

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ARTES, CIÊNCIAS E HUMANIDADES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TÊXTIL E MODA

YURI FAZION GRADELA

Análise da capacidade de isolamento e transporte de vapor das principais matérias-primas têxteis em tecidos de malha, utilizando o sistema SMTEX de medição.

São Paulo

2022

YURI FAZION GRADELA

Análise da capacidade de isolamento e transporte de vapor das principais matérias primas-têxteis em tecidos de malha, utilizando o sistema SMTEX de medição.

Versão corrigida

Dissertação apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências pelo Programa de Pós-graduação em Têxtil e Moda.

Área de concentração:
Materiais e Processos Têxteis

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

São Paulo

2022

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.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Escola de Artes, Ciências e Humanidades,
com os dados inseridos pelo(a) autor(a)
Brenda Fontes Malheiros de Castro CRB 8-7012; Sandra Tokarevicz CRB 8-4936

Fazion Gradela, Yuri

Análise da capacidade de isolamento e transporte de vapor das principais matérias-primas têxteis em tecidos de malha, utilizando o sistema SMTEX de medição / Yuri Fazion Gradela; orientadora, Regina Aparecida Sanches. -- São Paulo, 2022.

90 p: il.

Dissertacao (Mestrado em Ciencias) - Programa de Pós-Graduação em Têxtil e Moda, Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, 2022.

Versão corrigida

1. Transporte de calor e vapor. 2. Conforto térmico. 3. SMTEX. I. Sanches, Regina Aparecida, orient. II. Título.

Nome: GRADELA, Yuri Fazion

Título: Análise da capacidade de isolamento e transporte de vapor das principais matérias-primas têxteis em tecidos de malha, utilizando o sistema SMTEX de medição.

Dissertação apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências pelo Programa de Pós-graduação em Têxtil e Moda.

Área de concentração:
Materiais e Processos Têxteis

Aprovado em: ____/____/____

Banca Examinadora

Prof. Dr.: _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr.: _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr.: _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

RESUMO

GRADELA, Y. F. **Análise da capacidade de isolamento e transporte de vapor das principais matérias-primas têxteis em tecidos de malha, utilizando o sistema SMTEX de medição**. 2022. 122 f. Dissertação (Mestre em Ciências) - Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, 2022. Versão Original.

A crescente busca por melhoria da qualidade dos artigos confeccionados destinados ao vestuário comum, profissional e de alta performance esportiva, força constantemente a pesquisa e desenvolvimento de novos materiais, tecidos, fibras e fios pelas indústrias têxteis. O objetivo do presente estudo é quantificar as propriedades térmicas e comportamentos de isolamento e transferência térmica dos tecidos de malha, em função da composição das matérias-primas e das características dimensionais das malhas, utilizando o equipamento SMTEX (Sistema de medição de calor e vapor em têxteis). Foram selecionados no mercado fios fabricados com as seguintes matérias-primas (100%): Algodão, Poliamida, Poliéster e Viscose, todos com duas especificações diferentes de tipos de fios. Foram produzidas em máquina circular de pequeno diâmetro, dezesseis amostras de malhas com diferentes gramaturas. Após a lavagem e secagem dos tecidos, para retirada de resíduos de óleo estabilização dimensional, foram realizados os ensaios físicos no equipamento SMTEX. Os resultados obtidos foram analisados com auxílio do software Minitab para indicação dos principais efeitos e características de influência. Foi elaborado um quadro modelo para a comparação das diversas funcionalidades e características entre o equipamento utilizado e os disponíveis no mercado.

Palavras-chave: Transporte de calor e vapor, Conforto térmico, SMTEX.

ABSTRACT

GRADELA, Y. F. **Analysis of the insulation and vapor transport capacity of the main textile raw materials in knitted fabrics, using the SMTEX measurement system**. 2022. 122 p. Dissertation (Master of Science) – School of Arts, Sciences and Humanities, University of São Paulo, São Paulo, 2022. Original Version.

The growing quest for improving the quality of manufactured articles intended for common, professional and high-performance sports clothing, constantly forces the research and development of new materials, fabrics, fibers and yarns by the textile industries. The objective of the present study is to quantify the thermal properties and insulation and thermal transfer behavior of knitted fabrics, as a function of the composition of the raw materials and the dimensional characteristics of the knits, using the SMTEX equipment (System for measuring heat and steam in textiles). Yarns manufactured with the following raw materials (100%) were selected on the market: Cotton, Polyamide, Polyester and Viscose, all with two different specifications of yarn types. Sixteen types of samples were produced in a small diameter circular machine, samples with different weights. After washing and drying the fabrics to remove oil residues and acquire dimensional stabilization, were tested in the SMTEX equipment. The results obtained were analyzed with the help of Minitab software to indicate the main effects and characteristics of influence. Finally, a chart table was created to compare the different functionalities and characteristics between the equipment used and those available on the market.

Keywords: Transport of heat and steam, Thermal comfort, SMTEX

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – SMTEX Sistema de medição de calor e vapor em têxteis.....	14
Figura 2 – Produção e venda no varejo têxtil	21
Figura 3 - Classificação das fibras têxteis	22
Figura 4 - Cadeia de celulose.....	22
Figura 5 - Morfologia da fibra de algodão.....	23
Figura 6 - Estrutura da poliamida 6.6	24
Figura 7 - Estrutura do poliéster	26
Figura 8 - Quadro comparativo de fibras	27
Figura 9 - Carreiras e Colunas	28
Figura 10 - Desvio de valores.....	30
Figura 11 - Resposta do corpo à mudança de temperatura em °C	30
Figura 12 - Temperatura do corpo ao longo do dia	31
Figura 13 - Produção de suor durante exercícios.....	32
Figura 14 - Kawabata thermo-lab	33
Figura 15 - Shirley Vapour Tester	33
Figura 16 - Alambeta.....	34
Figura 17 - Permetest.....	34
Figura 18 - Air Permeability Tester.....	35
Figura 19 - Copos de permeabilidade	35
Figura 20 - Manequins 1935 – 1950.....	36
Figura 21 - Manequins 1960 - 1980	36
Figura 22 - Manequim moderno	37
Figura 23 - Interface AD	40
Figura 24 - Modulo MODBUS para USB	40
Figura 25 - Diagrama de conexão individual	40

Figura 26 - Painel módulos SMTEX	48
Figura 27 - Sonda de temperatura e umidade SMTEX	49
Figura 28 – Corpo central SMTEX	49
Figura 29 – Tela de aço inox SMTEX.....	50
Figura 30 – Posição Sonda 1 SMTEX.....	50
Figura 31 – Posição da amostra SMTEX	51
Figura 32 – Posição Sonda 2 SMTEX.....	51
Figura 33 - Variação entre Sonda 1 e 2 SMTEX.....	52
Figura 34 - - Diagrama Normal para fibras celulósicas e $\Delta UR\%$	55
Figura 35 - Diagrama de Pareto para fibras celulósicas e $\Delta UR\%$	56
Figura 36 - Diagrama de efeitos para fibras celulósicas e $\Delta UR\%$	56
Figura 37 - Diagrama de Pareto para fibras celulósicas e ΔT	57
Figura 38 - Diagrama de efeitos para fibras celulósicas e ΔT	57
Figura 39 - Diagrama Normal para fibras sintéticas e $\Delta UR\%$	58
Figura 40 - Diagrama de Pareto para fibras sintéticas e $\Delta UR\%$	59
Figura 41 - Diagrama de efeitos para fibras sintéticas e $\Delta UR\%$	59
Figura 42 - Diagrama Normal para fibras sintéticas e ΔT	60
Figura 43 - Diagrama de Pareto para fibras sintéticas e ΔT	60
Figura 44 - Diagrama de efeitos para fibras sintéticas e ΔT	61
Figura 45 - Comparação entre todas as amostras – $\Delta UR\%$	62
Figura 46 – Comparação entre todas as amostras - ΔT	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Escala de conforto e sensação de calor.....	29
Tabela 2 - Dados de conexão do modulo 4.....	39
Tabela 3 - Características do equipamento.....	41
Tabela 4 - Fios utilizados	44
Tabela 5 – Amostras produzidas.....	44
Tabela 6 – Gramatura das amostras.....	45
Tabela 7 – Espessura das amostras	46
Tabela 8 – Densidade carreiras e colunas	47
Tabela 9 – LFA.....	47
Tabela 10 – Diferença de patamar estável.....	54
Tabela 11 - Planejamento fatorial Minitab	55
Tabela 12 – Tempo até a estabilização de patamar.....	63
Tabela 13 – Redução do volume de água.....	64
Tabela 14 – Permeabilidade ao vapor.....	65
Tabela 15 – Energia dissipada	66
Tabela 16 – Comparação entre os equipamentos existentes	67

LISTA DE ABREVIACOES, ACRONIMOS E SÍMBOLOS UTILIZADOS

AD:	Analógico para Digital
ABIT:	Associao Brasileira da Indústria Têxtil e de Confeco
CAT5:	Cabo de rede categoria 5 com 4 pares metlicos
IEMI:	Instituto de Estudos e Marketing Industrial
IBGE:	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LFA:	Sigla derivada do termo francês Languueur de Fil Absorbe
MODBUS:	Protocolo de transmissão de dados da Modicon 1979
RJ45:	Conector de rede de 8 vias
SMTEX:	Sistema de medio de calor e vapor em têxteis

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos.....	15
1.1.1	Objetivo geral	15
1.1.2	Objetivos específicos.....	15
1.2	Justificativa	16
1.3	Problema	17
1.4	Hipótese	17
1.5	Metodologia	17
1.6	Organização do trabalho	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	Cadeia têxtil.....	19
2.2	Fibras	21
2.2.1	Classificação das fibras.....	21
2.2.2	Algodão	22
2.2.3	Poliamida.....	24
2.2.4	Poliéster.....	25
2.2.5	Viscose.....	26
2.2.6	Comparação entre as fibras utilizadas	27
2.3	Malharia.....	28
2.3.1	Contextura Meia Malha.....	29
2.4	Conforto.....	29
2.5	Propriedades do corpo humano	31
2.6	Equipamentos existentes.....	32
2.6.1	Kawabata Thermo-Lab:	32
2.6.2	Shirley Vapour Tester:	33
2.6.3	Alambeta:	33
2.6.4	Permetest:	34
2.6.5	Air Permeability Tester:	35
2.6.6	Copos de permeabilidade:.....	35
2.6.7	Manequim térmico	36
2.7	O equipamento SMTEX.....	37
2.7.1	Módulo 1 – Aquecimento, Transpiração e Volume	38

2.7.2	Módulo 2 – Sensores de Temperatura e Umidade Relativa	38
2.7.3	Módulo 3 – Velocidade do Vento e Ambiente	39
2.7.4	Módulo 4 – Obtenção de dados e retransmissão	39
2.7.5	Dados técnicos	41
2.8	Planejamento experimental	41
3	MATERIAIS E MÉTODOS	44
3.1	Matérias-primas selecionadas para a produção de amostras.	44
3.2	Produção de amostras	44
3.3	Lavagem das amostras	45
3.4	Caracterização das malhas	45
3.4.1	Gramatura	45
3.4.2	Espessura.....	46
3.4.3	Densidade (colunas e carreiras fios por cm)	46
3.4.4	LFA.....	47
3.5	Ciclo de operação básica do SMTEX	48
3.6	Ensaio realizados com o SMTEX	52
3.7	Análise dos resultados	52
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
4.1	Capacidade de isolamento	54
4.1.1	Fibras celulósicas, variação da Umidade	55
4.1.2	Fibras celulósicas, variação da Temperatura	56
4.1.3	Fibras sintéticas, variação da Umidade	58
4.1.4	Fibras sintéticas, variação da Temperatura.....	59
4.1.5	Visão geral dos resultados	61
4.2	Tempo para atingir a estabilidade térmica.....	63
4.3	Perda de volume de água.....	63
4.4	Permeabilidade ao vapor d'água	64
4.5	Energia dissipada	66
4.6	Comparação entre os equipamentos.....	67
5	CONCLUSÃO	68
	REFERÊNCIAS	69
	APÊNDICE a – manual de utilização smtex.....	72

1 INTRODUÇÃO

A constante evolução tecnológica da indústria têxtil no âmbito do desenvolvimento de novas fibras, fios, tecidos, tratamentos e produtos confeccionados é comumente acompanhada pela criação normas e métodos de ensaios, com o objetivo de quantificar as características comuns ou especiais e auxiliar novos estudos e pesquisas através da comparação desses parâmetros.

O mercado de artigos confeccionados possui diversos tipos de produtos e destinações, tais como: vestuário, proteção, uniforme e esportivo. Cada produto, em função da sua aplicação final, possui requisitos mínimos de qualidade e funcionalidade.

A qualidade percebida pelo consumidor nos artigos confeccionados é o conjunto de características que satisfazem sua necessidade. Dentre estas características está o conforto, que pode ser entendido como um conjunto de indicadores e informações que podem indicar a conformidade da peça com a qualidade desejada.

Segundo SLATER (1985) conforto é um estado prazeroso de harmonia fisiológica, física e psicológica entre o ser humano e o meio ambiente. Esta interação está presente em todos os artigos confeccionados que visam cobrir alguma área do corpo humano.

O desenvolvimento de manequins como equipamentos de medição surgiu com a necessidade de simular em laboratório, atividades realizadas com vestuário técnico, militar e esportivo, visando obter valores experimentais mais próximos dos reais. Dotados de sensores internos de temperatura, capacidade de geração interna de calor e alguns modelos com a liberação de suor padronizado em quantidade controlada, impulsionaram as pesquisas ligadas à eficiência dos artigos confeccionados para as áreas citadas. A construção de manequins térmicos ou mesmo sua aquisição é muito dispendiosa e as variáveis são controladas em função das dimensões físicas do equipamento.

Por outro lado, existem vários equipamentos de laboratório que foram desenvolvidos para controlar de forma isolada a temperatura, geração de suor, geração de vapor e porosidade dos tecidos. Entretanto, com esses equipamentos não

é possível mensurar o comportamento desejado do material têxtil influenciado diretamente pelas interações entre cada propriedade existente.

Durante a realização do meu trabalho de graduação em engenharia têxtil foi desenvolvido e construído o Sistema de medição de calor e vapor em têxteis (SMTEX), que tem como principal objetivo avaliar as características dos materiais têxteis em um único equipamento de laboratório, similar aos manequins térmicos, mas com um corpo de prova com dimensões reduzidas se comparado aos corpos de prova usados nos manequins térmicos. A figura 1 apresenta o equipamento SMTEX.

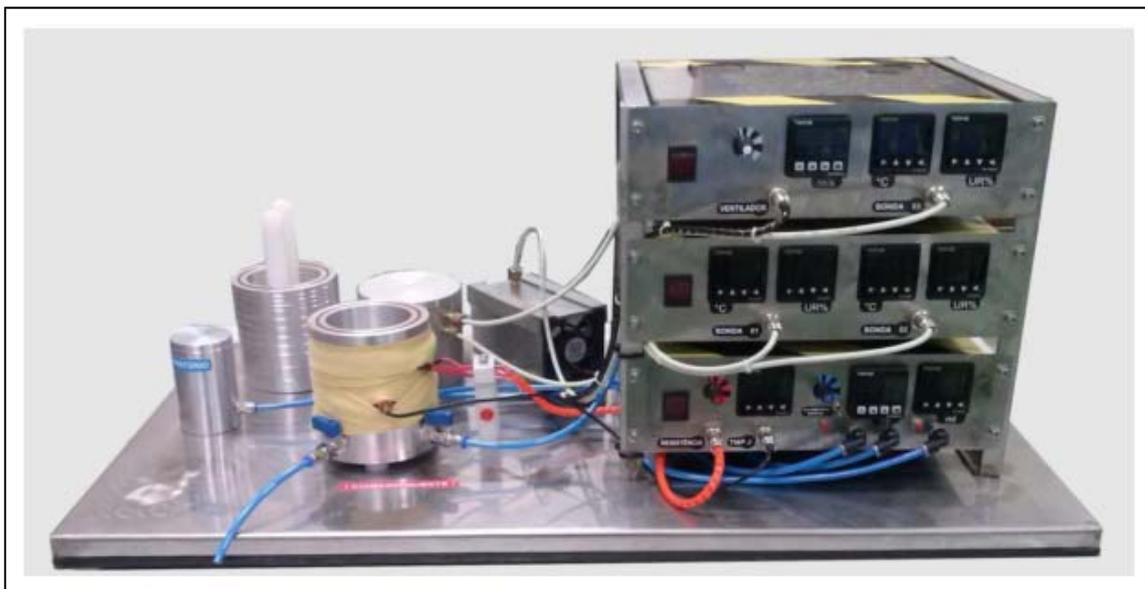


Figura 1 – SMTEX Sistema de medição de calor e vapor em têxteis.
Fonte: Yuri Fazion Gradela, 2022

Para concluir o desenvolvimento e validar o equipamento SMTEX, são necessários testes e ensaios controlados para parametrizar as capacidades mínimas e máximas do equipamento, em cada característica analisada, visando a eliminação de eventuais ruídos internos, ruídos externos e erros de operação, pois não existem históricos de resultados e de informações sobre o comportamento do equipamento durante execução dos ensaios.

A sequência de testes permitirá determinar a quantidade de água absorvida pelo material em relação ao tempo de exposição do material têxtil ao vapor, indicando sua saturação e a temperatura posterior à passagem do vapor gerado, ao mesmo tempo, será registrada a temperatura externa junto à superfície do material têxtil, indicando se o material favorece ou impede a transferência de calor.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Quantificar as propriedades térmicas e comportamentos de isolamento e transferência térmica dos tecidos de malha, em função da composição das matérias-primas e das características dimensionais das malhas, utilizando o equipamento SMTEX.

1.1.2 Objetivos específicos

1.1.2.1 Produzir amostras de tecidos de malha

Selecionar os fios e produzir as malhas com diferentes gramaturas, utilizando as seguintes matérias-primas: Algodão, Poliéster, Poliamida e Viscose.

1.1.2.2 Realizar o beneficiamento têxtil

Retirar o óleo residual depositado pelo maquinário durante o processo de tecimento das malhas e termo fixar a amostra das malhas produzidas.

1.1.2.3 Realizar ensaios utilizando o SMTEX

Obter os valores experimentais de calor e umidade da camada interior e exterior de cada tecido de malha produzido, medir a quantidade de vapor transportada pelo material, registrar o tempo necessário para atingir o equilíbrio de temperaturas e a quantidade de energia necessária para manter o aquecimento.

1.1.2.4 Determinar o comportamento das matérias-primas

Indicar os principais influenciadores e sua relação com as diferentes características dimensionais das amostras produzidas. Realizar estudos estatísticos com software Minitab 15.

1.1.2.5 Realizar comparação de equipamentos

Obter informações técnicas de diferentes equipamentos disponíveis no mercado. Montar um quadro comparativo de funcionalidades para comparar o SMTEX com os demais equipamentos existentes.

1.1.2.6 Implementar e documentar o novo módulo de automação

Indicar as principais funcionalidades e as telas obtidas com a instalação do módulo de obtenção de dados do SMTEX que foi conectado ao computador.

1.2 Justificativa

Estudos anteriores de GIBSON (1999), já demonstravam a dificuldade em medir a transferência de vapor em materiais têxteis. Entre os comportamentos observados destaca-se que as forças moleculares e a viscosidade gasosa deixam de influenciar o meio, diferente do que ocorre nas membranas. As interações são omitidas, pela força inercial e a relação entre pressão de movimentos e porosidade, mesmo em tecidos muito finos. Desta forma, é notado que algumas das propriedades de isolamento e transporte de vapor sofrem influência direta da construção do material, podendo ultrapassar propriedades obtidas pela matéria-prima utilizada.

Desta forma, a uniformidade dos dados obtidos neste estudo auxiliará no rápido desenvolvimento de produtos voltados à eficiência térmica e conforto sem a necessidade de longos testes em manequins térmicos, muitos deles disponíveis apenas em outros países.

A parametrização de resultados obtidos sobre as mesmas amostras em outros equipamentos disponibilizará um novo conjunto de dados básicos, que podem ser utilizados para a previsão de resultados em diferentes amostras e produtos provenientes de misturas de matérias-primas.

A seleção de fibras para produção das amostras leva em consideração os produtos mais consumidos pelo mercado nacional, o algodão ainda é visto como um material de conforto, baixo custo e antialérgico. As fibras sintéticas poliamida e poliéster estão presentes na maioria dos produtos acessórios, tecidos técnicos, uniformes e artigos esportivos, por serem manufaturadas podem receber diversas melhorias técnicas e variações técnicas de forma mais fácil que as fibras naturais. A viscose foi escolhida por estar presente em artigos de composição misturada como 77% poliéster 33% viscose, entre outros.

O processo de malharia circular será utilizado dada a versatilidade de produção de amostras a partir de pouca matéria-prima e fácil acerto de regulação de máquina, permitindo a correção de variações dos tipos de fios.

1.3 Problema

É possível determinar de forma simplificada a influência de diferentes matérias-primas e alterações de gramatura, através da medição de temperatura e umidade em diferentes camadas e métodos com o equipamento SMTEX?

Os dados obtidos são suficientes para validação do equipamento SMTEX e utilização semelhante aos demais equipamentos disponíveis no mercado?

1.4 Hipótese

Durante o processo de construção e testes de funcionamento do SMTEX, diversos resultados demonstraram semelhança aos resultados obtidos em manequins térmicos e métodos de medição direta. A melhoria na instrumentação e sensores permite estar mais próximo da realidade física, restando poucas interferências do ambiente a serem isoladas.

Para efeitos de comparação entre artigos confeccionados e variações do mesmo tipo de matéria-prima, é possível utilizar as medições obtidas no equipamento.

1.5 Metodologia

Serão produzidos tecidos de meia malha, em malharia circular, utilizando as seguintes matérias-primas 100%: fios de algodão fabricados no sistema anel e no sistema open-end, fios de poliéster standard e microfibra, fios de poliamida standard e microfibra, fios de viscose fabricados no sistema anel e no sistema jato de ar.

As malhas produzidas serão lavadas e secas. As malhas serão caracterizadas através de ensaios físicos. Serão realizados os ensaios no SMTEX. Os resultados experimentais serão analisados com auxílio do software Minitab 15.

1.6 Organização do trabalho

O trabalho será dividido em cinco capítulos, sendo: Introdução, Revisão bibliográfica, Materiais e métodos, Resultados e discussões e Conclusão.

Capítulo 1 – Introdução ao trabalho que será realizado, demonstrando o objetivo suas justificativas, a origem do mesmo, a metodologia seguida e a organização do trabalho.

Capítulo 2 – Revisão bibliográfica trata das informações utilizadas nas pesquisas, dados sobre as fibras escolhidas para produção das amostras, identificação da utilidade deste estudo dentro da cadeia têxtil, informações sobre conforto, manequins térmicos, o equipamento SMTEX, equipamentos existentes no mercado para controle capacidade de isolamento e transporte de vapor em materiais têxteis, planejamento experimental e análise estatística dos dados obtidos.

Capítulo 3 – Materiais e métodos detalha os fios utilizados para produção das malhas, equipamentos utilizados, normas e metodologias empregadas para realização deste trabalho.

Capítulo 4 – Resultados e discussões expõem todos os dados obtidos durante os ensaios e suas análises, além de observações referente aos procedimentos envolvidos.

