7	7,32	1,06	53,534	7,737
8	8,37	1,20	70,001	10,011
SOMA=	37,67	5,25	223,304	31,542

Numero de valores=

8

(Sx.Sy)= 197,5767

(Sx)²= 1418,778

Med (X)= 4,71

Med (Y)= 0,656

Y=aX + b

a= 0,148943 g/h

b= -0,0456

Area do cp= 0,00538 m²

RESULTADO

Taxa de Transmissão de Vapor de Água= 27,68452 g/h.m²

Espessura de camada de ar =1,4cm

Condições ambientes: 20 C/65% UR

ENSAIO DE VALIDAÇÃO					
	gramatura (g/m ²)	espessura (mm)	alongamento comprimento (%)	alongamento largura (%)	% elastano
	331,1	0,662	85,4	59,2	9,97
	332,5	0,661	82,4	58,6	10,05
	330,2	0,685	82,3	60,8	9,70
	328,4	0,663	83,7	59,1	9,98
	332,1	0,665	83,7	56,5	9,86
media	330,9	0,667	83,5	58,8	9,91
desvio padrão	1,62	0,010	1,24	1,53	0,14

APÊNDICE B – RESULTADOS DO MINITAB

B.1 GRAMATURA

Factorial Fit: gram. (g/m²) versus LFA PA (cm/volta); Tensão EL (cN)

Estimated Effects and Coefficients for gram. (g/m²) (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		339,746	1,256	270,56	0,000
LFA PA (cm/volta)	18,475	9,238	1,404	6,58	0,000
Tensão EL (cN)	15,615	7,807	1,404	5,56	0,001

S = 3,97094 PRESS = 247,313
R-Sq = 91,38% R-Sq(pred) = 80,69% R-Sq(adj) = 88,92%

Analysis of Variance for gram. (g/m²) (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	1170,31	1170,31	585,15	37,11	0,000
Residual Error	7	110,38	110,38	15,77		
Curvature	1	14,81	14,81	14,81	0,93	0,372
Lack of Fit	1	36,89	36,89	36,89	3,14	0,136
Pure Error	5	58,67	58,67	11,73		
Total	9	1280,69				

Estimated Coefficients for gram. (g/m²) using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	201,459
LFA PA (cm/volta)	0,131964
Tensão EL (cN)	3,90375

B.2 LARGURA

Factorial Fit: larg. (cm) versus LFA PA (cm/volta); Tensão EL (cN)

Estimated Effects and Coefficients for larg. (cm) (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		75,7300	0,08586	882,05	0,000
LFA PA (cm/volta)	1,1500	0,5750	0,09599	5,99	0,001
Tensão EL (cN)	-1,7000	-0,8500	0,09599	-8,85	0,000

S = 0,271504 PRESS = 1,06074
R-Sq = 94,23% R-Sq(pred) = 88,14% R-Sq(adj) = 92,58%

Analysis of Variance for larg. (cm) (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	8,4250	8,4250	4,21250	57,15	0,000
Residual Error	7	0,5160	0,5160	0,07371		
Curvature	1	0,1210	0,1210	0,12100	1,84	0,224
Lack of Fit	1	0,1800	0,1800	0,18000	4,19	0,096
Pure Error	5	0,2150	0,2150	0,04300		
Total	9	8,9410				

Estimated Coefficients for larg. (cm) using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	70,4621
LFA PA (cm/volta)	0,00821429
Tensão EL (cN)	-0,425000

B.3 DENSIDADE

Estimated Effects and Coefficients for malhas/cm² (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		517,30	2,449	211,20	0,000
LFA PA (cm/volta)	-66,13	-33,06	2,738	-12,07	0,000
Tensão EL (cN)	38,00	19,00	2,738	6,94	0,000

S = 7,74545 PRESS = 856,059
R-Sq = 96,52% R-Sq(pred) = 92,90% R-Sq(adj) = 95,52%

Analysis of Variance for malhas/cm² (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	11633,0	11633,0	5816,52	96,95	0,000
Residual Error	7	419,9	419,9	59,99		
Curvature	1	112,2	112,2	112,22	2,19	0,190
Lack of Fit	1	47,5	47,5	47,53	0,91	0,383
Pure Error	5	260,2	260,2	52,04		
Total	9	12053,0				

