

Universidade Estadual de Maringá



**CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

BRUNA ARRUDA DE OLIVEIRA

Estudo comparativo da transferência de calor em dois tipos de tecidos em contato com o corpo humano

PEM
Pós-Graduação
em Engenharia Mecânica | UEM

**Maringá
2015**

Bruna Arruda de Oliveira

Estudo comparativo da transferência de calor em dois tipos de tecidos em contato com o corpo humano

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.
Área de concentração: Ciências Térmicas

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Luiza Helena Costa Dutra Sousa

Coorientador: Prof. Dr. Wagner André dos Santos Conceição

**Maringá
2015**

"Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)"
(Biblioteca Setorial - UEM. Nupélia, Maringá, PR, Brasil)

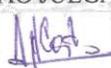
- O48e Oliveira, Bruna Arruda de, 1983-
Estudo comparativo da transferência de calor em dois tipos de tecidos em contato com o corpo humano / Bruna Arruda de Oliveira. -- Maringá, 2015.
64 f. : il. (algumas color.).
- Dissertação (mestrado em Engenharia Mecânica)--Universidade Estadual de Maringá, Dep. de Engenharia Mecânica, 2015.
Orientadora: Prof.^a Dr.^a Luiza Helena Costa Dutra Sousa.
Coorientador: Prof. Dr. Wagner André dos Santos Conceição.
1. Transferência de calor - Condução - Tecido. 2. Transferência de calor - Malha esportiva - Condução. I. Universidade Estadual de Maringá. Departamento de Engenharia Mecânica. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

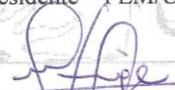
CDD 23. ed. -621.40223
NBR/CIP - 12899 AACR/2



Este é o exemplar definitivo da Dissertação apresentada por **Bruna Arruda de Oliveira**, perante a Comissão Julgadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica em 26 de fevereiro de 2015.

COMISSÃO JULGADORA


Luiza Helena Costa Dutra Sousa
Presidente – PEM/UEM


Márcio Higa
Membro – PEM/UEM


Karla Silva
Membro – UTFPR – C. Mourão PR.


Mônica Ronobo Coutinho
Membro – UNICENTRO – Guarapuava – PR.

Dedico este trabalho a Deus, que é digno de toda honra e glória.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer em primeiro lugar a Deus, pelo encorajamento para realização deste trabalho. Sem Deus nunca fui, não sou e jamais serei nada.

Gostaria de agradecer também meus pais Emilia e Juarez, minha irmã Jessica, pelo apoio em todas as minhas decisões e por sempre permanecerem ao meu lado. Agradeço ainda meu avô Raimundo (in memoriam) por ser um grande exemplo de pessoa em minha vida.

Agradeço ao professor Dr. Wagner André dos Santos Conceição pela co-orientação, profundo envolvimento neste trabalho, pela paciência comigo nos momentos difíceis e por saber conduzir nosso estudo da melhor forma possível.

Agradeço à professora Dr^a Luiza Helena Costa Dutra Sousa pela orientação, atenção, pelo tempo que disponibilizou tecendo comentários sempre rigorosos que muito me ajudaram a aprender.

Agradeço à empresa Anderson Malhas, localizada na cidade de Nova Esperança/PR, pelo fornecimento de tecidos para a realização dos testes, em especial seu diretor Willian Mulati pela atenção. A empresa Aya Tecidos Inteligentes pelo envio de tecidos térmicos para a realização dos testes, em especial a diretora Fernanda Chechinato.

Agradeço aos corredores de rua, voluntários do projeto, que deixaram muitas vezes seus afazeres para a realização dos testes.

Agradeço a toda equipe da academia de Educação Física da Universidade Estadual de Maringá pelo suporte nos testes experimentais.

Agradeço à equipe do Laboratório Labfise da UEM que disponibilizou seu espaço para a realização dos testes em esteira, em especial a doutoranda Cecília e a professora Dra. Fabiana por todo suporte teórico no que diz respeito à fisiologia humana.

Agradeço à equipe do LABMAT (Laboratório de Materiais da UEM) que disponibilizou o Microscópio Óptico para nossas análises. Em especial ao mestrando William Imamura pela ajuda técnica.

Agradeço ao Departamento de Engenharia Têxtil da UEM (Campus Goioerê) pela análise da composição dos tecidos, em especial o professor Prof. Dr. José Celso Oliveira dos Santos que não mediu esforços para ajudar.

Agradeço à Ercilia Atelier de Costura pelo apoio no desenvolvimento e confecção dos coletes utilizados nos testes.