Capítulo 5 – Conclusão compara as análises obtidas com as hipóteses apresentadas no início do trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cadeia têxtil

Os produtos produzidos pelas indústrias de confecção de vestuário, penúltimo elo da cadeia têxtil, estão em contato direto com o ser humano.

Desde que o homem não quis mais usar as vestes de folhas e peles de animal para se proteger das condições de meio ambiente, na pré-história, ele teve que encontrar meios para fabricar os tecidos (Sanchez, 2011).

Na antiguidade os tecidos eram produzidos de forma artesanal, com fibras naturais, que eram colhidas, fiadas para a produção dos fios, que, em seguida, eram entrelaçados manualmente para a produção dos tecidos e confecção do vestuário.

A cadeia produtiva têxtil evoluiu com o passar dos anos. A transformação do sistema produtivo têxtil teve início na Revolução Industrial, onde a força do homem foi em grande parte substituída pela força das máquinas. Atualmente, os princípios para a formação do tecido plano e das malhas são os mesmos da antiguidade. Entretanto, os métodos e equipamentos para a fabricação desses tecidos passaram por uma grande evolução, que pode ser observada em todos os elos da cadeia têxtil, desde o cultivo das fibras até a confecção do produto final (WULFHORST, 2006).

No primeiro elo, o de matérias-primas, antes da Revolução Industrial as fibras vegetais eram colhidas manualmente e preparadas para a fiação. Hoje a automatização das lavouras e as melhorias genéticas das espécies produtoras de fibras permitem o alto consumo das mesmas matérias-primas.

O surgimento de fibras artificiais e sintéticas, na primeira metade do século XX, com processos industriais complexos, trouxe ao mercado a possibilidade de redução dos custos de produção existentes com a fiação de fibras descontinuas, pois, a produção de fios manufaturados entrega parte de seus fios diretamente à etapa de fabricação do tecido (IYER et al., 1997). Por outro lado, mesmo com surgimento dos fios manufaturados, o mercado de fibras descontinuas e de fiação mostram evoluções tecnológicas constantes, tais como, desenvolvimento de materiais sintéticos cortados, que podem ser utilizados em misturas de fibras, visando alcançar qualidades e propriedades das fibras naturais.

No segmento da Indústria Têxtil, segundo elo da cadeia têxtil, o fio formado em suas infinitas configurações é destinado à fabricação do tecido. Nesta etapa, o fio será entrelaçado de várias formas, das mais básicas como telas até as mais complexas como malhas 3D. A fabricação do tecido convencional pode ser dividida em dois grupos: tecelagem plana e de malhas, a malharia pode ser subdividida em retilínea, circular e de urdume.

A criação do sistema de malharia também reduziu a extensão da cadeia têxtil, pois utiliza os fios, que recebem das fiações, diretamente na produção de tecidos de malha, desta forma não é necessário realizar o processo de urdimento como acontece na tecelagem plana.

Após a fabricação dos tecidos é necessário realizar processo de beneficiamento têxtil. Este setor é responsável também por tingir e adicionar estampas variadas aos produtos antes de encaminhá-los às confecções ou a outras indústrias de transformação. Nesta etapa, um novo leque de tecnologias e novas aplicações se abre, acabamentos especiais, aplicados aos tecidos fabricados com materiais comuns, podem torná-los aptos aos diversos mercados, como cama, mesa, banho, automotivo, revestimentos, vestuário, dentre outros.

Independente da aplicação do produto final, a maioria dos tecidos será encaminhada à uma confecção, penúltimo elo da cadeia têxtil. O trabalho de costura passa a ser novamente um encontro do têxtil com o homem, devido à complexidade da junção das partes cortadas de tecido para realizar a montagem do artigo. Esta é uma etapa predominantemente manual, o avanço da tecnologia possibilitou um aumento da velocidade e da programação das máquinas. Entretanto, existe grande dificuldade de torná-la 100% automatizada pela dificuldade de substituição do operador manual posicionamento e acompanhamento constante da qualidade executada que não pode ser substituído por máquinas.

Após a confecção ainda são possíveis novos acabamentos sobre o produto final, estampas e acabamentos de lavagens são comuns nesta etapa.

O último elo da cadeia têxtil é responsável pela distribuição e vendas do produto final. Atualmente, existe uma tendência das grandes empresas de fibras e fios em fornecer aos consumidores mais informações sobre o processo produtivo de seus produtos, melhorando a comunicação em todos os elos da cadeia têxtil. Esta mudança

de estratégia foi necessária diante da tendência do consumidor em optar pela compra de produtos mais duráveis e de melhor qualidade. A figura 2 mostra esse aumento em um estudo realizado sobre as vendas no comércio varejista entre 2012 a 2022.

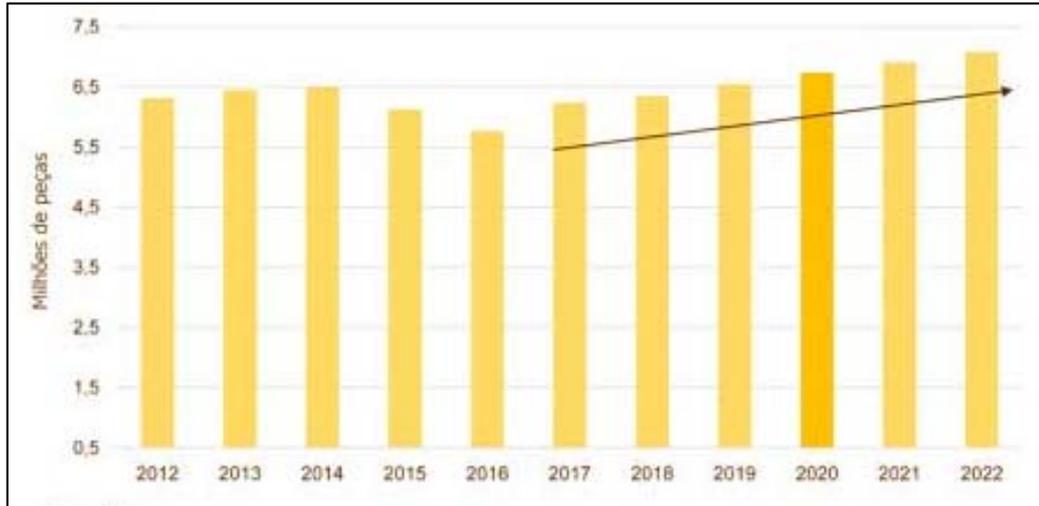


Figura 2 – Produção e venda no varejo têxtil
Fonte: IEMI, 2022

2.2 Fibras

As fibras têxteis são unidades de matéria com características de flexibilidade, finura e alta relação entre comprimento e espessura (MORTON; HEARLE, 1997). Contudo a definição de fibras têxteis só pode ser precisa por meio de um perfeito conhecimento das suas propriedades biológicas, físicas e químicas, direcionadas às diversas aplicações finais.

Outra definição usada, se refere a fibra têxtil, como todo material possível de ser fiado e tecido.

Para ARAÚJO (1986) as fibras têxteis são elementos filiformes caracterizados pela flexibilidade, finura e grande comprimento em relação à dimensão transversal máxima, que podem ser usadas em aplicações têxteis.

2.2.1 Classificação das fibras

As fibras têxteis podem ser classificadas, segundo a sua origem, em dois grupos: naturais e manufaturadas. A figura 3 ilustra a classificação das fibras têxteis.

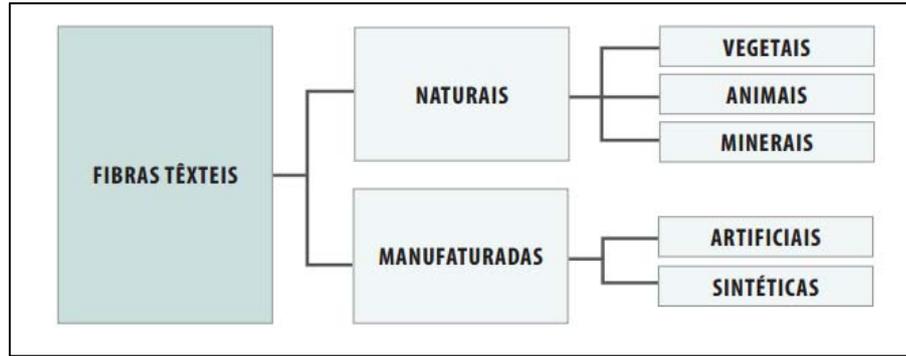


Figura 3 - Classificação das fibras têxteis
Fonte: ABNT NBR 12744, 1992

2.2.2 Algodão

O algodão é uma fibra natural, de origem vegetal, de comprimento variando entre 24 e 30 mm com aproximadamente 94% de celulose após a limpeza e descaroçamento mecânico.

Os demais componentes da fibra estão localizados principalmente na cutícula, na parede celular primária, e no lúmen. As fibras de algodão que têm uma alta proporção de área de superfície de densidade linear geralmente apresentam um teor relativamente elevado de constituintes não-celulósicos. Estes constituintes incluem as proteínas, aminoácidos, nitrogênio, cera, substâncias pécticas, ácidos orgânicos, açúcares, sais inorgânicos, e uma pequena quantidade de pigmentos. Variações nesses componentes surgem devido a diferenças na maturidade da fibra, das variedades de espécies de algodão, e das condições ambientais. Após os tratamentos para remover os materiais não-celulósicos de origem natural, a quantidade de celulose na fibra é superior a 99%. A figura 4 apresenta essa cadeia.

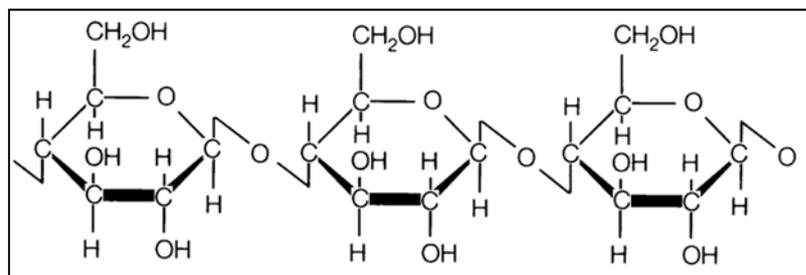


Figura 4 - Cadeia de celulose
Fonte: International Fiber Science (2007)

Repetições das condensações durante a biossíntese levam a ramificações de cadeias de polímeros de grandes comprimentos. Em fibras de algodão não-

degradadas, o grau de polimerização pode ser superior a 20.000 unidades monoméricas. A figura 5 mostra a constituição da fibra de algodão.

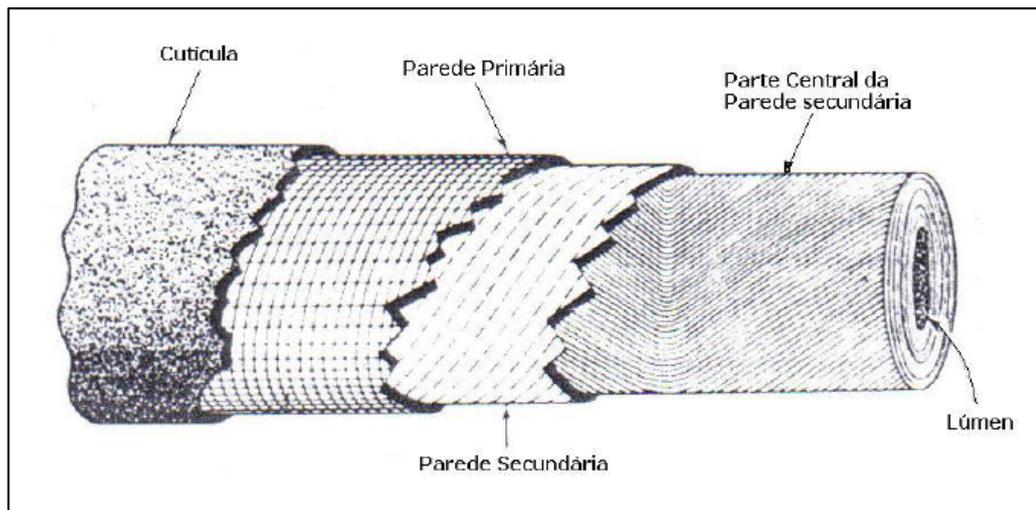


Figura 5 - Morfologia da fibra de algodão
Fonte: ALFIERI, 2008

A parede primária é constituída por mais de 50% de celulose, contendo também proteínas, pectinas e ceras (NEVELL, 1985). A rede fibrilar desta parede é dispersa e a disposição angular nas paredes em relação ao eixo da fibra é cruzada, embora regular. As fibrilas possuem disposição envolvente e espiralada ao redor do eixo.

A parede secundária da fibra é composta por deposições internas de camadas concêntricas de celulose e a deposição da celulose em cada uma dessas camadas se faz de forma espiralada. Esta camada constitui cerca de 90% do peso da fibra e responde por várias propriedades físicas e dinâmicas da fibra.

O lúmen ocorre ao longo de todo o comprimento no interior da fibra e é composto por ceras, pectina e resíduos de protoplasma.

As fibras de algodão, em relação as fibras sintéticas, possuem maior capacidade de absorção de água. A umidade da fibra tem grande significado técnico para todas as etapas produtivas, desde a colheita, na fase de extração, no beneficiamento e preparo até o armazenamento e são responsáveis pela alteração de algumas propriedades, tais como: cor, resistência e isolamento térmico (ALFIERI, 2008).

De acordo com Olney (1947), a umidade presente nas fibras de algodão é de natureza higroscópica, isso significa que a água é quimicamente combinada como um

constituente qualquer de material, mas é fisicamente realizada em seus poros microscópicos. Uma substância higroscópica quando colocada em uma atmosfera seca perderá sua umidade gradualmente, ou quando for aquecida a uma temperatura mais elevada que o ponto de ebulição da água a umidade higroscópica desaparecerá. Desta forma, é possível determinar com considerável precisão a percentagem de umidade higroscópica de qualquer substância.

2.2.3 Poliamida

O termo nylon foi adotado inicialmente pela E.I. DuPont de Nemours & Co. Inc. por ser sua patente, e que é hoje universalmente usado para designar as poliamidas sintéticas.

Desde a II Guerra Mundial, as poliamidas 6 e 6.6 têm-se distinguido no mercado mundial como sendo as fibras têxteis sintéticas mais importantes. Dentre todas as poliamidas, a 6 e a 6.6 são produzidas em maior escala e representam quase a totalidade da produção de fibras de poliamida. No entanto, nos últimos tempos, observa-se o aumento da importância comercial da poliamida 11, da poliamida 6.10 e de novos tipos de fibras de poliamida (DEOPURA Et Al , 2008).

Na nomenclatura numérica usada para diferenciar os tipos de poliamidas, o primeiro número diz respeito ao número de átomos de carbono da diamina, e o segundo número diz respeito ao número de átomos de carbono do diácido. A figura 6 mostra a estrutura da poliamida 6.6.

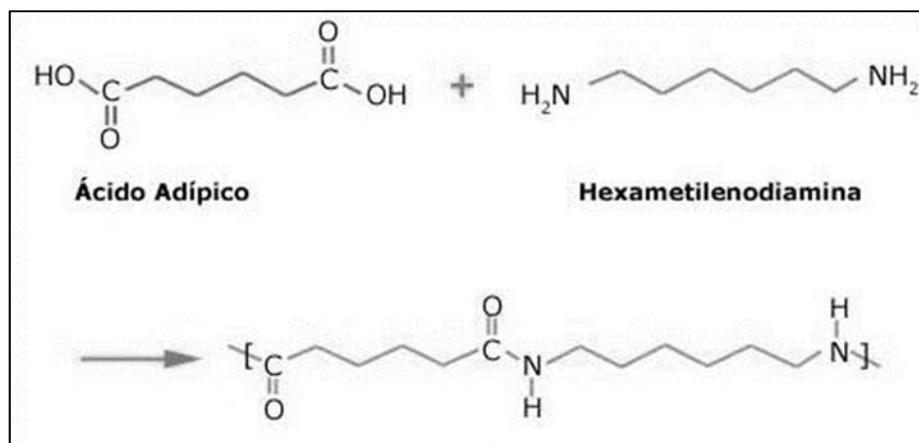


Figura 6 - Estrutura da poliamida 6.6
Fonte: Autor

Na fabricação da poliamida 6.6 são utilizados compostos que se dissolvem na presença de metanol, quando essa solução é aquecida dá origem ao “sal nylon”, que é um composto muito estável e solúvel em água. A solução é colocada em uma autoclave, sob atmosfera de nitrogênio, onde é realizada a pré-condensação a 200°C. A poli condensação dura aproximadamente 4 horas, terminando a uma temperatura de 280°C. Este polímero passa para a formação de chips, que posteriormente são fundidos e filtrados, formando filamentos sólidos, que são resfriados por corrente de ar frio. Os filamentos produzidos não possuem resistência, pois as suas macromoléculas estão desorientadas, com disposição caótica. Com isso o último processo para obtenção dos filamentos é a estiragem, onde é feito o alongamento a frio, alonga-se cerca de 400 a 500% do comprimento inicial (SINTES, 1953).

A fabricação da poliamida 6 ocorre de forma diferente, a poli condensação e a fiação são feitas em um processo contínuo de produção. A coprolactama na presença de água e de um catalisador é aquecida, fazendo com que a cadeia de anidro se abra. Em seguida, o polímero é fundido em autoclaves e levado a feiras por bombas. Quando há uma determinada quantidade de monômeros de coprolactama no polímero, é necessário realizar uma lavagem com água para retirar o composto residual. As demais operações são idênticas aos processos da poliamida 6.6. Sendo a estiragem baixa, parcial ou total para conferir as propriedades aos filamentos, seguida pelo enrolamento (GUILLÉN, 1991).

2.2.4 Poliéster

O poliéster teve seu desenvolvimento a partir dos estudos realizados por Whinfield e Dickenen em meados de 1941. As primeiras amostras expostas ao mercado mundial, em 1953, foram o Terilene da I.C.I UK seguido pelo Dacron da Dupont USA.

Os poliésteres oferecem grandes possibilidades de variações de composição química partindo do diácido carboxílico e dialcoois (glicóis), porém no presente, a maior produção para fins têxteis é derivada do ácido tereftálico com etileno glicol (GUILLÉN, 2001).

Segundo Guillén (2001), as matérias-primas principais do tereftalato de polietileno são: o ácido tereftálico e o seu derivado metilado (metil tereftalato) juntamente com etileno glicol, todos com alto grau de pureza. O ácido tereftálico,

obtido do paraxilol ou do tolueno, é impuro e deve ser purificado e atualmente é a matéria-prima mais utilizada.

O poliéster final obtido de diversas composições tem suas propriedades têxteis pouco alteradas, sendo muito difícil identificar a origem química inicial através do produto final.

As propriedades da fibra de poliéster são: teor cristalino entre 45 a 55%, alta tenacidade, elevado ponto de fusão e boa estabilidade a luz. Quanto as suas propriedades químicas: alta resistência aos micro-organismos, boa resistência aos ácidos e aos álcalis fracos e moderada resistência aos álcalis fortes à temperatura ambiente (FOURNÉ, 1998). A figura 7 apresenta a estrutura do PET.

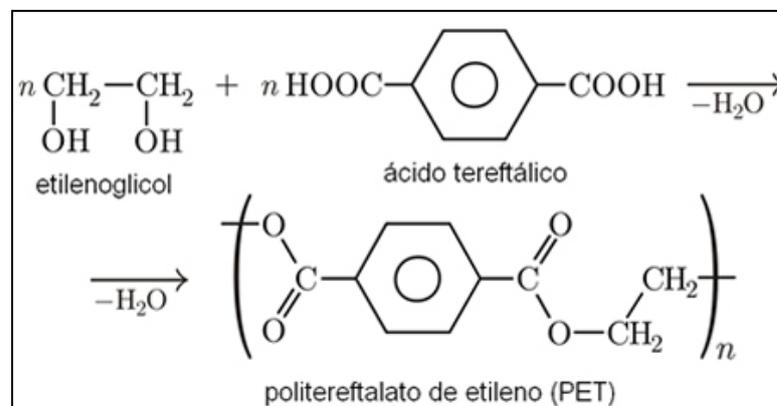


Figura 7 - Estrutura do poliéster
Fonte: Autor

2.2.5 Viscose

Cross e Bevan, em um estudo sistemático da celulose realizado em 1.892, prepararam a primeira solução, a chamaram de “Viscosa”, nome que mais tarde foi usado para indicar todo o processo de fabricação do fio/fibra (LEWIN, PEARCE, 1998).

Viscose é uma fibra artificial de celulose, fabricada a partir de lascas de madeira de árvores pouco resinosas ou do línter da semente do algodão. O processo para fabricação do fio de raiom viscose baseia-se em dissolução da matéria-prima, através de transformações químicas e em um processo contínuo de extrusão, para transformá-la em fios, que quando coagulados e, regenerada a celulose, podem ser utilizados como fios contínuos ou fibras cortadas em flocos (COLLIER, 1980).

A celulose é purificada para separar das fibras as matérias aglutinantes, tais como, as ligninas, as ceras, as resinas vegetais, as pectinas e as celuloses de baixo peso molecular, denominadas hemiceluloses.

As fibras de raio viscose possuem uma estrutura “micelar” devido ao baixo peso molecular das macromoléculas. A rápida passagem do estado líquido viscoso para o sólido limita a movimentação molecular e conseqüentemente a sua cristalização. A baixa estiragem determina a baixa orientação molecular e a cristalinidade resultante é de 30 a 35%. A rigidez molecular cria um elevado grau de ordem das regiões amorfas. A fibra de viscose absorve em torno de 13% de umidade.

2.2.6 Comparação entre as fibras utilizadas

A figura 8 mostra as principais propriedades das fibras de algodão, poliamida, poliéster e viscose.

FIBER PROPERTY	COTTON	NYLON 6	PET	RAYON
Specific Gravity	1.52	1.14	1.39	1.52
Tg (°C)	-	90	125	-
Tm (°C)	None	215	255	None
Tenacity (g/d)	4.0	5.5	2.4 - 7.0	2.5
Moisture Regain (%)	7.5	4.1	0.2 - 0.4	11
Elastic Recovery (5% strain)	52	89	65	32
Heat of Combustion (MJ/kg)	17	3.1	25 - 30	17
Flammability	Burns	Medium smoke; Melts	High smoke; Burns 6 min. after flame removed	Burns
UV Resistance	Fair - Poor	Poor	Fair	Poor
Refractive Index	1.53	1.52	1.54	1.52
Contact Angle (°)	-	70	82	-
Wicking (L-W slope) higher slope, more wicking	-	-	0.7 - 0.8 (no finish)	-

Figura 8 - Quadro comparativo de fibras
Fonte: Ingeo (2019)

2.3 Malharia

A malharia consiste na etapa onde os tecidos de malha são resultantes de processos técnicos de laçadas de um só fio ou de um agrupamento de fios que se movem em uma única direção, interpenetrando-se. Ao contrário da tecelagem plana, onde dois fios cruzam-se entre si, o fio simples de malharia é laçado através dele mesmo, fazendo uma espécie de corrente de pontos. Enquanto a produção dos nãotecidos ocorre do processo de agrupamento de fibras, que são unidas por fricção, costura ou colagem (RODRIGUES, 1998).