Estimated Coefficients for malhas/cm² using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	894,889
LFA PA (cm/volta)	-0,472321
Tensão EL (cN)	9,50000

B.4 ESPESSURA

Factorial Fit: esp. (mm) versus LFA PA (cm/volta); Tensão EL (cN)

Estimated Effects and Coefficients for esp. (mm) (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0,71940	0,002412	298,20	0,000
LFA PA (cm/volta)	0,14950	0,07475	0,002697	27,71	0,000
Tensão EL (cN)	0,02650	0,01325	0,002697	4,91	0,002

S = 0,00762889 PRESS = 0,000787713
R-Sq = 99,12% R-Sq(pred) = 98,31% R-Sq(adj) = 98,87%

Analysis of Variance for esp. (mm) (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	0,0461050	0,0461050	0,0230525	396,09	0,000
Residual Error	7	0,0004074	0,0004074	0,0000582		
Curvature	1	0,0001849	0,0001849	0,0001849	4,99	0,067
Lack of Fit	1	0,0000005	0,0000005	0,0000005	0,01	0,920
Pure Error	5	0,0002220	0,0002220	0,0000444		
Total	9	0,0465124				

Estimated Coefficients for esp. (mm) using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-0,274796
LFA PA (cm/volta)	0,00106786
Tensão EL (cN)	0,00662500

B.5 PORCENTAGEM DE ELASTANO

Estimated Effects and Coefficients for % Elastano (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		9,7125	0,09601	101,16	0,000
LFA PA (cm/volta)	0,5250	0,2625	0,09601	2,73	0,052
Tensão EL (cN)	-1,7250	-0,8625	0,09601	-8,98	0,001
LFA PA (cm/volta)*Tensão EL (cN)	0,0750	0,0375	0,09601	0,39	0,716

S = 0,271570 PRESS = 1,18
R-Sq = 95,67% R-Sq(pred) = 82,67% R-Sq(adj) = 92,42%

Analysis of Variance for % Elastano (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	6,50250	6,50250	3,25125	52,69	0,000
2-Way Interactions	1	0,01125	0,01125	0,01125	0,18	0,684
Residual Error	6	0,37025	0,37025	0,06171		
Curvature	1	0,03025	0,03025	0,03025	0,44	0,534
Pure Error	5	0,34000	0,34000	0,06800		
Total	9	6,88400				

Estimated Coefficients for % Elastano using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	11,8687
Tensão EL (cN)	-0,431250

B.6 PERMEABILIDADE AO VAPOR

Factorial Fit: perm. vapor (g/h versus LFA PA (cm/volta; Tensão EL (cN)

Estimated Effects and Coefficients for perm. vapor (g/h.m²) (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		26,2731	0,5560	47,25	0,000
LFA PA (cm/volta)	1,1401	0,5701	0,6217	0,92	0,395
Tensão EL (cN)	1,3364	0,6682	0,6217	1,07	0,324
LFA PA (cm/volta)*Tensão EL (cN)	0,6237	0,3119	0,6217	0,50	0,634

S = 1,75832 PRESS = 59,9648
R-Sq = 27,25% R-Sq(pred) = 0,00% R-Sq(adj) = 0,00%

Analysis of Variance for perm. vapor (g/h.m²) (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	6,1718	6,1718	3,08590	1,00	0,422
2-Way Interactions	1	0,7781	0,7781	0,77810	0,25	0,634
Residual Error	6	18,5502	18,5502	3,09170		
Curvature	1	0,0880	0,0880	0,08804	0,02	0,883
Pure Error	5	18,4622	18,4622	3,69243		
Total	9	25,5001

B.7 ALONGAMENTO NA LARGURA

Factorial Fit: along. larg. (%) versus LFA PA (cm/volta); Tensão EL (cN)