Agradeço à equipe do COMCAP (Complexo de Centrais de Apoio à Pesquisa) pela disponibilização do Microscópio Eletrônico de Varredura em especial à professora Dra. Silvia pelo suporte nos ensaios MEV.

Agradeço todo apoio do Departamento de Engenharia Mecânica, em especial os amigos Jordina, Márcio e Hesir pelo apoio e carinho nos meus momentos de dificuldades.

Agradeço meus colegas do mestrado pela força, em especial meu amigo Tiago (“Titi”) pelas palavras sábias de ânimo nos momentos em que pensei em desistir.

Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e a Fundação Araucária pela Bolsa de Apoio Técnico.

Aos amigos e colegas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão desta dissertação.

"Porque Dele e por Ele, para Ele são todas as
coisas..."

(Por: Apóstolo Paulo em Romanos 11:36)

RESUMO

Cada dia mais tem-se um aumento no desenvolvimento da tecnologia dos tecidos esportivos, proporcionando ao esportista uma melhora em seu desempenho. Quanto aos corredores de rua, a maior dificuldade em relação às roupas utilizadas na prática de suas atividades está no fato de que grande parte dos tecidos falham em evaporar o suor. Aumentando a umidade no tecido utilizado, aumenta-se também a taxa de sudorese, prejudicando o desempenho do atleta. Desta forma, foram estudados dois tipos de tecidos visando contribuir com a performance destes corredores: os tecidos de malha esportiva eram compostos de 100% de poliéster, fornecido pela empresa Anderson Malhas, e o tecido térmico (comumente denominado “inteligente”), fornecido pela empresa Aya Tecidos Inteligentes, composto também de filamentos contínuos de poliéster. Para estudar o comportamento deste tecidos elaborou-se testes experimentais com atletas corredores de rua realizados no Laboratório de Fisiologia de Esforço localizado na Universidade Estadual de Maringá e também na Academia da Educação Física localizada na mesma instituição. Objetiva-se com os resultados, comparar os tecidos no que diz respeito a transferência de calor. Um modelo matemático simplificado foi desenvolvido considerando os perfis de temperatura entre a pele do atleta e o meio, através da malha têxtil utilizada. O modelo matemático serviu para simular a transferência de calor através de um tipo de malha têxtil mais utilizada por atletas para ser comparado às respostas da simulação com tecidos térmicos (inteligentes). Os resultados experimentais obtidos, discussão dos perfis de temperatura com o tempo, análise da condutividade térmica, teor total de água absorvido pelo tecido, para uma condição climática típica da cidade de Maringá-PR, serviram para avaliar entre os dois tipos de tecidos as melhores condições como facilitador de desenvoltura dos atletas. As expressões para a condutividade térmica obtida para o tecido térmico foi $k_{TT} = 7,9236 \cdot 10^{-4} e^{(-0,0010 \cdot \Delta x / T_m)}$, sendo o desvio do modelo da ordem de 6,39%, e para o tecido usual foi $k_{TU} = 6,3337 \cdot 10^{-4} e^{(-0,0011 \cdot \Delta x / T_m)}$, e o desvio do modelo é da ordem 6,42%. O modelo proposto mostrou-se ser um modelo satisfatório para cálculo de condutividade térmica de tecidos com composição de 100% poliéster.

Palavras-chave: Transferência de calor. Modelagem matemática. Malha esportiva. Tecidos térmicos.

ABSTRACT

The advancement of fabric technology used in clothing for running has assisted athletes of all levels to improve their performance. The biggest issue for clothing used by runners is that most fabrics fail to properly evaporate their sweat. Increased humidity in a fabric leads to increases in the rate of sweating which in turn impairs athletic performance. There were two fabrics studied in this test, one was a 100% polyester, a normal fabric provided by the company "Anderson Malhas", and the second was a "thermal fabric" supplied by the company "Aya Tecidos Inteligentes". These tissues were studied with experimental tests with runners for analyzing the effectiveness of each tissue for the transport of heat from the athlete to the external environment. These fabrics were studied with experimental tests with runners at the Laboratory of Physiology of Attempt located in University of Maringá (UEM) and in the Academy of Physical Education in the same institution for comparison between fabrics, in the case of transfer of heat. A simplified mathematical model was developed for the comparison of temperature between the athlete's skin and the environment through the fabrics. The experimental results, discussion of the transient temperature profiles, analysis of the thermal conductivity, the total content of water absorbed by fabric, typical for a climate condition of Maringá-PR, were used evaluate the best type of fabric for the athletes to improve performance. The thermal conductivity obtained to the polyester thermal fabric was $k_{TT} = 7,9236 \cdot 10^{-4} e^{(-0,0010 \cdot \Delta x / T_m)}$, with model deviation around 6,39%, and to the polyester usual fabric was $k_{TU} = 6,3337 \cdot 10^{-4} e^{(-0,0011 \cdot \Delta x / T_m)}$, and the model deviation around 6,42%. The proposed model was consistent and satisfactory. The proposed model was satisfactory for calculating thermal conductivity of fabrics with composition 100 % polyester.