Do ponto de vista físico, um tecido de malha pode ser descrito como uma estrutura flexível, constituída pela repetição vertical e horizontal das laçadas. A figura 9 mostra uma estrutura em meia malha.

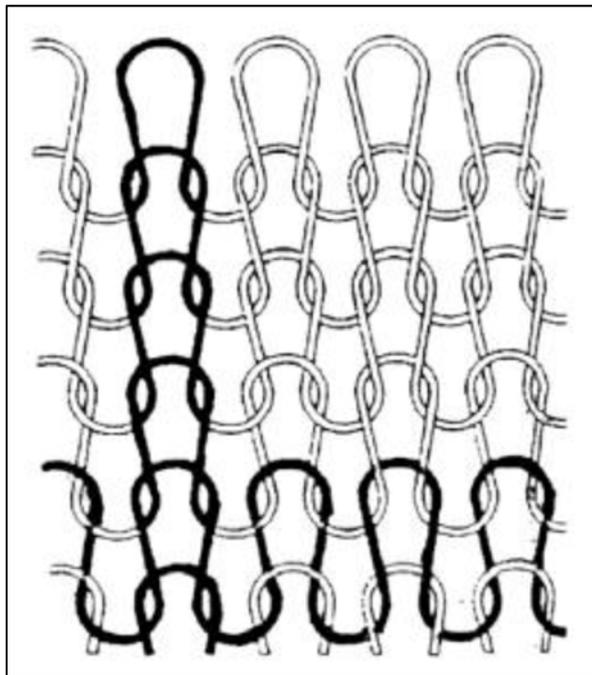


Figura 9 - Carreiras e Colunas
Fonte: Mazza, 2002

A laçada é o elemento fundamental de um tecido de malha. Na figura 9 a linha horizontal é chamada de carreira e é produzida por agulhas diferentes que estão dispostas na frontura das máquinas de malharia. A linha vertical é chamada de coluna e é produzida sempre pela mesma agulha.

2.3.1 Contextura Meia Malha

É a contextura básica das malhas monofronturas. Essa contextura é conhecida também como Single Jersey, Jersey ou Jersey Simples e consiste em programar todas as agulhas para fazer laçadas em todos os sistemas da máquina.

Os artigos produzidos nas máquinas monofronturas possuem seus dois lados, direito e avesso, diferentes. No caso da meia malha, o lado direito técnico é definido como sendo aquele em que aparecem as pernas das malhas (em forma de V), destacando-se linhas verticais. O lado avesso técnico é definido como sendo aquele em que aparecem as cabeças e os pés das malhas, destacando-se linhas horizontais.

2.4 Conforto

Em meados de 1920 já se estudava a elaboração de padrões de conforto e buscava-se determinar notas de acordo com a satisfação com o uso de determinadas peças de roupas (RAJ, 2001).

De acordo com McIntyre (1980), a avaliação em uma escala curta de valores torna as comparações, entre os materiais têxteis suscetíveis a erros de aproximação, além de conter variações de sensibilidade que variam de pessoa para pessoa comprometendo a avaliação.

O autor também destaca que as diferentes escalas utilizadas confundem o avaliador e o voluntário, pois a interpretação da escala de conforto é semelhante à de calor, que deveria ser entendido como conforto térmico. A tabela 1 ilustra as escalas utilizadas para quantificar o conforto e a sensação de calor e a figura 10 mostra os desvios obtidos na avaliação dos materiais têxteis.

Tabela 1 - Escala de conforto e sensação de calor

Bedford comfort scale		ASHRAE sensation scale	
Much too warm	7	Hot	7
Too Warm	6	Warm	6
Comfortably warm	5	Slightly warm	5
Comfortable	4	Neutral	4
Comfortably cool	3	Slightly cool	3
Too cool	2	Cool	2
Much too cool	1	Cold	1

Fonte: Adaptado de Parsons (2002)

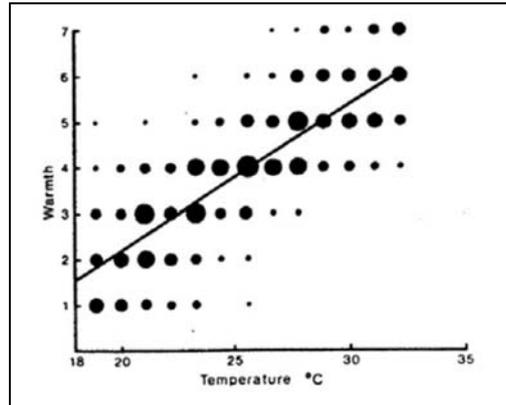


Figura 10 - Desvio de valores
Fonte: McIntyre, 1980

A sensação de conforto pode ser definida como sendo o conjunto de sinais recebidos por todo o corpo e processados pela mente humana, levando em consideração aspectos físicos químicos emocionais e estímulos dos sentidos (MARTIN, 2010).

O equilíbrio entre o extremo frio e o extremo calor é prontamente identificado com sinais de alerta do organismo, com o objetivo de protegê-lo de danos irreversíveis. A figura 11 mostra as respostas do organismo humano em função da variação de temperaturas.

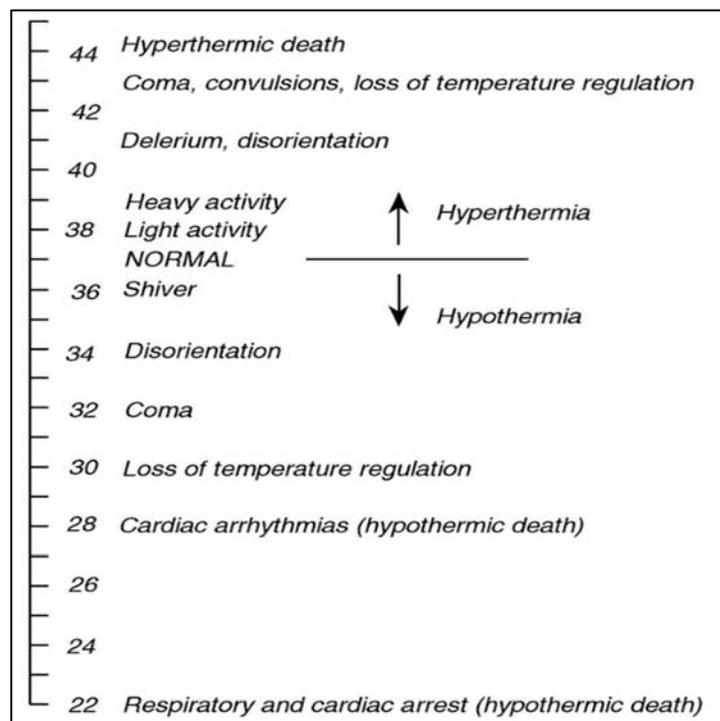


Figura 11 - Resposta do corpo à mudança de temperatura em °C
Fonte: Brown, 2001

2.5 Propriedades do corpo humano

De acordo com Paulev e Zunieta-Calleja (2004), o ser humano é homeotérmico, sendo capaz de manter sua temperatura em uma faixa estreita independente da variação térmica externa. Para este equilíbrio existe a absorção, geração e a perda de calor. A temperatura média do corpo é de 36,7 °C normalmente atingindo 37,2 durante o dia e 36,0 durante o sono. A figura 12 mostra a variação de temperatura do corpo humano durante as 24 horas do dia.

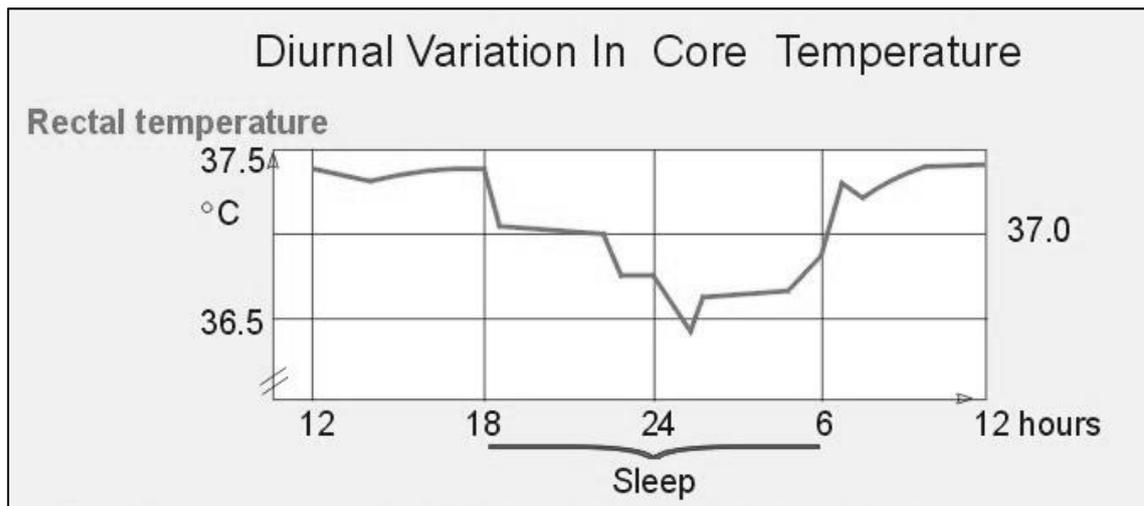


Figura 12 - Temperatura do corpo ao longo do dia
Fonte: Paulev; Zubieta-Calleja, 2004

Um dos principais redutores de calor do corpo é o suor expelido pela pele. Em casos extremos de produção de suor o corpo humano pode chegar a produzir 2,5 l/h de suor, porém para atividades físicas intensas são adotados valores entre 1,5 e 2,0 l/h e para manequins térmicos é comum a utilização padronizada de valores entre 0,0 à 400,0 g/m²/h de suor (Paulev; Zubieta-Calleja, 2004). A figura 13 mostra o gráfico da superfície mapeada para controle da área exata.

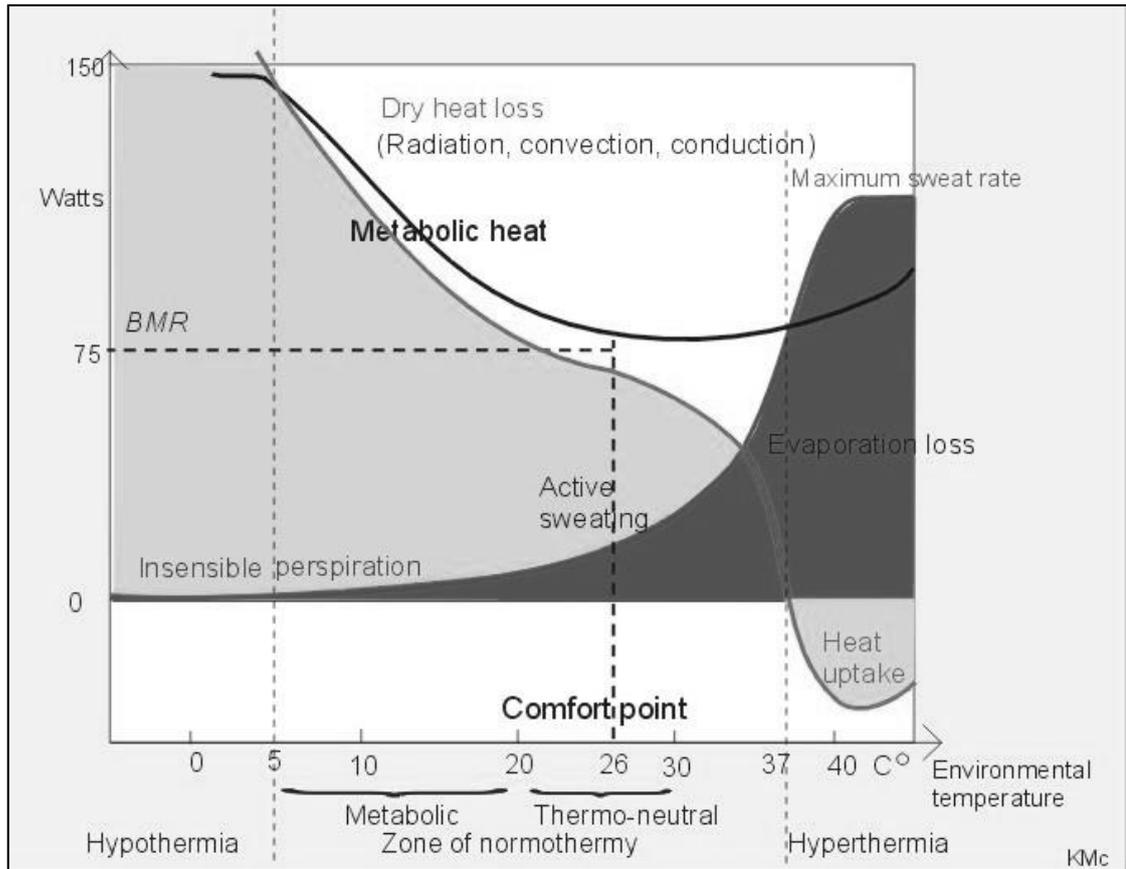


Figura 13 - Produção de suor durante exercícios
 Fonte: Paulev; Zubieta-Calleja, 2004

2.6 Equipamentos existentes

Existem no mercado, alguns equipamentos capazes de verificar medições específicas em materiais têxteis, tais como: temperatura, umidade, vapor, isolamento térmico, porosidade dentre outras. Seguem alguns exemplos e seus princípios de funcionamento.

2.6.1 Kawabata Thermo-Lab:

Este dispositivo é composto por um sensor móvel pré-aquecido de forma a simular o calor do corpo, ao ser colocado sobre a amostra de tecido transfere imediatamente ao computador a sensação térmica que é oferecida pela amostra, através da perda de seu calor. A figura 14 mostra o equipamento.

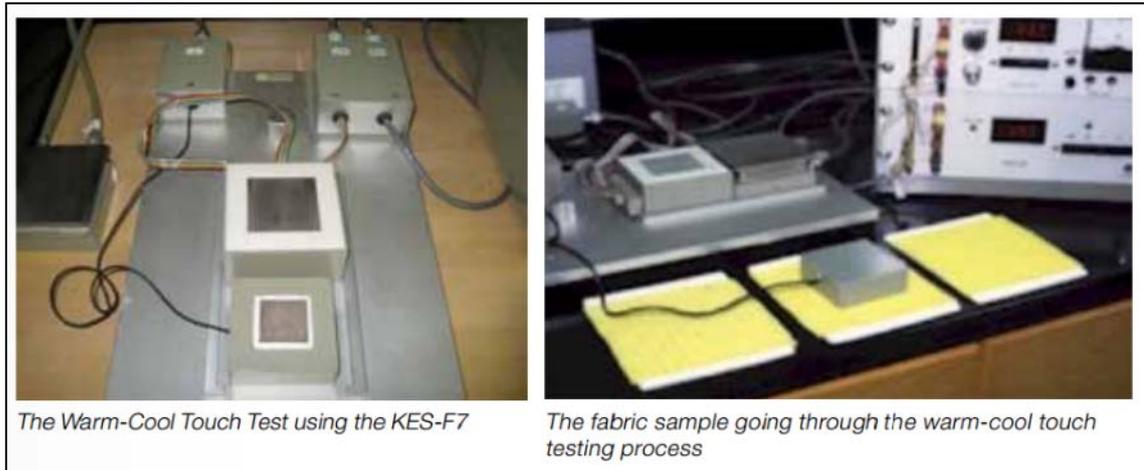


Figura 14 - Kawabata thermo-lab
Fonte: Konopov (2011)

2.6.2 Shirley Vapour Tester:

Este equipamento é composto por oito recipientes iguais que são abastecidos com uma quantidade conhecida de líquido e coberto com o tecido a ser testado, após um período de tempo o recipiente é pesado para obter a indicação da perda de massa do líquido. O prato com suporte de forma pode rotacionar em velocidade constante para simular uma leve corrente de ar sobre as amostras. A figura 15 apresenta uma fotografia o equipamento.



Figura 15 - Shirley Vapour Tester
Fonte: SDL Atlas

2.6.3 Alambeta:

Este equipamento realiza medições de transferência de calor entre a placa emissora de calor do equipamento e a placa receptora, pode realizar os ensaios em

amostras de alto volume e grandes dimensões. A medição principal é realizada de forma rápida sem amostra e funciona como tara para o equipamento. A figura 16 mostra uma fotografia do equipamento.

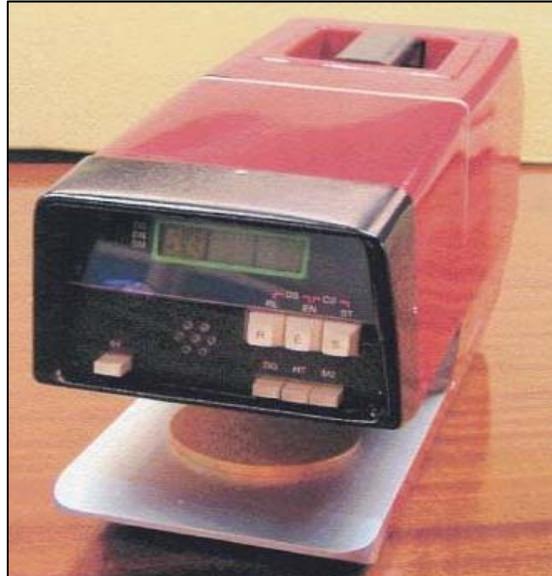


Figura 16 - Alambeta
Fonte: Ogustawska – Bączek; Hes, 2013

2.6.4 Permetest:

Este dispositivo possui uma pequena superfície que simula a pele humana em seu interior, onde é colocada a amostra de tecido, existe a opção de umedecer a região e de expor a mesma a uma corrente de ar, o equipamento mede a quantidade de água perdida através do material testado. A figura 17 mostra uma fotografia do equipamento.



Figura 17 - Permetest
Fonte: Hes, 2014

2.6.5 Air Permeability Tester:

Este equipamento realiza o teste de permeabilidade ao ar tampando-se um orifício de dimensões conhecidas e exercendo uma pressão manométrica que é monitorada quanto ocorre a diminuição da pressão, os valores são enviados para o computador. A figura 18 mostra uma fotografia do instrumento de medição.



Figura 18 - Air Permeability Tester
Fonte: Fayala et al., 2008

2.6.6 Copos de permeabilidade:

Utilizados de acordo com as normas ASTM E96 A,B,C,D,E e JIS 1099. É colocado líquido no interior dos copos ou elemento dessecante e monitorado o ganho ou perda de massa líquida ao longo do tempo. A figura 19 mostra uma fotografia dos copos.



Figura 19 - Copos de permeabilidade
Fonte: Vartest.com

2.6.7 Manequim térmico

A evolução dos equipamentos e a necessidade de dados mais próximos aos reais, extremamente necessários ao setor de vestuário técnico, militar e mais recentemente esportivo levaram ao desenvolvimento de manequins inteligentes, dotados de sensores internos de temperatura, geração controlada de calor e alguns modelos com a geração de suor de forma também controlada. A figura 20 mostra os manequins usados no período de 1935 a 1950.

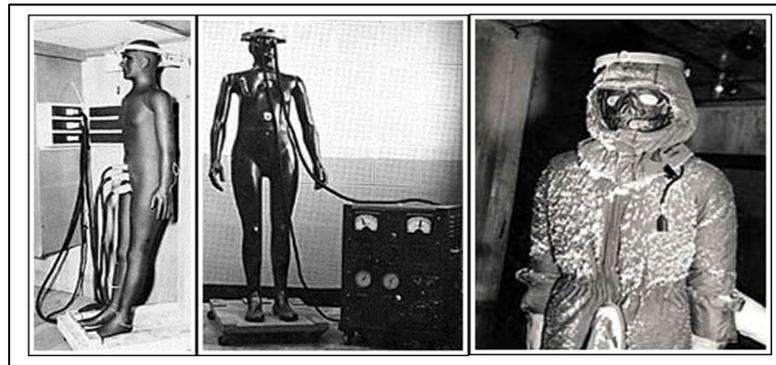


Figura 20 - Manequins 1935 – 1950
Fonte: Endrusick, 1990

Com o desenvolvimento de novas tecnologias e de sensores de controle com maior precisão, novos manequins foram apresentados ao mercado, e acabaram por se tornar ferramentas essenciais para o melhor desempenho de equipamentos de segurança, como os utilizados por bombeiros e trabalhadores do setor químico. A figura 21 apresenta os manequins usados no período 1960 a 1980 e a figura 22 mostra um manequim moderno.

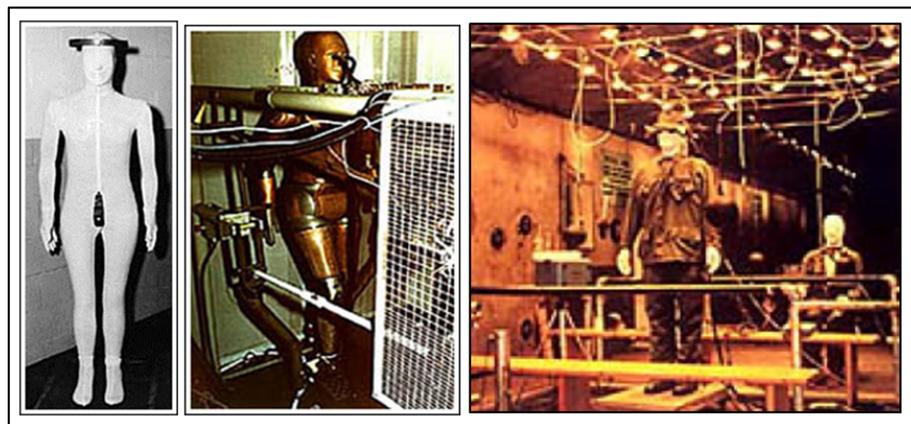


Figura 21 - Manequins 1960 - 1980
Fonte: Endrusick, 1990



Figura 22 - Manequim moderno
Fonte: Citeve, 2012

Atualmente, os manequins receberam além do monitor, para realizar ensaios em tempo real, através de softwares mais complexos a capacidade de movimentação, para simular as atividades de caminhada e corrida, a fim de monitorar por completo a atuação do vestuário sobre o corpo, pois a movimentação do corpo influencia a troca de ar no interior da roupa e a refrigeração do corpo. Nos ensaios de isolamento térmico com manequins normalmente são utilizadas as normas ISO 15831 e ASTM F 1291.

2.7 O equipamento SMTEX

A figura 23 ilustra o esquema técnico do SMTEX, que é formado por um conjunto de dispositivos e sistemas de medição.