Estimated Effects and Coefficients for along. larg. (%) (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		68,1149	1,143	59,61	0,000
LFA PA (cm/volta)	36,5890	18,2945	1,278	14,32	0,000
Tensão EL (cN)	-1,8344	-0,9172	1,278	-0,72	0,496

S = 3,61335 PRESS = 199,569
R-Sq = 96,71% R-Sq(pred) = 92,81% R-Sq(adj) = 95,77%

Analysis of Variance for along. larg. (%) (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	2684,24	2684,24	1342,12	102,79	0,000
Residual Error	7	91,39	91,39	13,06		
Curvature	1	14,66	14,66	14,66	1,15	0,326
Lack of Fit	1	4,18	4,18	4,18	0,29	0,615
Pure Error	5	72,56	72,56	14,51		
Total	9	2775,63				

Estimated Coefficients for along. larg. (%) using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-167,100
LFA PA (cm/volta)	0,261350

B.8 ALONGAMENTO NO COMPRIMENTO

Factorial Fit: along. comp. (%) versus LFA PA (cm/volta); Tensão EL (cN)

Estimated Effects and Coefficients for along. comp. (%) (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		92,747	0,8024	115,59	0,000
LFA PA (cm/volta)	41,444	20,722	0,8971	23,10	0,000
Tensão EL (cN)	-3,656	-1,828	0,8971	-2,04	0,081

S = 2,53737 PRESS = 95,9697
R-Sq = 98,71% R-Sq(pred) = 97,26% R-Sq(adj) = 98,35%

Analysis of Variance for along. comp. (%) (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	3461,93	3461,93	1730,96	268,86	0,000
Residual Error	7	45,07	45,07	6,44		
Curvature	1	11,59	11,59	11,59	2,08	0,200
Lack of Fit	1	20,11	20,11	20,11	7,52	0,041
Pure Error	5	13,37	13,37	2,67		
Total	9	3507,00				

Estimated Coefficients for along. comp. (%) using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-173,678
LFA PA (cm/volta)	0,296028

B.9 ELASTICIDADE NA LARGURA

Factorial Fit: elast. larg. (%) versus LFA PA (cm/volta); Tensão EL (cN)

Estimated Effects and Coefficients for elast. larg. (%) (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		84,711	0,4467	189,64	0,000
LFA PA (cm/volta)	-3,162	-1,581	0,4994	-3,17	0,016
Tensão EL (cN)	0,384	0,192	0,4994	0,38	0,712

S = 1,41256 PRESS = 24,8787
R-Sq = 59,23% R-Sq(pred) = 27,37% R-Sq(adj) = 47,58%

Analysis of Variance for elast. larg. (%) (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	20,288	20,288	10,144	5,08	0,043
Residual Error	7	13,967	13,967	1,995		
Curvature	1	2,058	2,058	2,058	1,04	0,348
Lack of Fit	1	1,130	1,130	1,130	0,52	0,501
Pure Error	5	10,779	10,779	2,156		
Total	9	34,255				

Estimated Coefficients for elast. larg. (%) using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	105,036
LFA PA (cm/volta)	-0,0225837

B.10 ELASTICIDADE NO COMPRIMENTO

Factorial Fit: elast. comp. (%) versus LFA PA (cm/volta); Tensão EL (cN)

Estimated Effects and Coefficients for elast. comp. (%) (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		84,3226	0,2849	295,96	0,000
LFA PA (cm/volta)	0,5582	0,2791	0,3185	0,88	0,410
Tensão EL (cN)	0,2773	0,1386	0,3185	0,44	0,676

S = 0,900962 PRESS = 12,3363
R-Sq = 12,03% R-Sq(pred) = 0,00% R-Sq(adj) = 0,00%

Analysis of Variance for elast. comp. (%) (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	0,77684	0,77684	0,38842	0,48	0,639
Residual Error	7	5,68213	5,68213	0,81173		
Curvature	1	0,32960	0,32960	0,32960	0,37	0,566
Lack of Fit	1	0,05661	0,05661	0,05661	0,05	0,826
Pure Error	5	5,29591	5,29591	1,05918		
Total	9	6,45896