Keywords: Heat transfer. Mathematical modeling. Sport fabrics. Thermal tissues.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Tipos de Tecidos	1
Figura 2 - Transferência de calor por convecção natural	5
Figura 3 - Transferência de calor por convecção forçada	6
Figura 4 - Tecido Plano e Tecido de Malha	10
Figura 5 - Tecido inteligente em contato com a pele	12
Figura 6 - Tipos de Fibras	13
Figura 7 - Formação do Ácido Tereftálico	14
Figura 8 - Reação de Poliesterificação	15
Figura 9 - Extrusão do Poliéster	15
Figura 10 - Vista Frontal do Tipo de Orifício da Fieira para formação do fio.....	15
Figura 11 - Estrutura "colete"	18
Figura 12 - Esquema ilustrativo do sistema considerado	21
Figura 13 - Nós considerados	23
Figura 14 - Rotina Computacional Simplificada.....	26
Figura 15 - Tecido Usual: comparação entre o perfil de temperatura experimental e o modelo proposto	29
Figura 16 - Tecido Térmico: comparação entre o perfil de temperatura experimental e o modelo proposto	30
Figura 17 - Tecido Usual: comparação entre o perfil de temperatura experimental e o modelo proposto	30
Figura 18 - Tecido Térmico: comparação entre o perfil de temperatura experimental e o modelo proposto	31
Figura 19 - Tecido Usual: comparação entre o perfil de temperatura experimental e o modelo proposto	31
Figura 20 - Tecido Térmico: comparação entre o perfil de temperatura experimental e o modelo proposto	32
Figura 21 - Tecido Usual: comparação entre o perfil de temperatura experimental e o modelo proposto	32
Figura 22 - Tecido Térmico: comparação entre o perfil de temperatura experimental e o modelo proposto	33

Figura 23 - Tecido Usual: comparação entre o perfil de temperatura experimental e o modelo proposto	33
Figura 24 - Tecido Térmico: comparação entre o perfil de temperatura experimental e o modelo proposto	34
Figura 25 - Tecido Usual: comparação entre o perfil de temperatura experimental e o modelo proposto	34
Figura 26 - Tecido Térmico: comparação entre o perfil de temperatura experimental e o modelo proposto	35
Figura 27 - Tecido Usual: comparação entre o perfil de temperatura experimental e o modelo proposto	35
Figura 28 - Tecido Térmico: comparação entre o perfil de temperatura experimental e o modelo proposto	36
Figura 29 - Tecido Usual: comparação entre o perfil de temperatura experimental e o modelo proposto	36
Figura 30 - Tecido Térmico: comparação entre o perfil de temperatura experimental e o modelo proposto	37
Figura 31 - Tecido Usual: comparação entre o perfil de temperatura experimental e o modelo proposto	37
Figura 32 - Tecido Térmico: comparação entre o perfil de temperatura experimental e o modelo proposto	38
Figura 33 - Variação de temperatura ao longo do tecido	40
Figura 34 - Microscopia Eletrônica de Varredura dos tecidos: Espaçamento entre os fios	41
Figura 35 - Geometria Tecido Térmico e Tecido Usual.....	41
Figura 36 - Contextura do tecido térmico e tecido usual.....	42
Figura 37 - Microscopia Óptica aplicada ao Tecido Usual	42
Figura 38 - Microscopia Óptica aplicada ao Tecido Térmico	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Alguns tipos de tecidos inteligentes e seus principais benefícios	11
Tabela 2 - Atletas voluntários nos testes	17
Tabela 3 - Cálculo dos números adimensionais de Biot e Fourier e difusividade térmica para os atletas	28
Tabela 4 - Resultados Simulados para os parâmetros k_0 e A' e variações de temperatura experimentais.....	39
Tabela 5 - Microscopia Óptica	43
Tabela 6 - Percentual de Massa/Suor Retido.....	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Sigla	Descrição
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
PMRT	Percentual de Massa Retida no Tecido