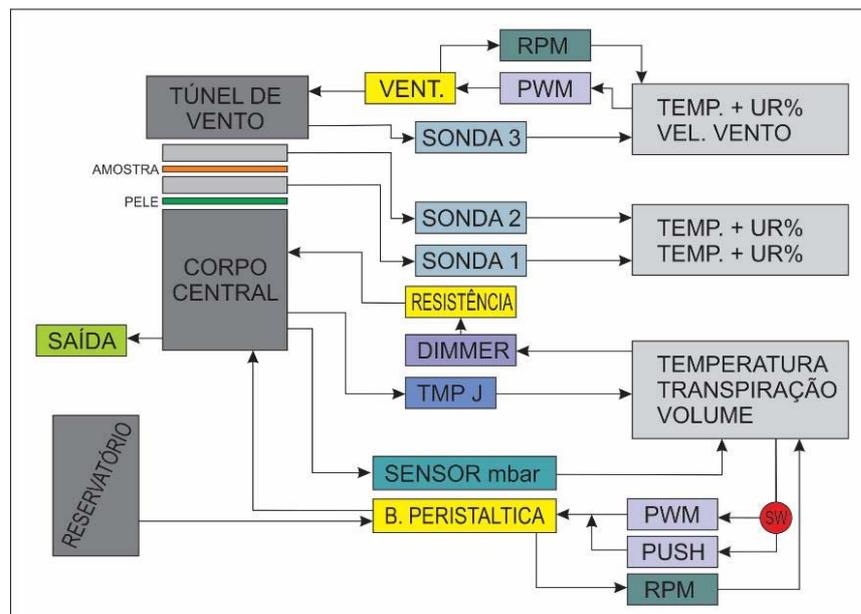


Figura 23 - Esquema técnico SMTEX
Fonte: Yuri Fazion Gradela, 2016

As funcionalidades desenvolvidas pelo equipamento são monitoradas através de três módulos de instrumentos, posicionados ao lado dos dispositivos principais.

2.7.1 Módulo 1 – Aquecimento, Transpiração e Volume

Este módulo é responsável pelo controle de aquecimento do corpo principal, através do ajuste direto de potência fornecida às resistências que envolvem o corpo, este controle recebe a medição direta da temperatura interna, através do termopar, a temperatura é indicada no painel que também possui controle digital de temperatura desejada e a opção de temperaturas limites.

O controle da transpiração possui dois modos de operação, o automático e o intermitente, que são selecionados pela chave no painel. O acionamento automático mantém a bomba peristáltica funcionando, conforme velocidade ajustada no painel, transferindo a água contida no reservatório externo para o interior do corpo central. A forma de acionamento intermitente, é realizada pelo acionamento do botão no painel que permite apenas pulsos na bomba, enviando pequenas quantidades de água, é utilizado quando for necessário fazer reposições ou pequenas correções.

A medição do nível de água no interior no corpo principal é obtida através da medida direta da pressão do fundo do recipiente interno. Esta medição ocorre de forma relativa à pressão externa, sendo necessário cuidado na operação para não pressurizar a linha acidentalmente e romper o diafragma interno do sensor. A leitura do sensor é transmitida para o indicador universal que possui a configuração interna de conversão necessária para a exibição do volume interno correspondente em mililitros (ml).

2.7.2 Módulo 2 – Sensores de Temperatura e Umidade Relativa

Este módulo possui dois conjuntos iguais de sensores de temperatura e umidade relativa, configurados para operar com indicação em °C e UR%. As leituras são obtidas através de sondas preparadas de forma móvel, que podem ser inseridas em diferentes posições e alturas entre a pele simulada, a amostra e o ambiente ou túnel de vento. Existe a preocupação quanto a saturação dos sensores com água, porém os mesmos possuem procedimento de regeneração que devolvem a capacidade inicial de leitura.

2.7.3 Módulo 3 – Velocidade do Vento e Ambiente

O último módulo de operação possui os controles do ventilador utilizado no túnel de vento bem como a leitura direta de sua velocidade, auxiliar a este monitoramento uma sonda de temperatura e umidade relativa igual às utilizadas no módulo dois recebe a indicação das características do ar ambiente que está sendo atravessado no sistema.

2.7.4 Módulo 4 – Obtenção de dados e retransmissão

Incluído para auxiliar o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, o módulo de obtenção aproveita funcionalidades já disponíveis nos mostradores digitais utilizados nos outros módulos.

Cada mostrador possui uma porta de saída de retransmissão de valores padronizada do tipo (0-20/4-20 mA) o que permite sua conexão a outros equipamentos de registro e visualização.

Os conjuntos de sensores e termopares foram agrupados e conectados conforme mostra a tabela 2.

Tabela 2 - Dados de conexão do modulo 4

Descrição	Sonda	Modulo	Porta
Temperatura °C	1	2	1
Umidade UR%	1	2	2
Temperatura °C	2	2	3
Umidade UR%	2	2	4
Temperatura °C	3	3	5
Umidade UR%	3	3	6
Temperatura do corpo °C	-	1	7
Volume de água ml	-	1	8

Fonte: Yuri Fazion Gradela, 2022

As portas analógicas recebem o sinal de cada mostrador e convertem através de uma interface AD indicada na figura 24, o sinal é recebido para transmissão via protocolo MODBUS, diretamente pelo computador através da interface USB indicada na figura 25.

As conexões foram realizadas de forma individual conforme diagrama da figura 26, e interligadas utilizando cabos padrão CAT5 e conectores RJ45 na parte traseira dos módulos, permitindo sua fácil manutenção e desligamento.



Figura 23 - Interface AD
Fonte: wellpro, 2022



Figura 24 - Modulo MODBUS para USB
Fonte: Yuri Fazion Gradela, 2022

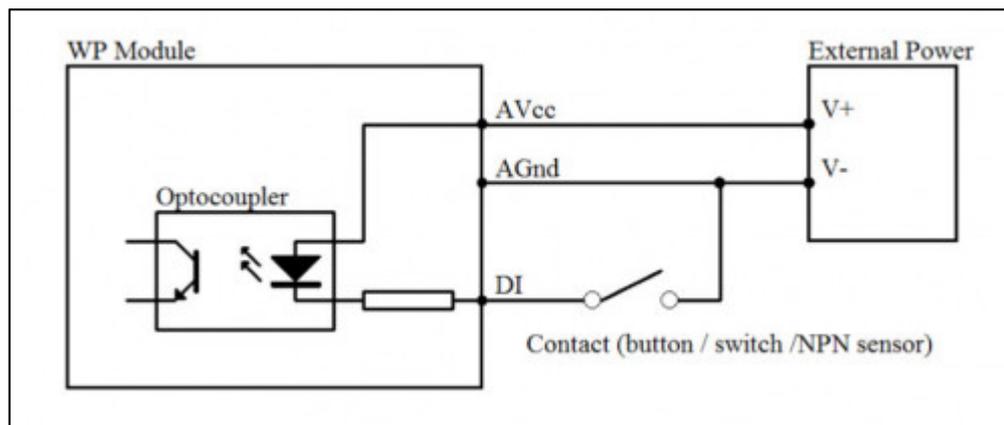


Figura 25 - Diagrama de conexão individual
Fonte: wellpro, 2022

Para a visualização dos dados recebidos é necessária a utilização de software de leitura universal de dados MODBUS. O software utilizado neste estudo é o FieldChart-Lite V2.0.3.06 para sistema operacional Windows10 em sua versão gratuita para uso. Disponível em: <https://www.novus.com.br/pt/fieldchart>

2.7.5 Dados técnicos

A tabela 3 apresenta as características técnicas do SMTEX.

Tabela 3 - Características do equipamento

Descrição	Valor
Capacidade interna do corpo central	500,0 ml
Capacidade do reservatório externo	100,0 ml
Temperatura máxima do corpo central	90,0 °C
Faixa de medição de temperatura da sonda	0,0 a 99,0 °C
Faixa de medição de umidade da sonda	0,0 à 99,0 %UR
Velocidade máxima do vento	3,9 m/s
Velocidade mínima do vento	1,0 m/s
Vasão máxima da bomba	1,0 ml/s
Vasão mínima da bomba	0,3 ml/s

Fonte: Yuri Fazion Gradela, 2016

2.8 Planejamento experimental

Segundo Montgomery (2004) os métodos de controle estatístico do processo e o planejamento experimental, são duas ferramentas muito poderosas para a melhoria e otimização do processo 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 oferecem uma maneira mais eficaz de controle quando comparado ao método de Controle Estatístico do processo (CEP).

O CEP é um método passivo: o processo é monitorado e quando ocorre uma mudança é necessário realizar algum tipo de intervenção. No entanto, se o processo está sob controle nenhuma intervenção é realizada. Por outro lado, o planejamento experimental é um método estatístico ativo: são realizados ajustes no processo, através de mudanças na entrada do processo e observação das alterações correspondentes na saída do mesmo, o 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, se um gráfico de controle indicar que o processo está fora de controle, e o processo em estudo possui várias variáveis de entrada controláveis, a menos que se conheça quais variáveis de entrada são significativas, será muito difícil trazer o processo de volta ao

controle. Os métodos de planejamento experimental podem ser usados para indicar quais variáveis que irão influenciar a saída do processo.

O planejamento experimental é uma ferramenta de engenharia para melhorar o rendimento de um processo de fabricação. Pode também ser usada no desenvolvimento de novos processos. A aplicação dessas técnicas no desenvolvimento do processo pode resultar em:

1. Melhor produção;
2. Variabilidade reduzida e conformidade mais próxima do nominal;
3. Tempo de desenvolvimento reduzido;
4. Custos totais reduzidos.

Para a correta aplicação do planejamento experimental é necessário o conhecimento básico da situação a ser estudada, pois deverão ser indicadas de forma correta as variáveis, os níveis, fatores e variáveis de saída.

MONTGOMERY (2005) faz algumas recomendações sobre o uso de métodos estatísticos para o planejamento experimental:

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 a ser estudado, quais são os objetivos a serem alcançados com a solução do mesmo, não é possível obter os resultados esperados com o planejamento experimental. É de fundamental importância a participação de todos no entendimento do problema, Manutenção, Engenharia, Qualidade e principalmente dos Operadores. A participação dos operadores é de grande importância pela sua habilidade prática e sensibilidade quando for realizada a 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 que serão analisados em que cada rodada 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 o pesquisador deve se certificar que a sua medição será relevante para responder as

perguntas do problema, poderá ser escolhida mais de uma variável resposta e deverá definir a forma e a precisão da medição.

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 aleatoriedade 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, para tornar os resultados e conclusões objetivos. Os tipos de métodos estatísticos exigidos são de fácil aplicação.

7ª) Conclusões e recomendações. Uma vez analisados os dados, o experimento deve acarretar conclusões práticas sobre os resultados e recomendar um curso de ações. Métodos gráficos são, em geral, usados neste estágio. Sequências de acompanhamento e testes de confirmação podem ser realizados para validar as conclusões do experimento.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Matérias-primas selecionadas para a produção de amostras.

Foram selecionados no mercado as seguintes matérias-primas 100%: fios de algodão fabricados no sistema anel e no sistema open-end, fios de poliéster standard e microfibras, fios de poliamida standard e microfibras, fios de viscose fabricados no sistema anel e no sistema jato de ar.

A tabela 4 indica os tipos de fios utilizados para a fabricação das malhas, sua tecnologia de fiação, título e matéria-prima.

Tabela 4 - Fios utilizados

Matérias-primas	Tecnologia	Título Comercial	Título Dtex
Algodão	Anel	Ne 30/1	197
Algodão	Open-end	Ne 28/1	211
Poliamida	Standard	2x 78 f 23 dtex	156
Poliamida	Microfibras	2 x 80 f 68 dtex	160
Poliéster	Standard	167 f 48 dtex	167
Poliéster	Microfibras	167 f 144 dtex	167
Viscose	Anel	Ne 30/1	197
Viscose	Jato de ar	Ne 40/1	148

Fonte: Yuri Fazon Gradela, 2022

3.2 Produção de amostras

As malhas foram produzidas em máquina DS Degoisey Finura: 24 Diâmetro: 3'3/4 com regulagem de tensão entre 5 e 6, e velocidade de fio entre 60 e 80 m/min. A tabela 5 mostra o planejamento experimental utilizado.

Tabela 5 – Amostras produzidas

Identificação	Matérias-primas	Tecnologia	Ponto
1a	Algodão	Anel	Aberto
1b	Algodão	Anel	Fechado
1c	Algodão	Open-end	Aberto
1d	Algodão	Open-end	Fechado
2a	Poliamida	Standard	Aberto
2b	Poliamida	Standard	Fechado
2c	Poliamida	Microfibras	Aberto
2d	Poliamida	Microfibras	Fechado
3a	Poliéster	Standard	Aberto
3b	Poliéster	Standard	Fechado
3c	Poliéster	Microfibras	Aberto
3d	Poliéster	Microfibras	Fechado
4a	Viscose	Anel	Aberto
4b	Viscose	Anel	Fechado
4c	Viscose	Jato de ar	Aberto
4d	Viscose	Jato de ar	Fechado

Fonte: Yuri Fazon Gradela, 2022

3.3 Lavagem das amostras

Foi realizada a lavagem para retirada de óleos residuais do processo de malharia circular e óleos de ensimagem contidos nos fios.

Lavagem industrial em tambor rotativo com água em temperatura ambiente e detergente desengraxante por 60 minutos, seguido de enxague em água limpa por 15 minutos e secagem prévia por centrifugação.

Secagem total após 24 horas de repouso horizontal.

Termo fixação em prensa doméstica de passar à 80 °C por 5 minutos.

3.4 Caracterização das malhas

3.4.1 Gramatura

Norma referência: ASTM D 3776 – *Mass unit per area (weight) of woven fabrics*.

Equipamentos utilizados: cortador de amostras têxtil de 10,0 cm², balança analítica com capela precisão 0,001g e placa para transporte de amostras.

A tabela 6 apresenta os valores experimentais obtidos no ensaio de verificação da gramatura das malhas.

Tabela 6 – Gramatura das amostras

Identificação	Gramatura g/m ²
1a	159,12
1b	178,65
1c	162,57
1d	182,20
2a	148,86
2b	156,74
2c	139,41
2d	165,15
3a	162,32
3b	171,12
3c	155,23
3d	167,49
4a	155,84
4b	172,10
4c	142,08
4d	157,66

Fonte: Yuri Fazion Gradela, 2022

3.4.2 Espessura

Norma referência: ASTM D 1777 - *Thickness of textile materials*.

Equipamentos utilizados: cortador de amostras têxtil de 10,0 cm², dispositivo de pressão padrão e área de contato de acordo com a norma e placa para transporte de amostras.

A tabela 7 mostra os valores experimentais obtidos no ensaio de verificação da espessura das malhas.

Tabela 7 – Espessura das amostras

Identificação	Espessura mm
1a	0,852
1b	0,890
1c	0,955
1d	0,988
2a	0,820
2b	0,842
2c	0,796
2d	0,852
3a	0,835
3b	0,864
3c	0,863
3d	0,900
4a	0,849
4b	0,873
4c	0,822
4d	0,854

Fonte: Yuri Fazion Gradela, 2022

3.4.3 Densidade (colunas e carreiras fios por cm)

Norma referência: ABNT NBR 12060:1991 Determinação do número de carreiras/cursos e colunas em tecidos de malha.

Equipamento utilizado: lente corta fios visor de 1,0 cm².

A tabela 8 mostra os valores experimentais obtidos nos ensaios de verificação da densidade das malhas.

Tabela 8 – Densidade carreiras e colunas

Identificação	Carreiras/cm	Colunas/cm
1a	18	13
1b	21	14
1c	17	13
1d	20	14
2a	18	14
2b	22	15
2c	19	15
2d	22	15
3a	20	14
3b	22	15
3c	19	14
3d	21	15
4a	17	13
4b	21	14
4c	18	13
4d	21	14

Fonte: Yuri Fazion Gradela, 2022

3.4.4 LFA

Norma referência: NF EN 14970 – *Determination of stitch length and yarn linear density in weft knitted fabrics*

Equipamento utilizado: régua metálica com comprimento 1,0 metro.

A tabela 9 mostra os valores experimentais obtidos no ensaio de verificação de LFA das malhas.

Tabela 9 – LFA

Identificação	LFA (mm em 100 laçadas)
1a	315
1b	275
1c	316
1d	280
2a	318
2b	280
2c	312
2d	278
3a	320
3b	278
3c	312
3d	276
4a	305
4b	265
4c	310
4d	270

Fonte: Yuri Fazion Gradela, 2022

3.5 Ciclo de operação básica do SMTEX

- a. Para o início de utilização do equipamento, primeiramente deve-se verificar todas as conexões elétricas, cabos de sondas e mangueiras conectadas ao equipamento.

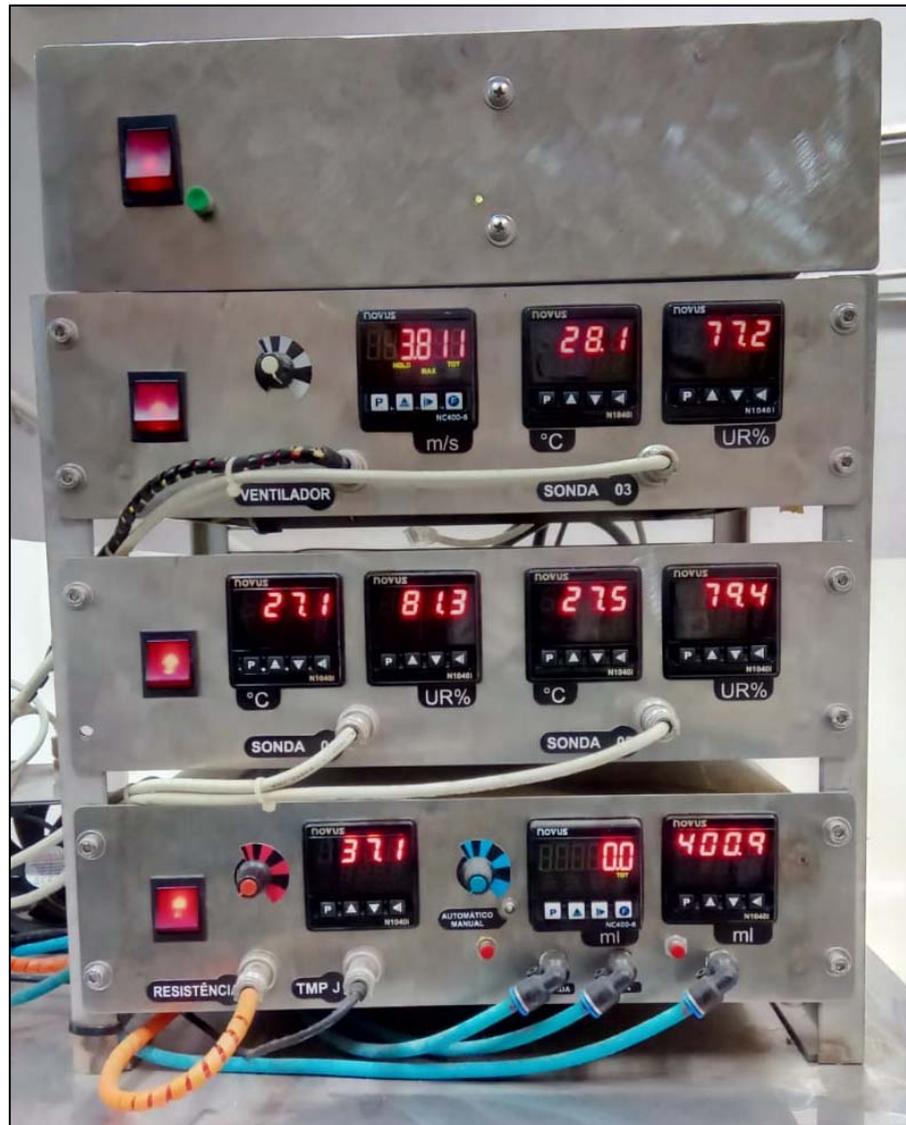


Figura 26 - Painel módulos SMTEX
Fonte: Yuri Fazion Gradela, 2022

- b. Ligar o equipamento, cada módulo possui um interruptor geral vermelho com indicação luminosa à esquerda (figura 26), e aguardar em torno de 10 minutos para que os sensores se estabilizem.
- c. Verificar se as sondas de temperatura e umidade (figura 27) não estão obstruídas ou com precipitação de sais, gotículas de água ou poeira.



Figura 27 - Sonda de temperatura e umidade SMTEX
Fonte: Yuri Fazion Gradela, 2022

- d. Abastecer o corpo central com água destilada até que o nível atinja 400 ml, indicado no Módulo 1 (figura 28).



Figura 28 – Corpo central SMTEX
Fonte: Yuri Fazion Gradela, 2022

- e. Na configuração mais simples posicionar o anel com tela de aço inox para auxiliar na difusão do vapor em toda área de contato da primeira camada sobre o corpo central (figura 29).



Figura 29 – Tela de aço inox SMTEX
Fonte: Yuri Fazion Gradela, 2022

- f. Posicionar a Sonda 1 simulando o espaço entre a pele do corpo humano e a camada de tecido vestido (figura 30).



Figura 30 – Posição Sonda 1 SMTEX
Fonte: Yuri Fazion Gradela, 2022

- g. Posicionar a amostra de tecido cortada conforme bolacha padrão de gramatura, sobre o anel com a primeira sonda (figura 31).



Figura 31 – Posição da amostra SMTEX
 Fonte: Yuri Fazion Gradela, 2022

- h. Posicionar a Sonda 2 sobre a amostra de tecido para obtenção dos dados diretamente a superfície exterior ao vestuário (figura 32).



Figura 32 – Posição Sonda 2 SMTEX
 Fonte: Yuri Fazion Gradela, 2022

- i. Verificar que de forma muito rápida os indicadores do Módulo 2 já indicam maior temperatura e umidade no interior junto a Sonda 1 em comparação a Sonda 2 no exterior (figura 33).



Figura 33 - Variação entre Sonda 1 e 2 SMTEX
 Fonte: Yuri Fazion Gradela, 2022

3.6 Ensaios realizados com o SMTEX

Foram realizados os seguintes ensaios físicos: capacidade de isolamento, tempo para atingir a estabilidade térmica, perda de volume de água, permeabilidade ao vapor d'água e energia dissipada.

3.7 Análise dos resultados

A análise da capacidade de isolamento foi realizada através do software estatístico Minitab utilizando um intervalo de confiança de 95% ($p=0,05$). Para verificar a significância dos efeitos estudados foram analisados o gráfico normal de efeitos, o diagrama de Pareto e o gráfico de efeitos principais.

Gráfico normal de efeitos: é usado para determinar a magnitude, direção e importância dos efeitos estudados. O gráfico mostra os efeitos padronizados em relação a uma linha de ajustes de distribuição onde todos os efeitos recebem valores iguais a zero (não são significantes). Os efeitos que estão à direita da linha são efeitos positivos, ou seja, aumentam a resposta quando mudam do nível baixo para o nível alto. Os efeitos que estão à esquerda da linha são negativos, ou seja, diminuem a resposta quando mudam do nível baixo para o nível alto. Portanto, quanto mais afastado estiver o ponto da linha de referência mais significativo será o efeito.

Diagrama de Pareto: o gráfico foi usado para a magnitude e importância dos efeitos estudados. As barras que cruzam a linha de referência (linha vertical tracejada) são estatisticamente significantes ao nível 0,05.

Gráfico dos efeitos principais: representa graficamente a resposta média para cada nível de fator ligado por uma linha. Com essa ferramenta é possível verificar se

existem diferenças entre as médias de nível para um ou mais fatores, ou seja, há um efeito principal quando diferentes níveis de um fator afetam a resposta de maneira diferente. Quando a linha traçada for horizontal (paralela ao eixo x), não há nenhum efeito principal. Cada nível do fator afeta a resposta do mesmo modo, e a resposta média é a mesma em todos os níveis de fator. Quando a linha não for horizontal, existe um efeito principal. Diferentes níveis de fator de afetam a resposta de maneira diferente. Quanto maior a inclinação da linha, maior é a magnitude do efeito principal.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Capacidade de isolamento

Após a estabilização do equipamento SMTEX foram verificados os valores internos e externos de temperatura e de umidade relativa, e calculadas as variações de temperatura (Δt) e de umidade relativa ($\Delta UR\%$) usando as equações 1 e 2. O tempo para a estabilização do SMTEX foi de 30 minutos.

Eq.1 $\Delta t = T1 - T2$ (T1: temperatura interna e T2: temperatura externa)

Eq. 2 $\Delta UR\% = ur\%1 - ur\%2$ (ur%1: umidade relativa interna e ur%2: umidade relativa externa) A tabela 10 mostra os valores experimentais obtidos.

Tabela 10 – Diferença de patamar estável

Identificação	Matérias-primas	Tecnologia	Ponto	ΔT	$\Delta UR\%$
1a	Algodão	Anel	Aberto	3,2	15,3
1b	Algodão	Anel	Fechado	3,5	16,0
1c	Algodão	Open-end	Aberto	3,0	15,1
1d	Algodão	Open-end	Fechado	3,3	15,9
2a	Poliamida	Standard	Aberto	2,9	15,2
2b	Poliamida	Standard	Fechado	3,0	15,4
2c	Poliamida	Microfibra	Aberto	2,5	13,7
2d	Poliamida	Microfibra	Fechado	2,8	13,9
3a	Poliéster	Standard	Aberto	2,9	15,7
3b	Poliéster	Standard	Fechado	3,1	15,9
3c	Poliéster	Microfibra	Aberto	2,2	13,2
3d	Poliéster	Microfibra	Fechado	2,6	13,8
4a	Viscose	Anel	Aberto	3,2	15,1
4b	Viscose	Anel	Fechado	3,3	15,5
4c	Viscose	Jato de ar	Aberto	3,5	15,5
4d	Viscose	Jato de ar	Fechado	3,3	15,6

Fonte: Yuri Fazon Gradela, 2022

A tabela 10, mostra pequena variação de valores de umidade relativa observados entre as amostras de malha produzidas com as fibras algodão e de viscose, fios de anéis, open-end e jato de ar e valores maiores quando são comparadas as malhas produzidas com fibras de poliamida e de poliéster, fios standard e microfibras. Mostrando que a capilaridade das microfibras influencia no transporte de umidade da camada de inferior para o exterior.

Assim, foram realizados dois estudos estatísticos: o primeiro somente com as fibras celulósicas (algodão e viscose) e o segundo com as fibras sintéticas (poliamida e poliéster). A tabela 11 mostra um resumo do planejamento fatorial realizado.

Tabela 11 - Planejamento fatorial Minitab

Full Factorial Design			
Factors:	3	Base Design:	3, 8
Runs:	8	Replicates:	1
Blocks:	1	Center pts (total):	0

Fonte: Yuri Fazion Gradela, 2022

4.1.1 Fibras celulósicas, variação da Umidade

As figuras 34, 35 e 36 apresentam o gráfico normal de efeitos, o diagrama de Pareto e o gráfico de efeitos principais, extraídos do minitab, para a característica de variação de umidade relativa das fibras de algodão e viscose.

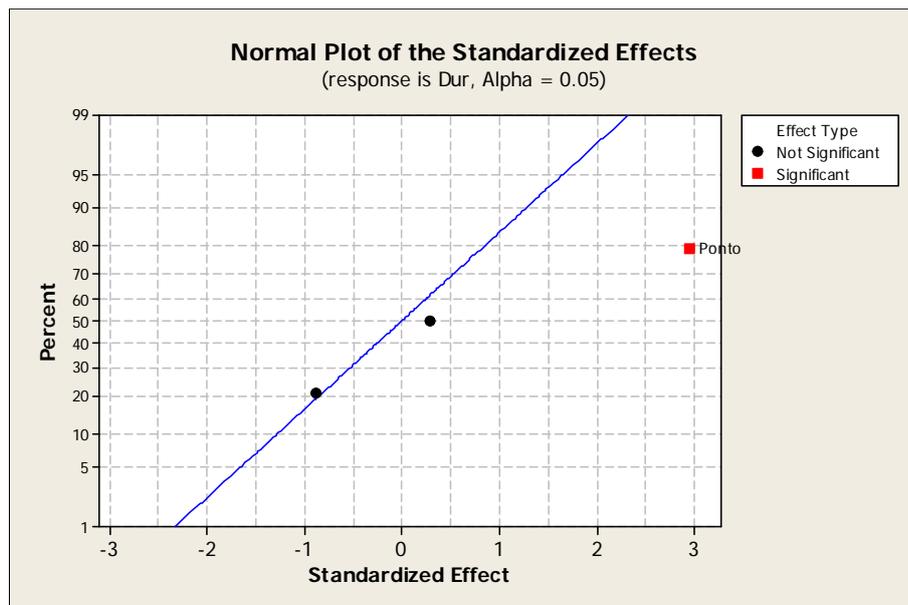


Figura 34 -- Diagrama Normal para fibras celulósicas e $\Delta UR\%$
Fonte: Yuri Fazion Gradela, 2022

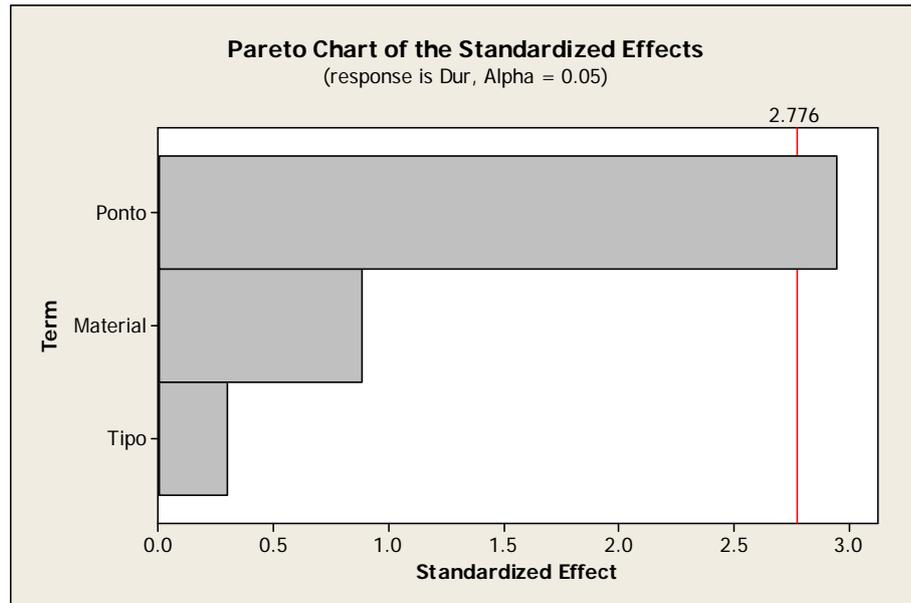


Figura 35 - Diagrama de Pareto para fibras celulósicas e $\Delta UR\%$
Fonte: Yuri Fazion Gradela, 2022

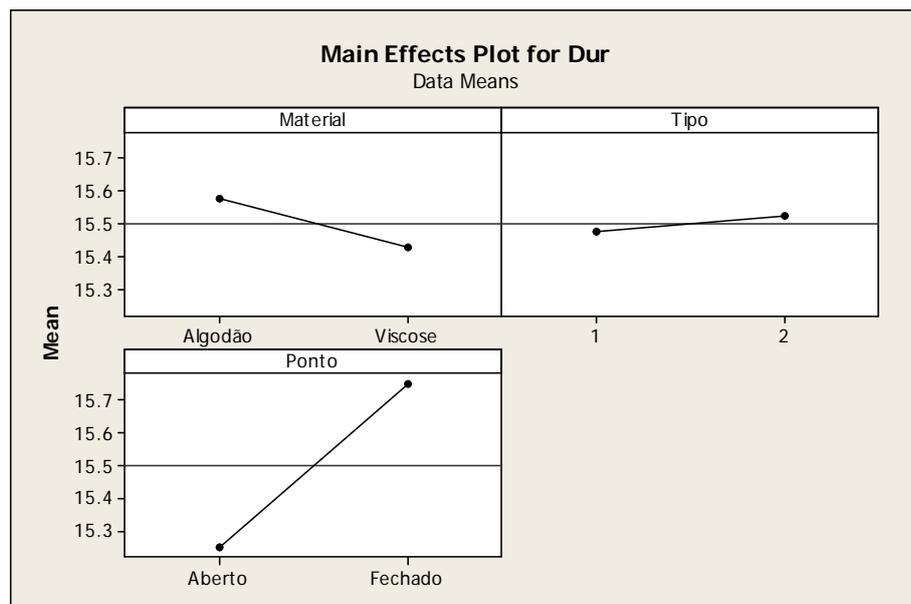


Figura 36 - Diagrama de efeitos para fibras celulósicas e $\Delta UR\%$
Fonte: Yuri Fazion Gradela, 2022

4.1.2 Fibras celulósicas, variação da Temperatura

O gráfico normal, o diagrama de Pareto e o gráfico dos efeitos principais mostram que o efeito “regulagem do ponto” é significativo e os efeitos material e tipo de tecnologia não possuem significância estatística, ou seja, ao passar do nível baixo para o nível alto a capacidade de isolamento não será alterada. De acordo com o

gráfico normal e com o gráfico de efeitos principais a “regulagem do ponto” provoca um efeito positivo, ou seja, a capacidade de isolamento térmico é maior quando os tecidos de malha são produzidos com pontos mais fechados.

As figuras 37 e 38 apresentam o diagrama de Pareto e o gráfico de efeitos principais, extraídos do minitab, para a característica de variação de temperatura das fibras de algodão e viscose.

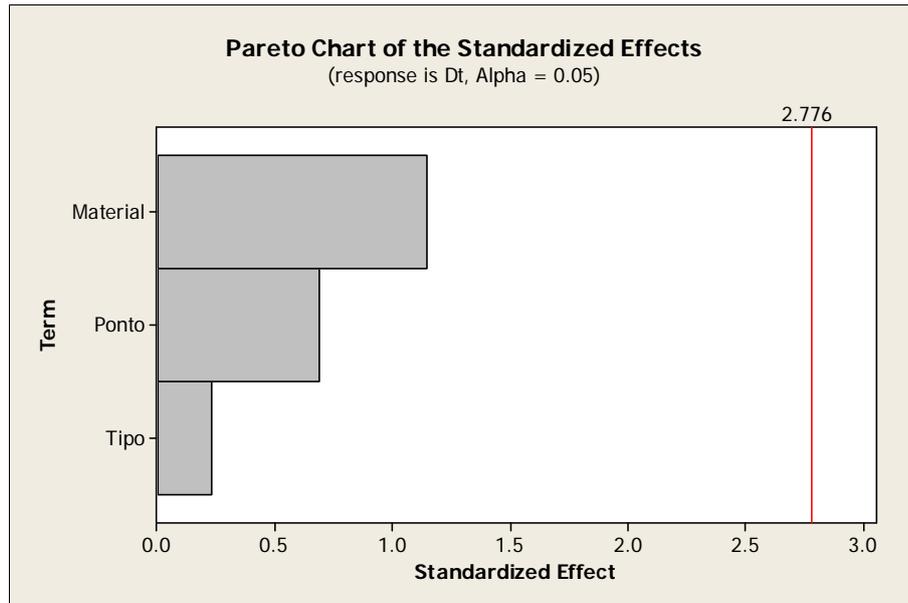


Figura 37 - Diagrama de Pareto para fibras celulósicas e ΔT .
Fonte: Yuri Fazion Gradela, 2022

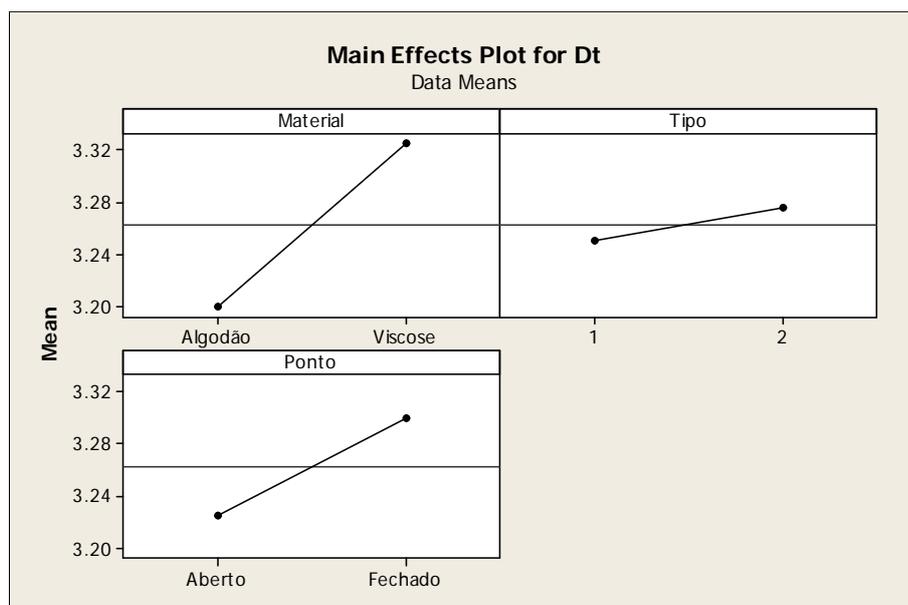


Figura 38 - Diagrama de efeitos para fibras celulósicas e ΔT .
Fonte: Yuri Fazion Gradela, 2022

4.1.3 Fibras sintéticas, variação da Umidade

O diagrama de Pareto e o gráfico dos efeitos principais mostram que os efeitos estudados não são significativos, ou seja, ao passar do nível baixo para o nível alto a capacidade de isolamento não será alterada.

Desta forma pode-se afirmar que a variação da umidade relativa irá influenciar a capacidade de isolamento e a variação de temperatura não influenciará na capacidade de isolamento das malhas fabricadas com algodão e viscose. Os ensaios mostraram que o tipo de regulagem de ponto altera significativamente a capacidade de isolamento, pois diminui a porosidade da malha e aumenta a sua gramatura.

As figuras 39, 40 e 41 apresentam o gráfico normal de efeitos, o diagrama de Pareto e o gráfico de efeitos principais, extraídos do minitab, para a característica de variação de umidade relativa das fibras de poliamida e de poliéster.

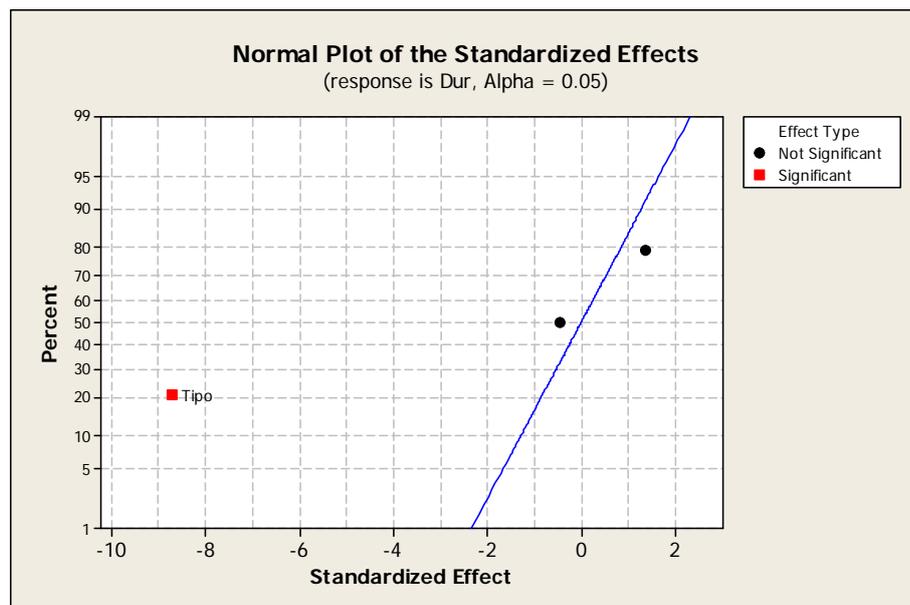


Figura 39 - Diagrama Normal para fibras sintéticas e $\Delta UR\%$
Fonte: Yuri Fazion Gradela, 2022

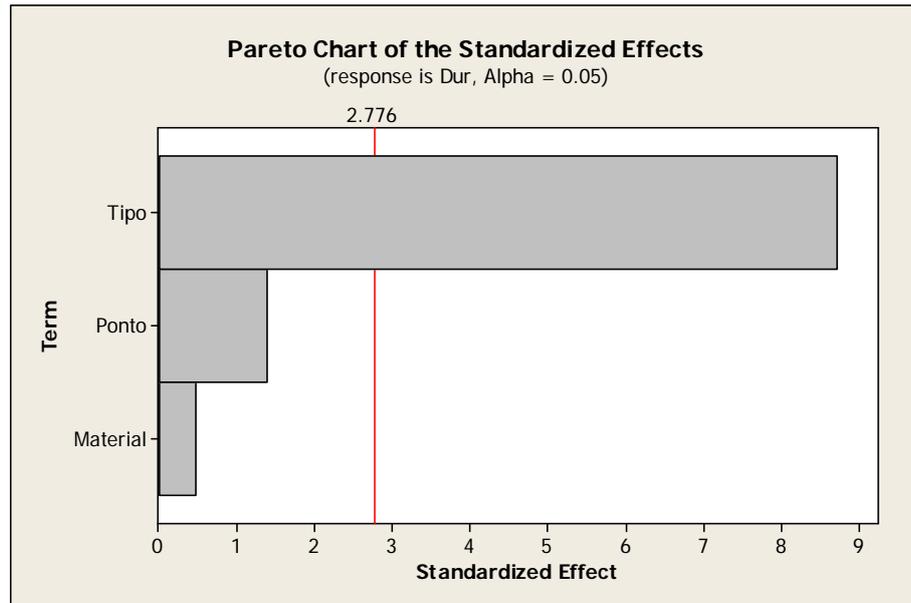


Figura 40 - Diagrama de Pareto para fibras sintéticas e $\Delta UR\%$
Fonte: Yuri Fazion Gradela, 2022

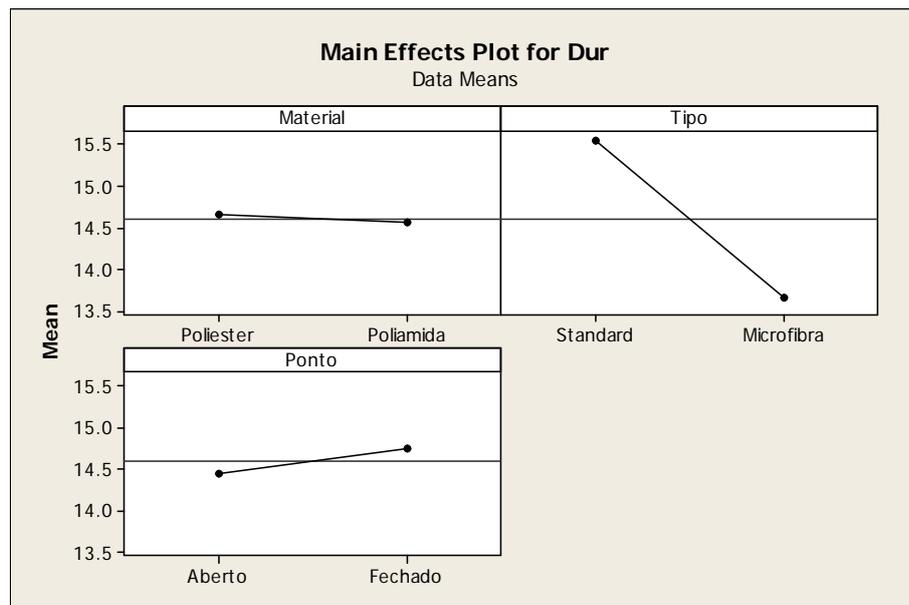


Figura 41 - Diagrama de efeitos para fibras sintéticas e $\Delta UR\%$
Fonte: Yuri Fazion Gradela, 2022

4.1.4 Fibras sintéticas, variação da Temperatura

O gráfico normal, o diagrama de Pareto e o gráfico dos efeitos principais mostram que o efeito “tipo de tecnologia” é significativo e os efeitos material e regulagem de ponto não possuem significância estatística, ou seja, ao passar do nível baixo para o nível alto a capacidade de isolamento não será alterada. De acordo com

o gráfico normal e com o gráfico de efeitos principais a “tipo de tecnologia” provoca um efeito negativo, ou seja, a capacidade de isolamento térmico é aumenta nos tecidos de malha que são produzidas em microfibras.

As figuras 42, 43 e 44 apresentam o gráfico normal de efeitos, o diagrama de Pareto e o gráfico de efeitos principais, extraídos do minitab, para a característica de variação de temperatura das fibras de poliamida e de poliéster.

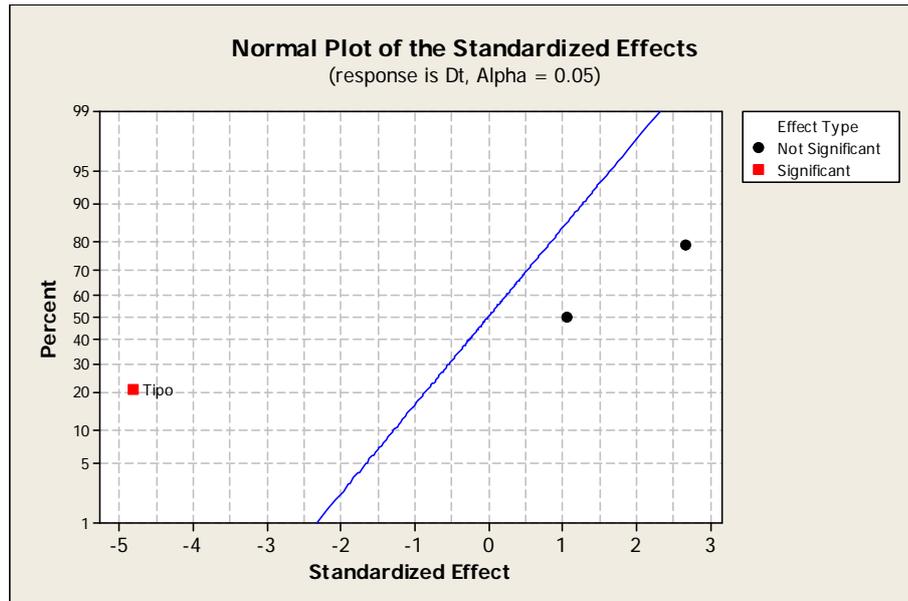


Figura 42 - Diagrama Normal para fibras sintéticas e ΔT
Fonte: Yuri Fazion Gradela, 2022

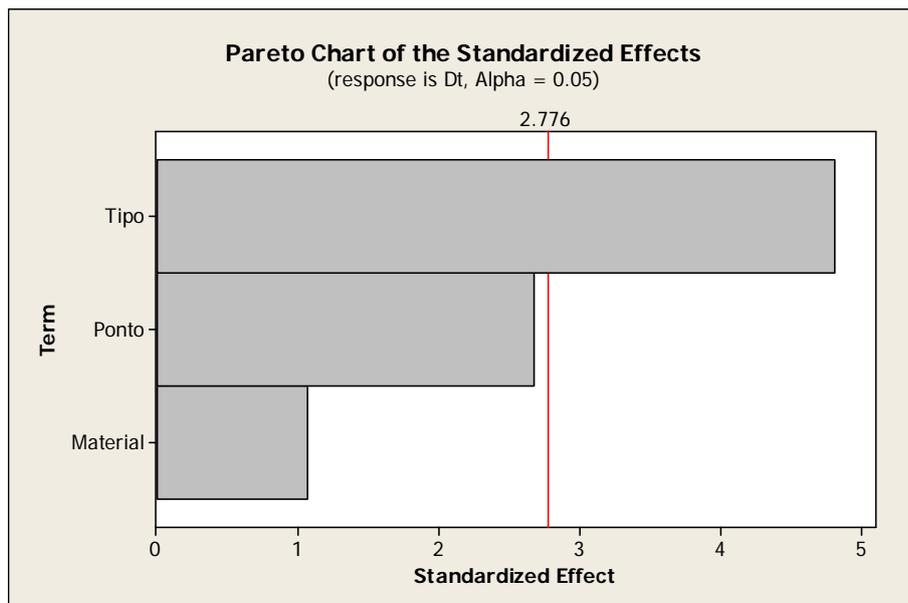


Figura 43 - Diagrama de Pareto para fibras sintéticas e ΔT .
Fonte: Yuri Fazion Gradela, 2022

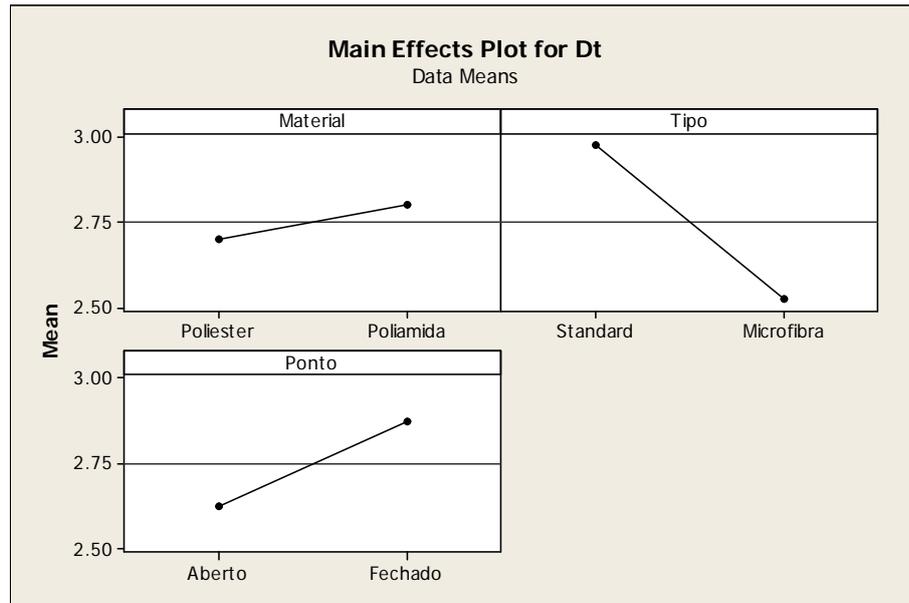


Figura 44 - Diagrama de efeitos para fibras sintéticas e ΔT
 Fonte: Yuri Fazion Gradela, 2022

4.1.5 Visão geral dos resultados

O gráfico normal, o diagrama de Pareto e o gráfico dos efeitos principais mostram que dos efeitos estudados somente o “tipo de tecnologia” é significativo, ou seja, ao passar do nível baixo para o nível alto a capacidade de isolamento será alterada. De acordo com os gráficos normal e com os gráficos de efeitos principais a “tipo de tecnologia” provoca um efeito negativo, ou seja, a capacidade de isolamento térmico é aumenta nos tecidos de malha produzidas em microfibras.

As amostras em sua totalidade indicadas nas figuras 45 e 46, permitem melhor observar a influência das fibras sintéticas e o tipo microfibra. O menor valor indica maior facilidade de transporte, em linguagem comum “uma roupa mais fresca”.

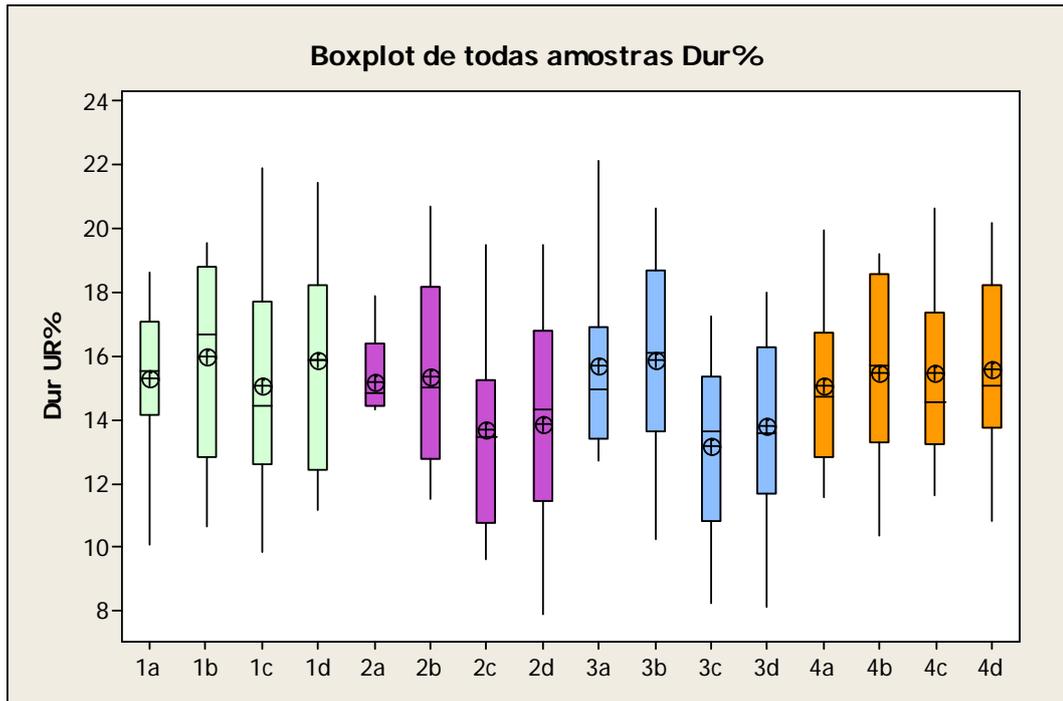


Figura 45 - Comparação entre todas as amostras – $\Delta UR\%$
 Fonte: Yuri Fazion Gradela, 2022

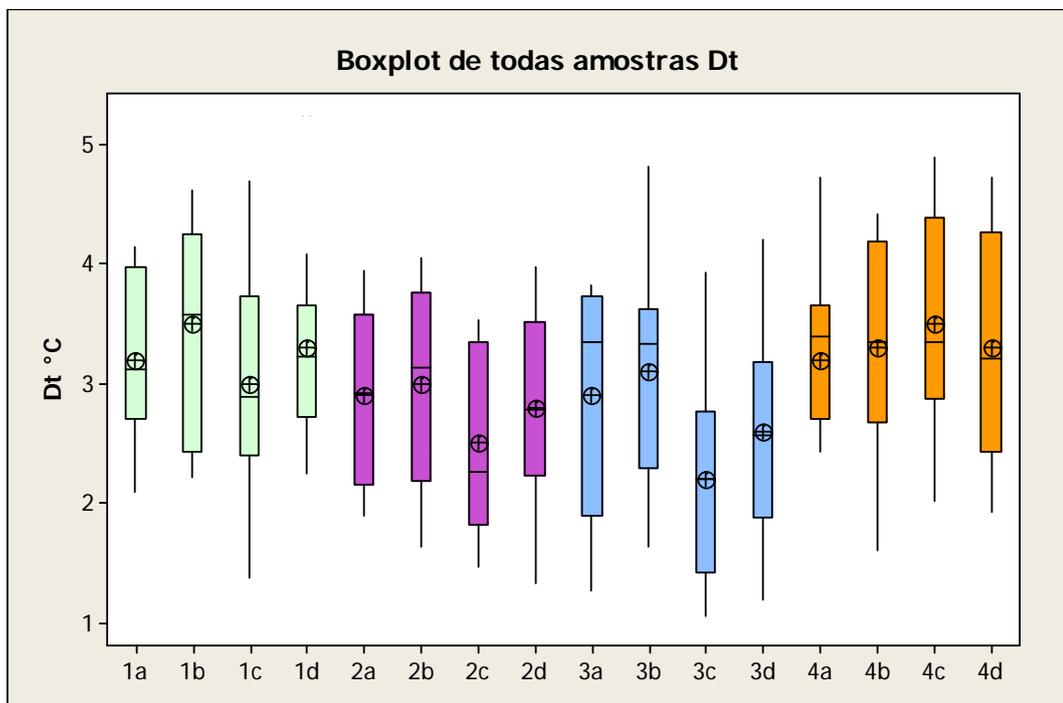


Figura 46 – Comparação entre todas as amostras - ΔT
 Fonte: Yuri Fazion Gradela, 2022

Desta forma pode-se afirmar que tanto a variação da umidade relativa quanto a variação de temperatura irão influenciar a capacidade de isolamento das malhas

fabricadas com poliamida e poliéster. Os ensaios mostraram que o tipo de tecnologia altera significativamente a capacidade de isolamento.

4.2 Tempo para atingir a estabilidade térmica

Utilizando o equipamento SMTEX e o gerador de gráficos do FieldChart, foi realizado o teste de tempo para atingir a estabilidade térmica da amostra.

A contagem se inicia com a temperatura do corpo já estabilizada em 36,6°C e umidade relativa igual ao ambiente.

Após o posicionamento da amostra, é observado quanto tempo é necessário para que a camada interna estabilize seu microclima e mantenha o mesmo valor para os minutos seguintes.

Tabela 12 – Tempo até a estabilização de patamar

Identificação	Matérias-primas	Tecnologia	Ponto	Minutos
1a	Algodão	Anel	Aberto	12:35
1b	Algodão	Anel	Fechado	11:10
1c	Algodão	Open-end	Aberto	11:30
1d	Algodão	Open-end	Fechado	10:40
2a	Poliamida	Standard	Aberto	6:20
2b	Poliamida	Standard	Fechado	7:35
2c	Poliamida	Microfibra	Aberto	5:05
2d	Poliamida	Microfibra	Fechado	6:25
3a	Poliéster	Standard	Aberto	7:45
3b	Poliéster	Standard	Fechado	8:10
3c	Poliéster	Microfibra	Aberto	5:00
3d	Poliéster	Microfibra	Fechado	6:35
4a	Viscose	Anel	Aberto	7:15
4b	Viscose	Anel	Fechado	7:50
4c	Viscose	Jato de ar	Aberto	7:40
4d	Viscose	Jato de ar	Fechado	8:20

Fonte: Yuri Fazion Gradela, 2022

4.3 Perda de volume de água

Utilizando o equipamento SMTEX é possível medir a redução do volume interno de água ao longo do tempo.

Com o recipiente interno iniciado em 400,0 ml é possível acompanhar a evaporação da água a 36,6°C em função do transporte, convecção e outros fatores.

Este ensaio foi realizado com tempo fixo de 60 minutos, contados a partir do posicionamento da amostra no corpo já pré-aquecido.

Tabela 13 – Redução do volume de água

Identificação	Matérias-primas	Tecnologia	Ponto	ml
1a	Algodão	Anel	Aberto	5,3
1b	Algodão	Anel	Fechado	5,0
1c	Algodão	Open-end	Aberto	5,4
1d	Algodão	Open-end	Fechado	5,2
2a	Poliamida	Standard	Aberto	6,8
2b	Poliamida	Standard	Fechado	6,2
2c	Poliamida	Microfibra	Aberto	7,0
2d	Poliamida	Microfibra	Fechado	6,9
3a	Poliéster	Standard	Aberto	5,5
3b	Poliéster	Standard	Fechado	5,2
3c	Poliéster	Microfibra	Aberto	6,9
3d	Poliéster	Microfibra	Fechado	6,5
4a	Viscose	Anel	Aberto	7,0
4b	Viscose	Anel	Fechado	7,1
4c	Viscose	Jato de ar	Aberto	7,1
4d	Viscose	Jato de ar	Fechado	7,2

Fonte: Yuri Fazion Gradela, 2022

Após a realização de réplicas e observação direta ao ensaio, foi possível identificar que dois fatores implicam em desvios nos resultados:

- As fibras celulósicas tendem a absorver parte da água não realizando o transporte de umidade e sim retendo parte da água.
- Da mesma forma as amostras de algodão e viscose com maior gramatura absorveram mais água.
- O sensor de nível de água não mede a água atravessada e sim o diferencial de volume antes e depois do teste, recebendo um falso resultado de comportamento no caso de encharcamento da amostra.

4.4 Permeabilidade ao vapor d'água

Norma referência: ASTM E96/E96M10 - *Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials*

Utilizando os dados obtidos no equipamento SMTEX e a equação 3 pode-se calcular a permeabilidade dos materiais.

Eq. 3

$$\frac{\text{massa}}{\text{tempo} \times \text{área} \times \Delta \text{pressão de vapor}} = \text{Permeabilidade}$$

Foram adotados no ensaio: temperatura externa de 25°C, umidade relativa externa de 65%, tempo de 60 minutos e temperatura interna do corpo 36,6°C.

Para o diferencial de pressão de vapor foi adotado:

36,6°C = 6,1462 kPa abs. e

25°C = 3,1697 kPa abs.

Resultando em 2,9765 kPa abs.

O valor da permeabilidade indicado na tabela 13 possui a unidade dimensional de $l/h/m^2$ na condição de diferencial de pressão adotado.

Tabela 14 – Permeabilidade ao vapor

Identificação	Matérias-primas	Tecnologia	Ponto	Permeabilidade
1a	Algodão	Anel	Aberto	0,0356
1b	Algodão	Anel	Fechado	0,0336
1c	Algodão	Open-end	Aberto	0,0363
1d	Algodão	Open-end	Fechado	0,0349
2a	Poliamida	Standard	Aberto	0,0457
2b	Poliamida	Standard	Fechado	0,0417
2c	Poliamida	Microfibra	Aberto	0,0470
2d	Poliamida	Microfibra	Fechado	0,0464
3a	Poliéster	Standard	Aberto	0,0370
3b	Poliéster	Standard	Fechado	0,0349
3c	Poliéster	Microfibra	Aberto	0,0464
3d	Poliéster	Microfibra	Fechado	0,0437
4a	Viscose	Anel	Aberto	0,0470
4b	Viscose	Anel	Fechado	0,0477
4c	Viscose	Jato de ar	Aberto	0,0477
4d	Viscose	Jato de ar	Fechado	0,0484

Fonte: Yuri Fazion Gradela, 2022

Esta modalidade de cálculo utilizando a massa perdida do ensaio anterior, possui o mesmo desvio de transporte de umidade em relação à quantidade absorvida pela amostra.

Uma forma simples de corrigir esse erro de leitura, é a inclusão da etapa de cálculo de subtração da massa de água absorvida pela amostra, realizando a pesagem anterior da amostra seca e imediatamente após o termino do tempo fixado a pesagem úmida. Contabilizando somente a massa atravessada no material têxtil.

4.5 Energia dissipada

Consumo do equipamento para manter a temperatura semelhante ao corpo humano durante a realização dos ensaios.

Utilizando o equipamento SMTEX e um wattímetro digital é possível medir a corrente e consumo de energia ao longo do tempo.

Com o recipiente interno iniciado e estabilizado em 36,6°C foi fixado o tempo de 60 minutos para medição do consumo de energia.

Tabela 15 – Energia dissipada

Identificação	Matérias-primas	Tecnologia	Ponto	kWh
1a	Algodão	Anel	Aberto	0,125
1b	Algodão	Anel	Fechado	0,125
1c	Algodão	Open-end	Aberto	0,125
1d	Algodão	Open-end	Fechado	0,125
2a	Poliamida	Standard	Aberto	0,130
2b	Poliamida	Standard	Fechado	0,130
2c	Poliamida	Microfibra	Aberto	0,130
2d	Poliamida	Microfibra	Fechado	0,130
3a	Poliéster	Standard	Aberto	0,130
3b	Poliéster	Standard	Fechado	0,130
3c	Poliéster	Microfibra	Aberto	0,130
3d	Poliéster	Microfibra	Fechado	0,130
4a	Viscose	Anel	Aberto	0,125
4b	Viscose	Anel	Fechado	0,125
4c	Viscose	Jato de ar	Aberto	0,125
4d	Viscose	Jato de ar	Fechado	0,125

Fonte: Yuri Fazion Gradela, 2022

Os resultados demonstram pouca variação em relação ao consumo. Alguns pontos observados são:

- Existe maior perda de energia e necessidade de manutenção em todo o corpo metálico e aquecimento da água ao invés de compensar o isolamento térmico da amostra e área de pele estudada.
- A resolução do equipamento precisaria ser substituída para submúltiplos como watt ou miliWatts a fim de obter melhor leitura dos diferenciais.
- Mesmo que pequena a variação os valores referentes aos materiais sintéticos foram menores em relação aos celulósicos, indicando o maior consumo de energia para compensar a perda de calor.

4.6 Comparação entre os equipamentos

A tabela 16 indica as principais características entre os equipamentos disponíveis em laboratórios e centros de pesquisas. Atualmente grandes marcas e centros de pesquisa tem voltado a atenção para o desenvolvimento de métodos e dispositivos para obtenção de dados de performance inclusive de forma isolada.

Tabela 16 – Comparação entre os equipamentos existentes

Propriedade	SMTEX	Kaw	Shi	Ala	Per	Air	Cop	Man
1. Simulação de temperatura do corpo	x	x		x				x
2. Ajuste de temperatura	x	x		x	x			x
3. Medição de múltiplos fatores	x	x		x	x			x
4. Permeabilidade a vapor	x*		x		x	x	x	x*
5. Volume de água perdido	x		x		x		x	x
6. Automação para coleta de dados	x	x				x		x
7. Temperatura entre camadas	x	x		x**				x
8. Umidade relativa%	x				x			x
9. Simulação de vento e corrente de ar	x		x		x			x
10. Simulação de frio	x	x						x
11. Resultados tabelados		x		x		x		
12. Amostras de espessura sup. a 10mm	x***	x		x***		x	x***	x
13. Simulação de suor	x							x
14. Porosidade						x		
15. Isolamento e condutibilidade térmica	x*			x*				x*

Fonte: Yuri Fazion Gradela, 2022

* com auxílio de cálculo adicional e ajustes específicos.

** apenas camada superior e inferior.

*** observar o desvio de valores por vazamento nas bordas da amostra.

Desde o início do seu desenvolvimento o SMTEX teve como objetivo unir diversas tecnologias e configurações, principalmente relacionadas aos manequins térmicos e utilização simples em bancada de laboratório.

As opções de configuração e sequencias de ensaios possíveis são diversas e permitem que seja explorado de forma analítica e com alta confiabilidade em ensaios replicados.

Os equipamentos deste estudo podem ser divididos em grupos, sendo:

Equipamentos que utilizam corrente de ar;

Sistema de aquecimento e

Capazes de trabalhar com fluidos.

Esta divisão de capacidades também impacta sua versatilidade de funcionamento em diferentes cenários simulados.

5 CONCLUSÃO

Através dos ensaios nas amostras de diferentes materiais foi possível observar a interação direta da composição, ajuste do ponto e tipo de filamento. Nos estudos envolvendo permeabilidade de ar, vapor e transporte de umidade é observada grande influência da porosidade da amostra, característica que tem capacidade para até sobrepor algumas propriedades esperadas nos materiais em estudo.

Durante o ensaio em materiais celulósicos foi observada interferência da absorção da água pela amostra, este ruído deve ser mitigado com a eliminação da variável absorção via cálculo de peso seco e peso úmido durante o processo de preparação e finalização. Outro ponto observado é a alteração na porosidade das fibras celulósicas com o entumescimento da fibra após absorver água, reduzindo a sua porosidade.

Para as fibras sintéticas é observado grande influência do tipo de filamento, sendo a microfibras um grande facilitador do transporte de umidade e o material plástico um material menos isolante térmico. Este estudo confirma o melhor transporte de umidade das fibras sintéticas, em destaque para as microfibras.

Em comparação com os equipamentos existentes no mercado pode-se concluir que o SMTEX tem as principais funcionalidades necessárias para comparação de tipos de materiais e suas características para uso no vestuário, podendo também seu uso de forma isolada em outras configurações e receber dispositivos externos para novas avaliações e medições específicas.

Como sugestão para trabalhos futuros é observado a necessidade de um maior detalhamento e expressividade de resultados em diferentes materiais que necessitarão de amostras produzidas em maiores gramaturas e espessuras, além da extrapolação do ambiente, aumentando a diferença entre a temperatura e umidade interna e externa dos ambientes. Também é recomendada a realização de testes em tecidos planos, com alteração de ligamentos uma vês que estes materiais são utilizados em vestimentas de proteção.

REFERÊNCIAS

ABIT – Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção. Monitor Abit: Conjuntura da Indústria Têxtil e de Confecção Brasileira, 2015. Disponível em:
<<http://www.abit.org.br/adm/Arquivo/Servico/054404.pdf>. Acesso em: Mar 2016.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT NBR 12744:1992, Fibras Têxteis – Classificação, São Paulo, 1992.

AGUIAR NETO, Pedro Pita. **Fibras têxteis**. Rio de Janeiro: SENAI/CETIQT, 1996. 2 v.

ALFIERI, Paulo. **Tecnologia das fibras têxteis I**. São Paulo: FEI, 2008. 146 p. Apostila.

ARAÚJO, Mário de; CASTRO, E. M. Mello e. **Manual de engenharia têxtil**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1986. 1 v.

BOGUSŁAWSKA-BĄCZEK, M.; HES, L.. **Analysis of Changes in the Thermal Comfort Properties of Nomex Fabrics Due to Salt Water Sorption**, 2013. Disponível em:
http://www.ft.tul.cz/mini/optis/download/Analysis_of_changes_in_the_thermal_comfort_properties_of_nomex_fabrics_due_to_salt_water_sorption-Monika_Boguslawska%E2%80%93Lubos_Hes.pdf. Acesso em: mai, 2020.

CITEVE – Tecnologia Têxtil. Ensaios com Manequins, 2012. Disponível em:
<https://www.youtube.com/watch?v=N3VRR6bZeeQ>. Acesso em: mai, 2016.

COLLIER, A. M. **A Handbook of Textiles**. 3. Ed. Oxford: Pergamon Press, 1980.

DEOPURA, B. L. (Ed) et al. **Polyamide Fibers**, em: _____. Polyesters and polyamides. Cambridge: RC, 2008.

ELSNER, P. et al. **Textiles and the Skin**, Suíça, S. Karger AG, 2003.

ENDRUSICK, T. L.; B.Sc. LEANDER A. STROSCHEIN, B.Sc. RICHARD R. GONZALEZ, Ph.D. **Thermal Manikin History**; U.S. Army Research Institute of Environmental Medicine Biophysics and Biomedical Modeling Division; Kansas, 1990.

FOURNÉ, Franz. **Synthetic Fibers** – Machines and equipments, manufacture, properties. Munich: Hanser, 1998.

GIBSON P. W. **Factors Influencing Steady-State Heat and Water Vapor Transfer Measurements for Clothing Materials** U.S. Army Natick Research, Development, and Engineering Center, Natick, Massachusetts, U.S.A, 1993.

HES, L. Friendly testing of comfort parameters of functional garments and clothing and its use in marketing, 2014. Disponível em: <https://www.slideserve.com/mihaly/professor-at-technical-university-of-liberec-czech-republic-d-sc>. Acesso em jun, 2019.

FAYALA, F.; HAMZA A.; SOFIEN B. and ABDELMAJID J. Neural Network for Predicting - Thermal Conductivity of Knit Materials, 2008. Disponível em:
file:///C:/Users/regina/AppData/Local/Temp/Neural_Network_for_Predicting_Thermal_Conductivity.pdf. Acesso em jul, 2019.

GUILLÉN, J. G. **Fibras Textiles**: Propiedades y descripción (curso básico). Terrassa: Universitat Politècnica de Catalunya, 1991.

IYER, C. et al., **Máquinas circulares: teoría y práctica de la tecnología del punto**. Meisenbach, Bamberg, 1997.

INGEO. Fibre Apparel Product Guidelines: Fiber to Fabric. Disponível em: http://ingeo.natureworkslc.com/~media/Technical_Resources/Fact_Sheets/Fibers/FactSheet_Apparel_FibertoFabric_pdf.pdf. Acesso em 20/11/2019.

INTERNATIONAL FIBER SCIENCE. **Cotton Fiber Chemistry and Technology**. London: CRC, 2007.

KONOPOV, I. **The Assessment and Evaluation of the Comfort and Protection of Advanced Textiles** ISS Institute RMIT University Fellowship, Australia, 2011.

LEWIN, M.; PEARCE, E. M. **Handbook of Fiber Chemistry**. 2. Ed. Menachen: Series, 1998

MARTIN, J. R. S., **Transpirando conforto: A gestão da funcionalidade e o conforto nos tecidos**, Revista Química têxtil, nº 100, Setembro, 2010.

MAZZA, C. ZONDA, P. **Knitting: Reference book of textile**. 2nd. Ed. Itália: Fondazione Acimit, 2002.

McINTYRE, D. A. **Indoor climate**. Applied Science Publishers Ltd., London, 1980.

MONTGOMERY, D. C.. **Introduction to statistical quality control**. 3rd. ed. New York: Wile. 1977.

MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**. 6 ed, John Wiley & Sons, 2005

MORTON, W. E.; HEARLE, J. W. S. **Physical Properties of Textile Fibres**. Fourth Edition (Woodhead Publishing Series in Textiles), CRC Press, 1997

NEVELL, T. P. AND ZERONIAN, S. H. HALSTED, W. **Cellulose chemistry and its applications**, New York, 1985.

OLNEY, Louis A.. **Tecnologia química de fibras têxteis**. 9. ed. Massachusetts: Editora, 1947.

PAULEV, P.E.; ZUBIETA-CALLEJA, G. **New Human Physiology. Chapter 21: Thermo-Regulation, Temperature and Radiation**, 2nd Edition, 2004. Disponível em: <http://www.zuniv.net/physiology/book/chapter21.html>. Acesso em: Abr 2016.

PARSONS, K. C.; KENNETH C.; **Human termal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, confort and performance**. Great Britain, 2003.

RAJ, R. P. **Moisture transmission in knited fabrics**, Dissertação – Department of Textil Technology, Bannari Amman Institute of Technology Sathyamangalam, Erode, Tamilnadu, India, 2001.

RODRIGUES, L. H. **Tecnologia de Tecelagem**. CETIQT; Rio de Janeiro. 1996.

SANCHES, R. A. **Utilização de fibras sustentáveis na fabricação de vestuário**. São Paulo, Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, 2011. Dissertação de Livre Docência.

SDL ATLAS – Equipamentos para laboratórios; disponível em <<http://www.sdlatlas.com>> Acesso em: Abr 2016.

SINTES, I. R., **Fibras Textiles Sintéticas**. 2. Ed. Barcelona: Bosch, 1953.

SLATER, K. **Human Comfort**. Springfield (Illinois): Charles C. Thomas, 1985.

VARTEST LABORATORIES, INC – Equipamentos para laboratórios; disponível em <<https://vartest.com/technologies/moisture-management>> Acesso em: Abr 2020.

WULFHORST, B. et al. **Textile technology**. Hanser Publishers. Munich, 2006.

GRADELA, Y F. **SMTEX Sistema de medição de calor e vapor em têxteis**. São Bernardo do Campo, Centro Universitário da FEI Pe. Sabóia de Medeiros, 2016. Trabalho de conclusão de curso de graduação em engenharia têxtil.

APÊNDICE A – MANUAL DE UTILIZAÇÃO SMTEX

YURI FAZION GRADELA

SMTEX – Sistema de Medição de Transporte de Calor e Vapor em Têxteis

MANUAL DE UTILIZAÇÃO

São Bernardo do Campo

2014

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	3
2. VISÃO GERAL DO EQUIPAMENTO.....	3
2.1 COMPONENTES.....	5
2.2 PROCEDIMENTO INICIAL.....	9
2.3 PROCEDIMENTO DE UTILIZAÇÃO PRINCIPAL.....	11
3. EXEMPLOS DE MONTAGENS PARA TESTES.....	14
3.1 CUIDADOS E MANUTENÇÃO.....	17

1. INTRODUÇÃO

Este manual tem como objetivo auxiliar o correto uso do equipamento SMTEX em testes laboratoriais de transporte de vapor e calor através de artigos têxteis em diversas camadas além de diferentes medições como isolamento térmico ao frio e perda de volume de água em relação ao tempo.

Também serão expostos os principais aspectos de controle e cuidados de operação com a instrumentação.

Características do equipamento

Descrição	Valor
Capacidade interna do corpo central	500,0 ml
Capacidade do reservatório externo	100,0 ml
Temperatura máxima do corpo central	90,0 °C
Faixa de medição de temperatura da sonda	0,0 a 99,0 °C
Faixa de medição de umidade da sonda	0,0 à 99,0 %UR
Velocidade máxima do vento	3,9 m/s
Velocidade mínima do vento	1,0 m/s
Vasão máxima da bomba	1,0 ml/s
Vasão mínima da bomba	0,3 ml/s

2. VISÃO GERAL DO EQUIPAMENTO

O equipamento é composto por uma placa base suporte (1), um suporte com 3 racks de indicadores dos sensores e controles (2), um corpo principal de aquecimento e geração de vapor simulando o corpo humano (3), um reservatório de 100 ml para reposição de líquidos e simulação de suor (4), suportes para armazenamento dos acessórios (5).

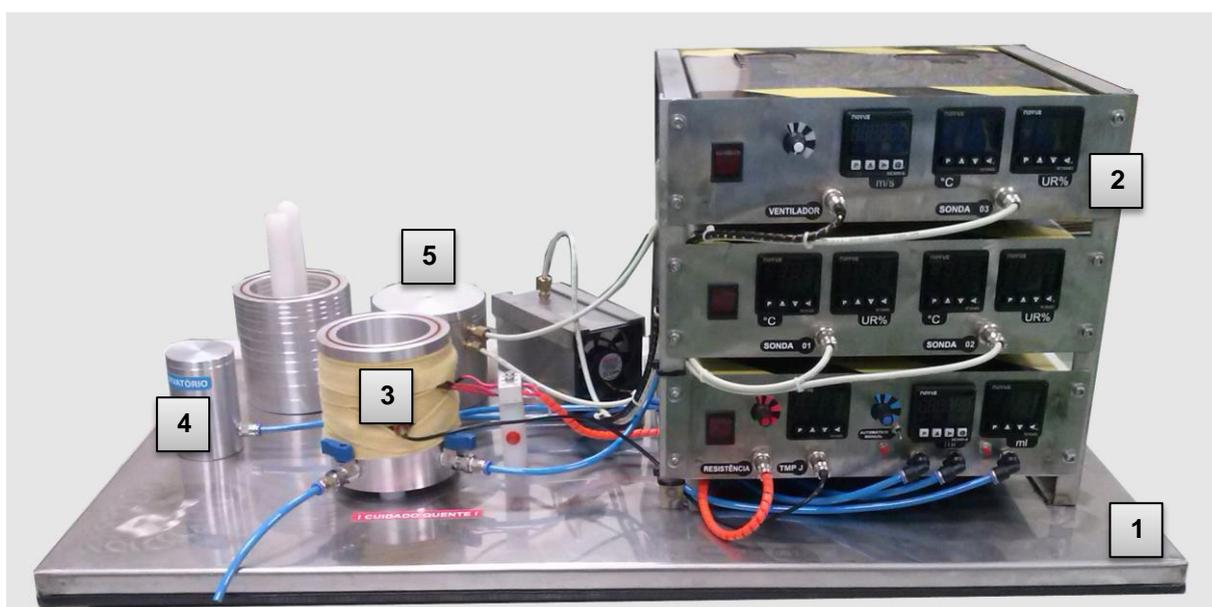


Figura 1 – Vista frontal SMTEX

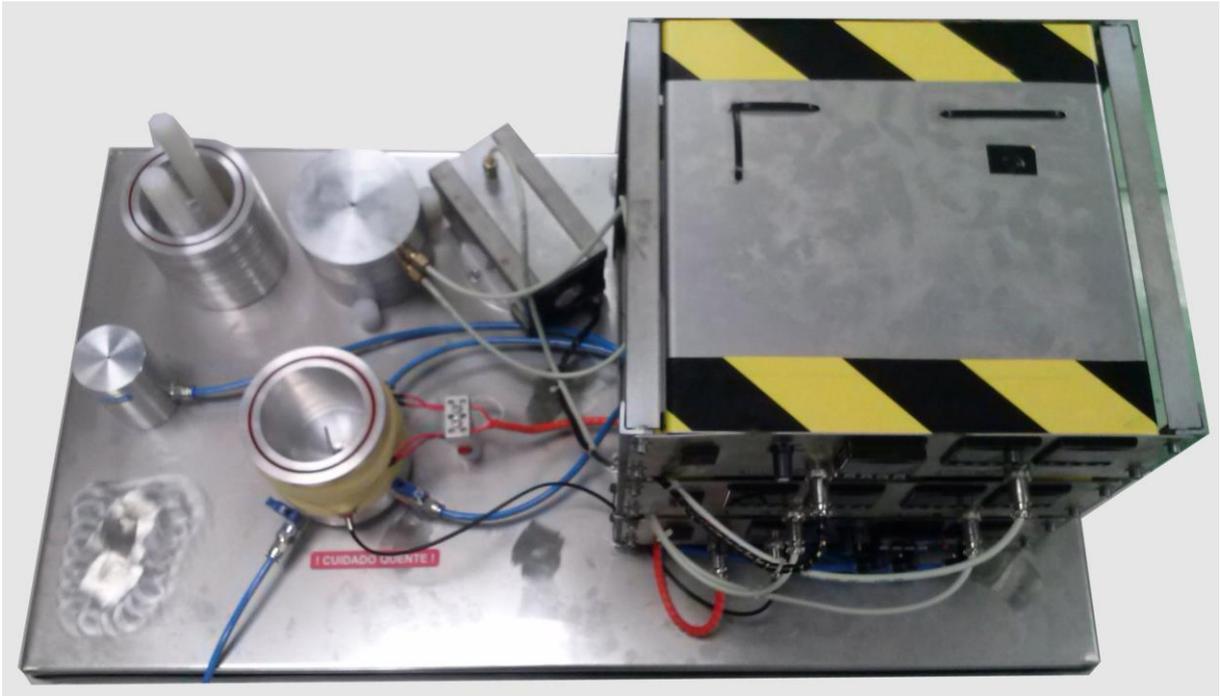


Figura 2 – Vista superior SMTEX

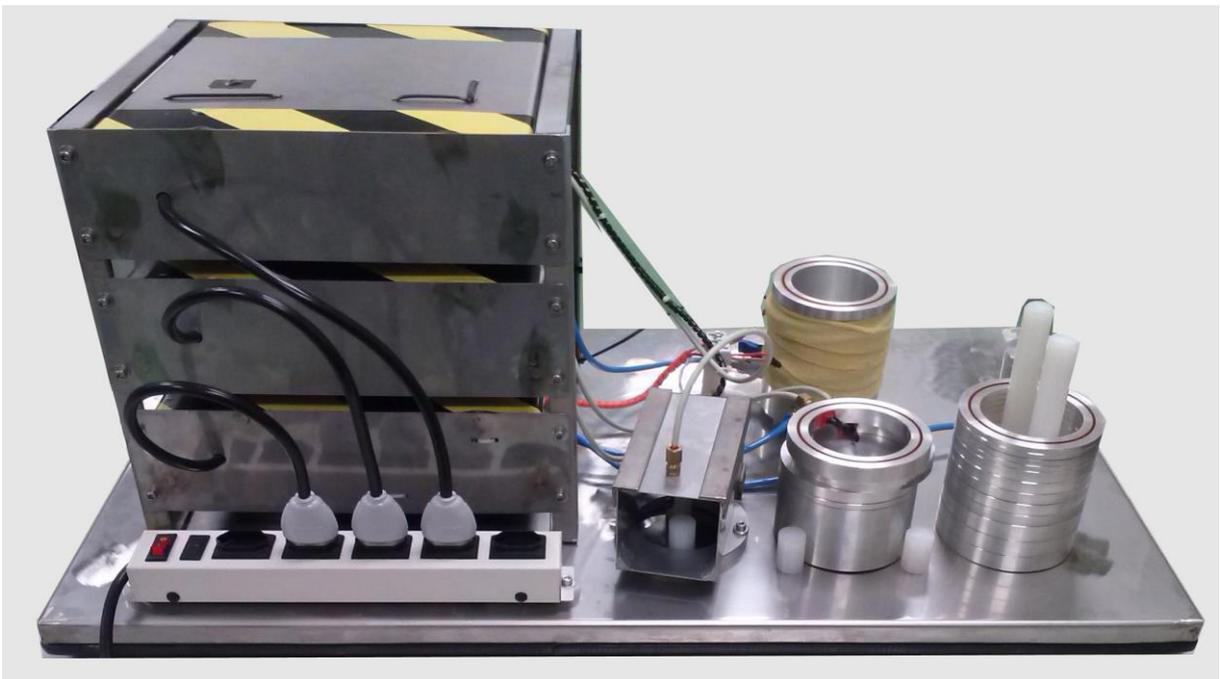


Figura 3 – Vista traseira SMTEX

2.1 COMPONENTES

Componentes do equipamento

Descrição	Quantidade
Corpo principal de aquecimento. Capacidade interna 500 ml	01
Reservatório de reposição de líquidos com tampa. Capacidade interna 100 ml	01
Espaçador para altura 5,0 mm	04
Espaçador para altura 10,0 mm	05
Espaçador para altura 15,0 mm	03
Espaçador com tela de aço inox 5,0 mm	01
Sonda de medição T °C + UR% 15, mm	02
Conjunto simulador de vento e medição T °C + UR% 10, mm	01
Conjunto de simulação de frio	01
Tampa	01
Rack 01 – Aquecimento Bomba de líquidos Medição de volume interno	01
Rack 02 – Sonda 01 T °C + UR% Sonda 02 T °C + UR%	01
Rack 03 – Sonda 03 T °C + UR% Velocidade do vento m/s	01

Os discos espaçadores, sondas e conjuntos acessórios possuem canais para encaixe que proporcionam vedação e alinhamento entre as partes.

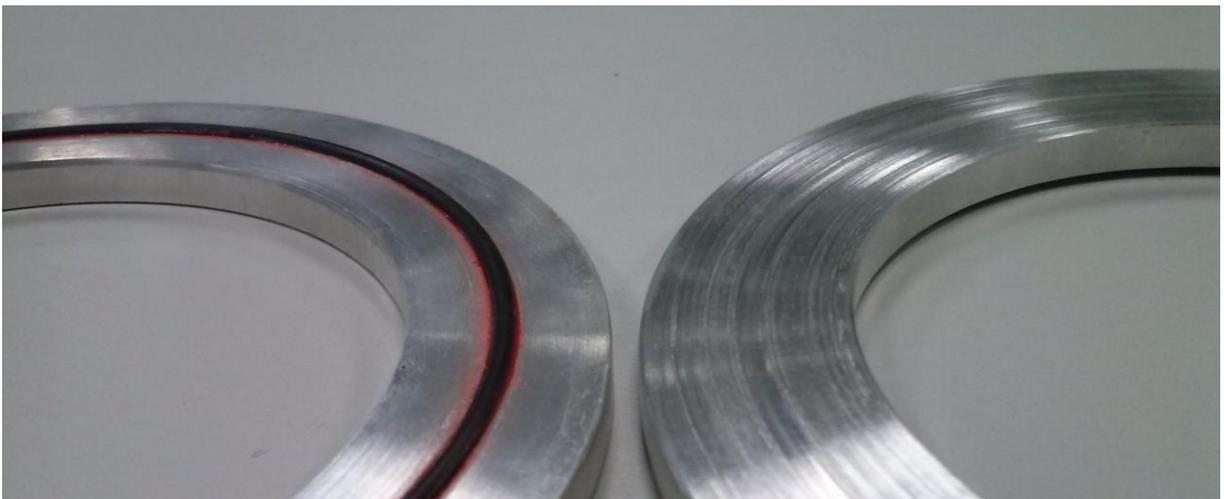


Figura 4 – Encaixes padrão



Figura 5 – Espaçadores 5,0 – 10,0 – 15,0 mm

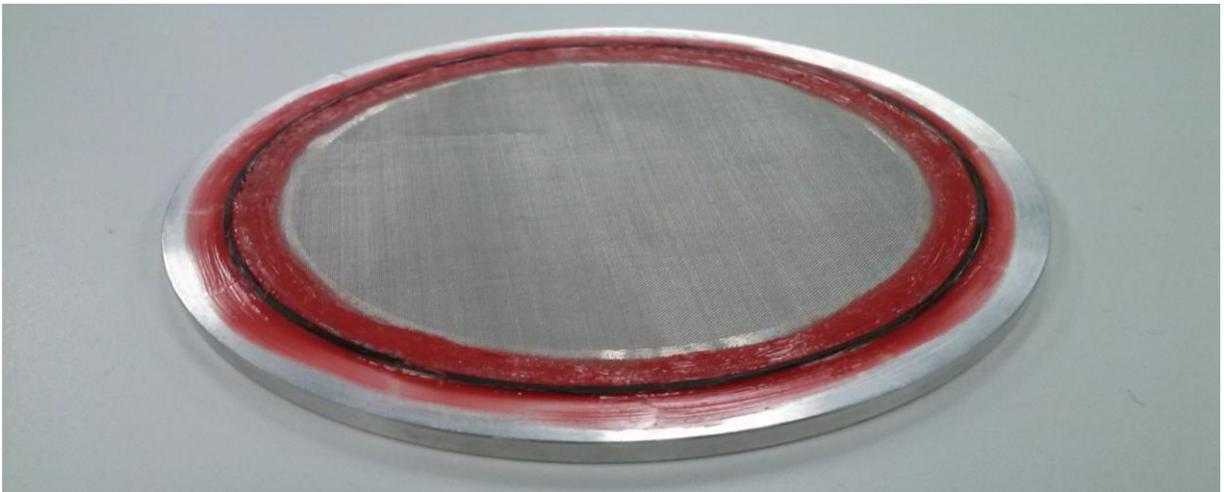


Figura 6 – Disco de tela de aço inox

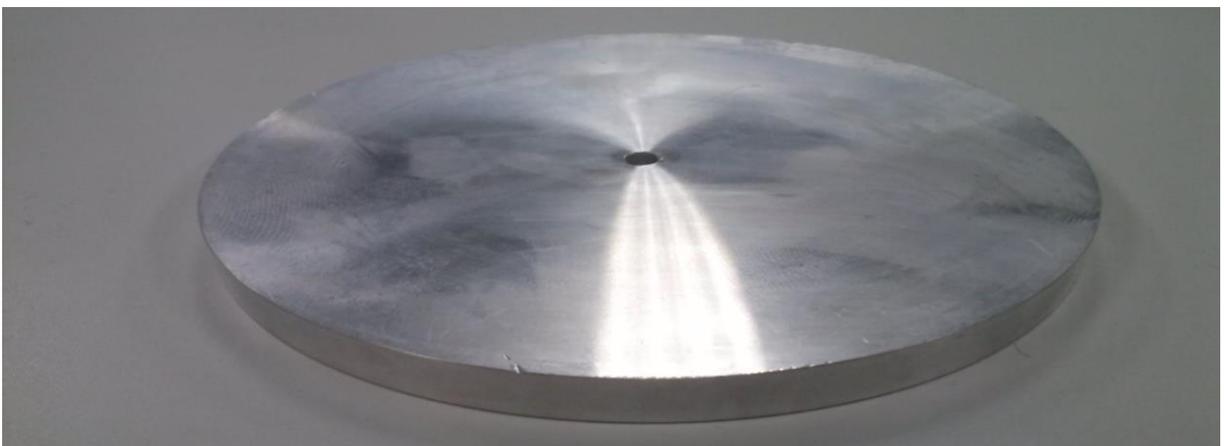


Figura 7 – Tampa



Figura 8 – Conjunto para frio

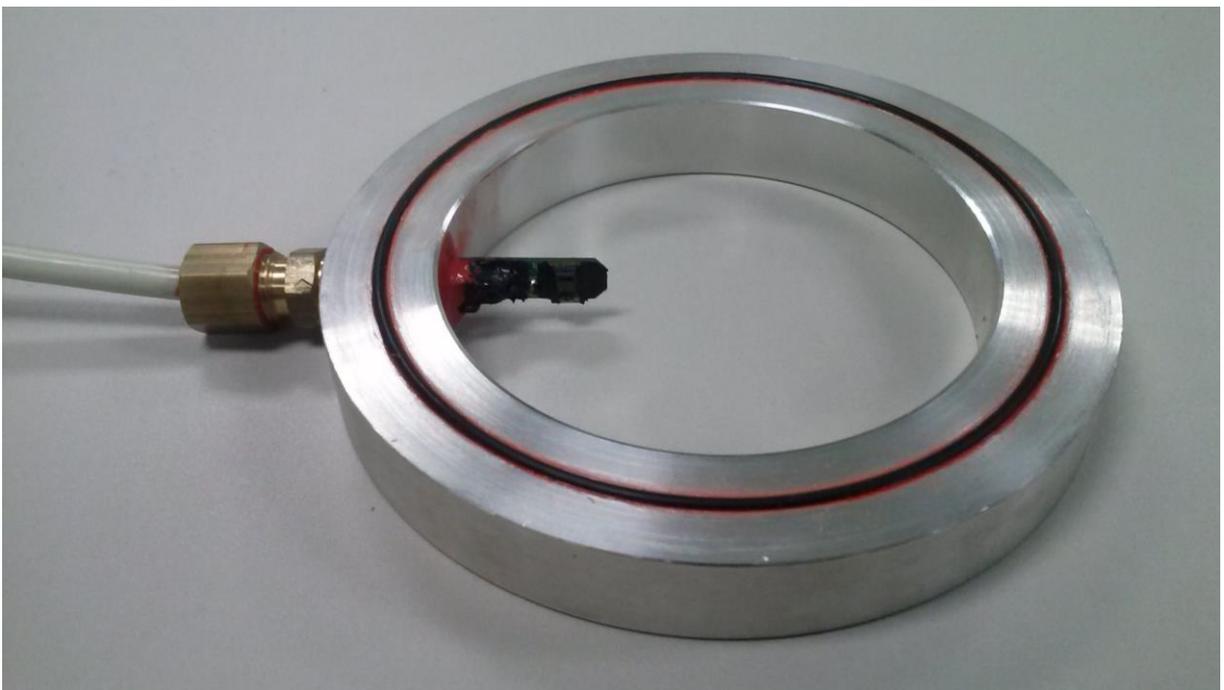


Figura 9 – Sonda de medição T °C + UR%

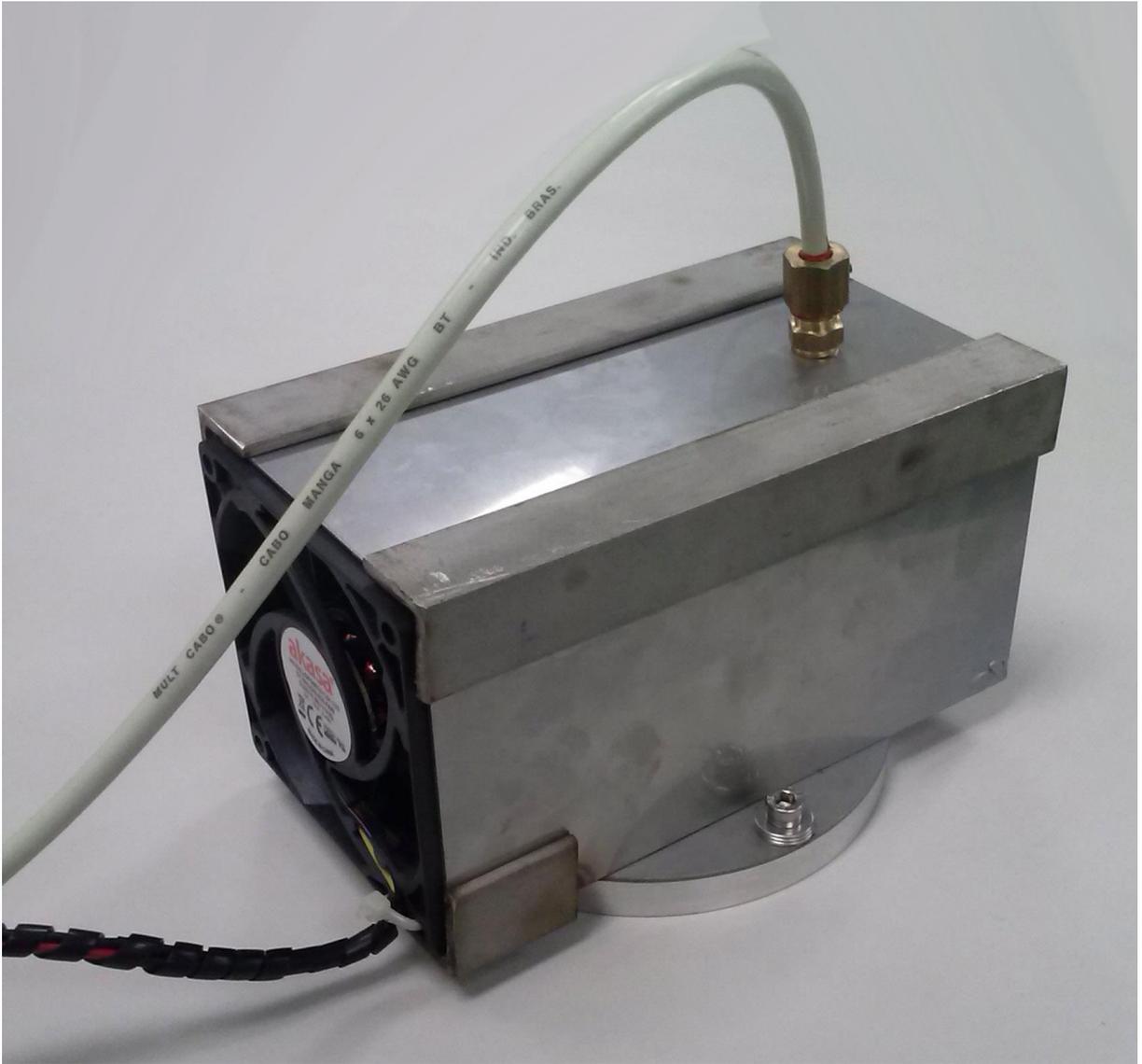


Figura 10 – Conjunto de vento e medição T °C + UR% ambiente

2.2 PROCEDIMENTO INICIAL

Para utilizar o equipamento é necessária a atenção aos seguintes pontos principais:

- Verifique se o equipamento esta ligado em uma tomada de 220v e se a régua de tomadas traseira esta ligada.



- Verifique se a válvula de limpeza (1) esta FECHADA e se a válvula de medição de volume interno (2) esta ABERTA



- Verifique se o reservatório auxiliar esta com água em seu interior



- Ligue o RACK 01 de aquecimento no botão quadrado vermelho à esquerda (1) e ajuste a temperatura de set-up para um valor inferior à temperatura ambiente através das setas (2), para que o equipamento não comece a aquecer.



- Adicione água ao corpo principal de forma moderada até cobrir o sensor de temperatura (1) e pouco antes do volume total (2) de forma a permitir a correta geração de vapor.



- Agora o equipamento está pronto para iniciar a operação.

2.3 PROCEDIMENTO DE UTILIZAÇÃO PRINCIPAL

O início do teste pode ter como parâmetro inicial a temperatura ambiente ou o sistema pré aquecido à temperatura do corpo 36,5 °C para atingir o regime estável de temperatura é recomendável selecionar uma temperatura inferior à desejada para o primeiro aquecimento exemplo: Desejável 36,5, selecionar 30,0 e aguardar o aquecimento de todo o corpo de alumínio e posteriormente selecionar 36,5 para evitar a formação de rampa acima da temperatura desejada.

Durante o aquecimento uma luz indicativa (1) é acionada no suporte de conexão da resistência.

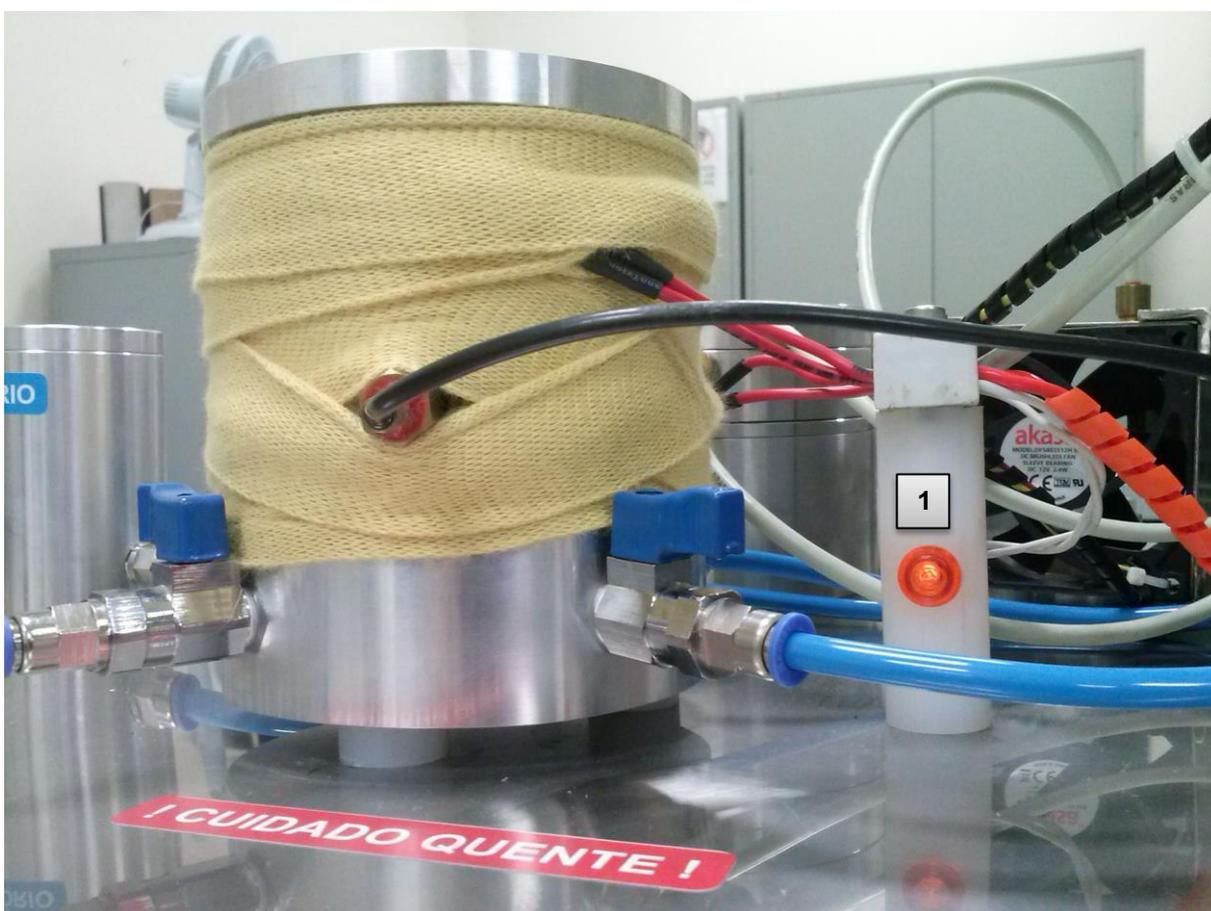


Figura 18 – Luz indicativa

A utilização dos RACKs auxiliares é opcional não sendo necessário ligá-los quando não forem utilizados.

Para a operação do sistema de reposição de líquidos e simulação de suor existem controles adicionais conforme o esquema a seguir:



O indicador (1) mostra o volume em ml de líquido deslocado do reservatório para o interior do corpo principal. Para acionar o bombeamento existem duas opções que podem ser selecionadas pela chave (2) para acionamento automático controlado pelo controle (3) ou manual acionado pelo botão (4). O valor pode ser zerado através do botão 'F' (5)

O indicador (6) mostra o volume interno em ml do corpo principal e demonstra em tempo real o volume perdido de acordo com a perda de vapor através das camadas têxteis colocadas sobre a saída. O botão (7) realiza a tara do sensor de pressão e somente deve ser usado no momento em que o sistema está sem água próximo ao zero, não se deve tentar zerar o medidor com água no sistema.

Para a operação do simulador de vento o indicador (8) exibe a velocidade do ventilador ao pressionar o botão 'F' (10).

A velocidade do ventilador pode ser controlada gradualmente através do controle (9).



Os indicadores das sondas presentes no RACK 02 (1) e no RACK 03 (2) mostram os valores em tempo real sem a necessidade de ajuste. Caso ocorra desvios de leitura é necessário consultar o manual do sensor UHT para recuperação da capacidade de leitura e correção via offset para igualar os valores.



Todos os sensores podem ser utilizados ao mesmo tempo disponibilizando dados em tempo real.



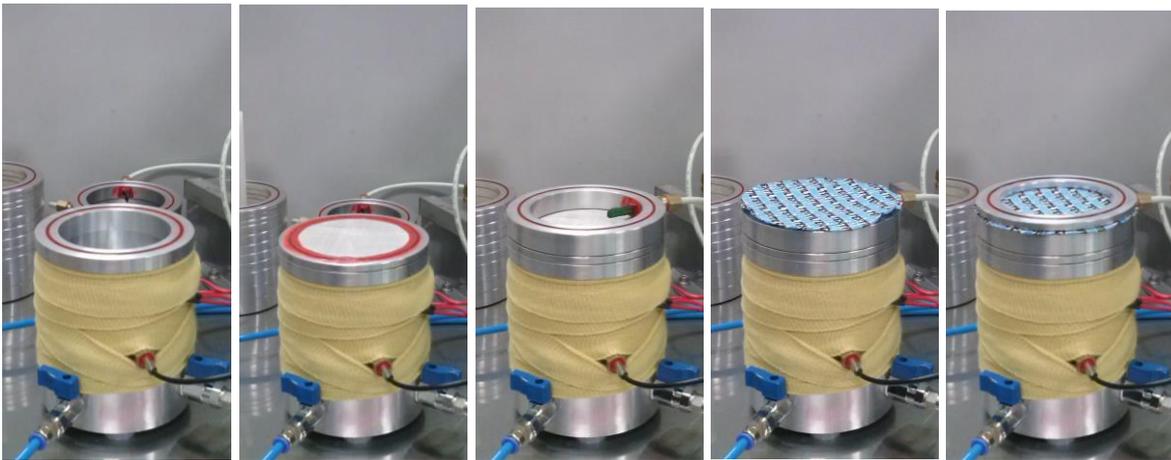
Figura 22 – Pleno funcionamento

3. EXEMPLOS DE MONTAGENS PARA TESTES

- TRANSPORTE DE VAPOR



- 01 MICROCLIMA

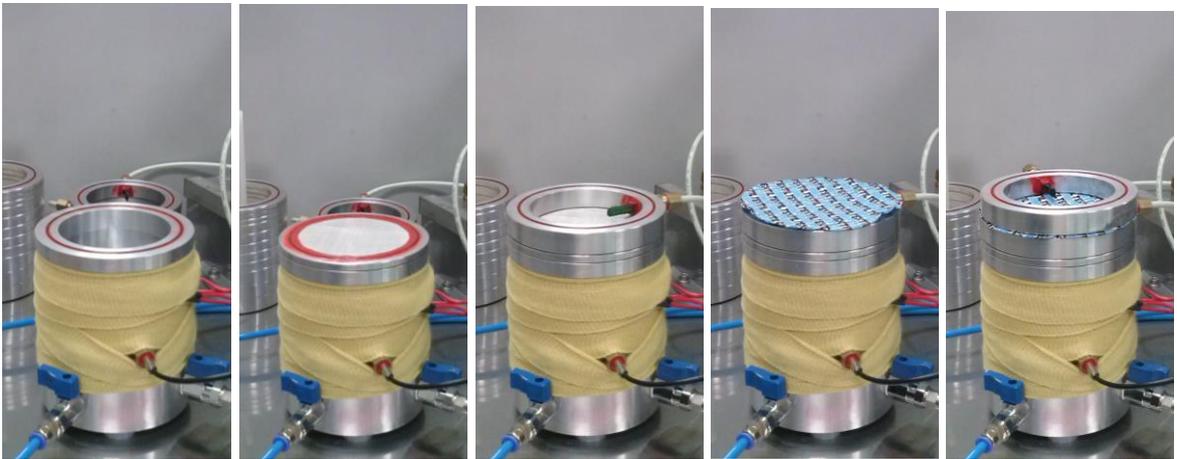


- 02 MICROCLIMAS

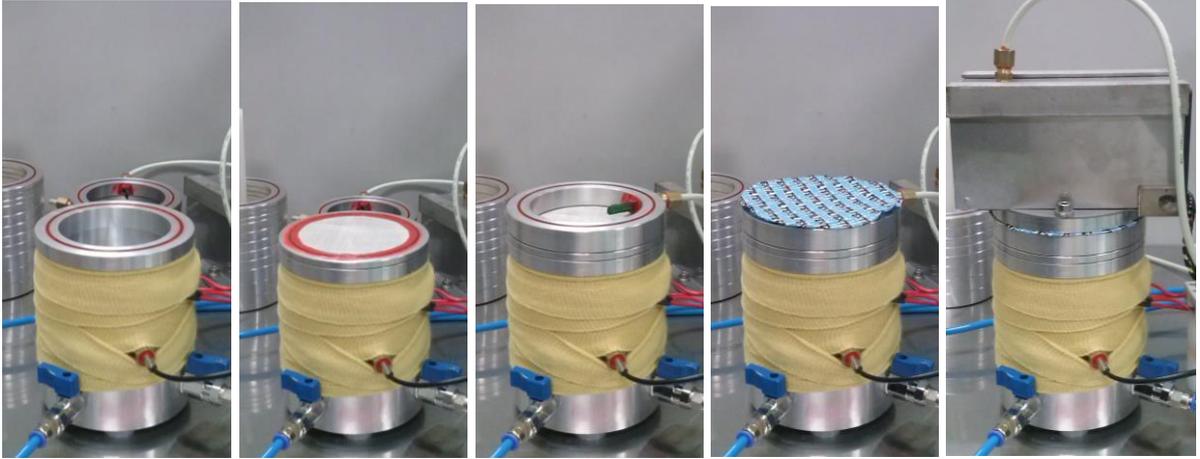




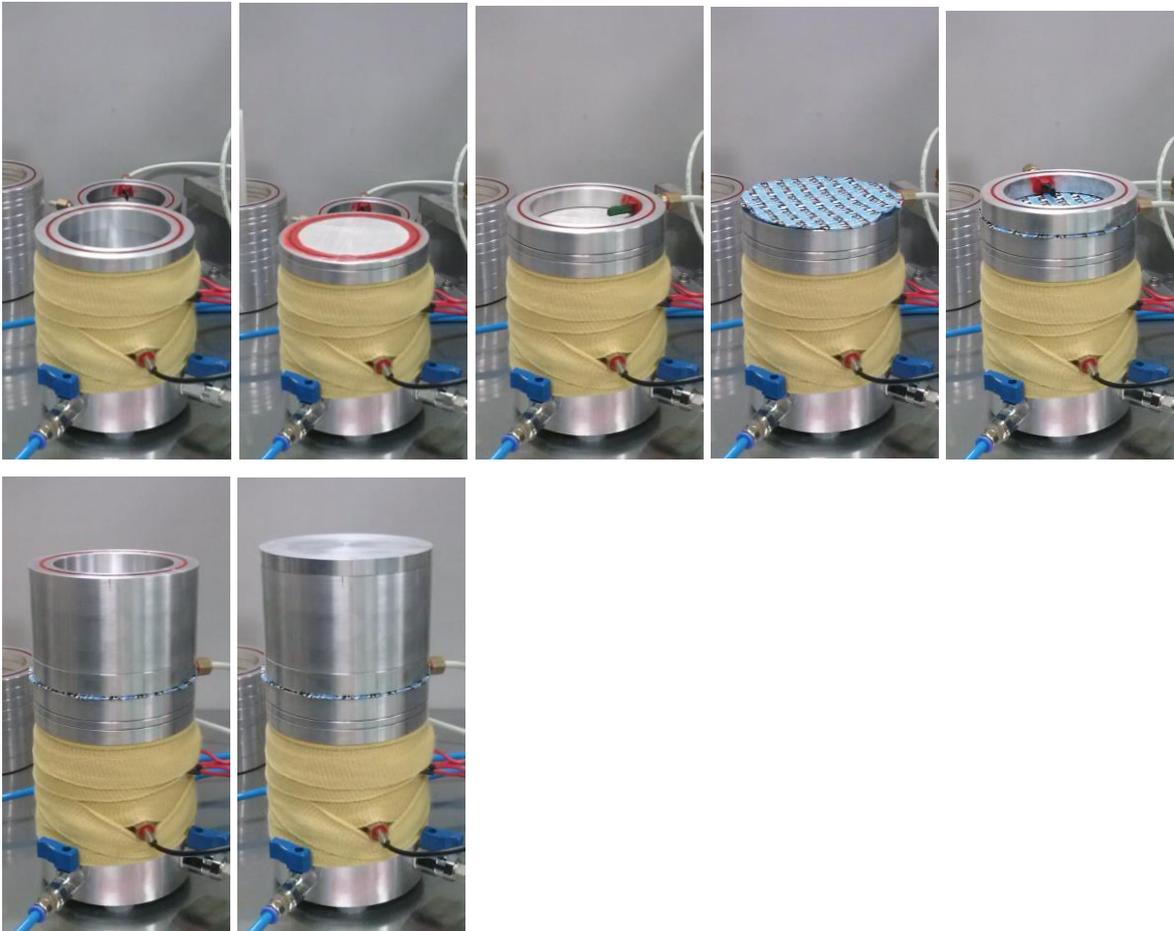
- 02 MICROCLIMAS + AMBIENTE COM VENTO



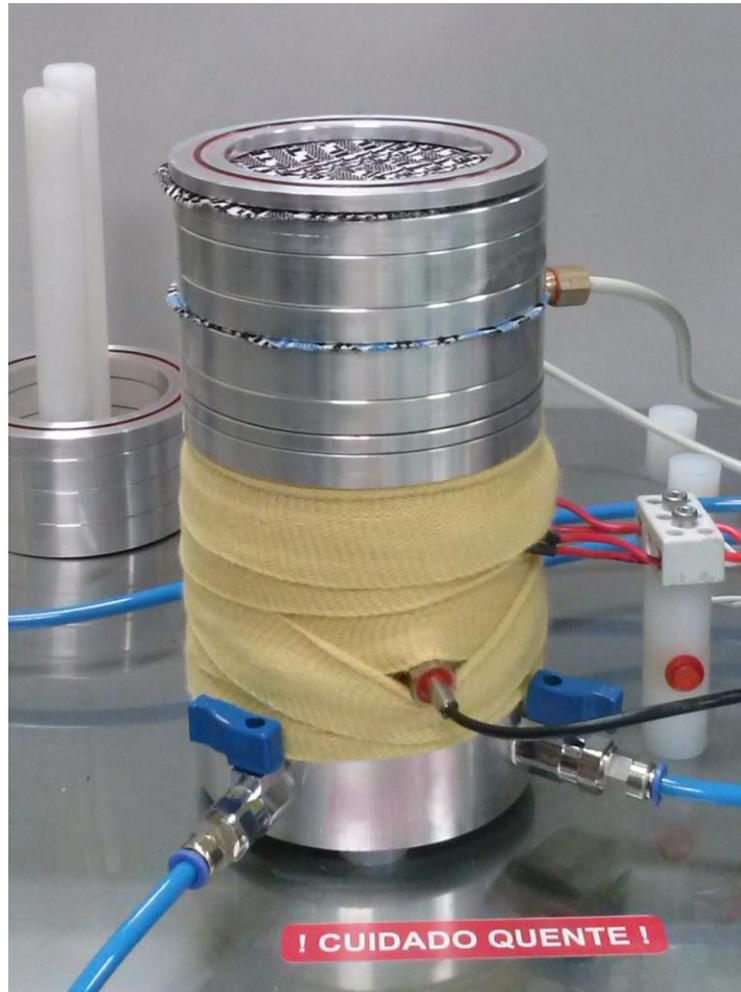
- 01 MICROCLIMA + AMBIENTE COM VENTO



- 01 MICROCLIMA + AMBIENTE FRIO



- 02 MICROCLIMAS COM DIFERENTES ALTURAS



3.1 CUIDADOS E MANUTENÇÃO

Ao final da sequência de testes é necessário realizar a retirada de água do corpo principal para evitar acidentes e o esforço desnecessário do sensor de volume.

Para retirar a água basta abrir a válvula de limpeza.



Outros cuidados necessários:

- Cuidado com os fios e cabos das sondas, não manipule os sensores pelos cabos.
- Mantenha as sondas de medição de Temperatura e Humidade sem depósitos de água, enxugue com um papel absorvente.
- Desligue os RACKs ao fim do experimento.
- Não é necessário esvaziar o reservatório auxiliar, isso permite que a bomba mantenha seu circuito cheio e sem bolhas.
- Ao final no experimento ajustar os controles para o valor mínimo e a temperatura do corpo central para um valor a baixo da temperatura ambiente.