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolos	Significado	Unidade SI
q	Taxa de transferência de calor por condução	[J/s]
q'	Fluxo de calor	[W/m ²]
T_s	Temperatura da superfície da pele	[°C]
T_a	Temperatura do ambiente	[°C]
ΔT	Variação de temperatura	[°C]
L	Comprimento da placa	[m]
A_s	Área de troca térmica	[m ²]
R_t	Resistência térmica	[W/K]
$k_{F,eff}$	Condutividade térmica efetiva	[W/m.K]
k_{TT}	Condutividade térmica do tecido térmico	[W/m.K]
k_{TU}	Condutividade térmica do tecido usual	[W/m.K]
x	Eixo em coordenadas cartesianas	
j_F	Fluxo de massa	[kg/ m ² s]
Δh_{vap}	Entalpia de vaporização específica	[J/kg]
α	Difusividade térmica do elemento a ser estudado	[m ² /s]
α_T	Difusividade térmica do tecido	[m ² /s]
$q_{cond_{i \rightarrow e}}$	Taxa de transferência de calor por condução do nó interno para o nó externo	[J/s]
$q_{cond_{e \rightarrow i}}$	Taxa de transferência de calor transferido por condução do nó externo para o nó interno	[J/s]
q_{corpo}	Taxa de transferência de calor do corpo humano para o tecido	[J/s]
q_{conv}	Taxa de transferência de calor trocado entre o tecido e o ambiente	[J/s]
ρ_T	Massa específica tecido	[kg/m ³]
Δx	Espessura do tecido	[m]

C_{PT}	Calor específico do Tecido	[J/kg K]
A	Área do tecido perpendicular a transferência de calor	[m ²]
A'	Parâmetro de ajuste da condutividade térmica	[°C /m]
T_m	Média aritmética das temperaturas interna e externa ao tecido	[°C]
k_0	Parâmetro relacionado à condutividade térmica do tecido	[W/m.K]
m_{rt}	Massa retida no tecido	[g]
m_{rt0}	Massa inicial retida no tecido (antes da realização do teste)	[g]
$PMRT$	Percentual de Massa Retida no Tecido	[%]
t	Tempo	[s]
Δt	Intervalo de tempo	[s]
Fo	Número Adimensional de Fourier	
Bi	Número Adimensional de Biot	
R_{cond}	Resistência Condutiva	[K/W]
R_{conv}	Resistência Convectiva	[K/W]
α_T	Difusividade do tecido	[m ² /s]
k_T	Condutividade térmica do tecido	[W/m.K]
T_i	Temperatura interna ao tecido	[°C]
T_e	Temperatura externa ao tecido	[°C]
T_{ie}	Temperatura interna experimental	[°C]
T_{ee}	Temperatura externa experimental	[°C]
T_{i0}	Temperatura interna experimental inicial	[°C]
T_{if}	Temperatura interna experimental final	[°C]
T_{e0}	Temperatura externa experimental inicial	[°C]
T_{ef}	Temperatura externa experimental final	[°C]
ΔT_0	Variação de temperatura experimental ao longo do tecido no início do teste	[°C]
ΔT_f	Variação de temperatura experimental ao	[°C]

	longo do tecido no fim do teste	
T_{ar}	Temperatura do ar	[°C]
h	Coeficiente convectivo	[W/(m ² .K)]
v	Velocidade do atleta na esteira	[m /s]
$E(\%)$	Erro Percentual	%
C_i	Convergência nó interno ao tecido – Critério de estabilidade	
C_e	Convergência nó externo ao tecido – Critério de estabilidade	
R_T	resistência térmica da roupa	[m ² .°C/W]
T_{sm}	Temperatura da superfície da pele do manequim térmico	[°C]

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVO	4
2.1 OBJETIVO GERAL.....	4
2.1.1 Objetivo Específico	4
3 DESENVOLVIMENTO.....	5
3.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1.1 Transferência de calor	5
3.1.1.1 Transferência de calor do corpo humano para o ambiente	6
3.1.1.2 Condutividade Térmica	7
3.1.1.3 Modelagem Matemática	8
3.1.2 Transferência de massa.....	9
3.1.2.1 Transferência de massa do corpo humano para o ambiente	9
3.1.3 Tecidos	9
3.1.3.1 Tecidos inteligentes	10
3.1.3.2 Conceito de Fibras	12
3.1.3.3 Poliéster	14
3.1.3.3.1 Obtenção do Poliéster.....	14
4 METODOLOGIA.....	16
4.1 MATERIAIS	16
4.2 DEFINIÇÃO DOS ATLETAS QUE TRABALHARAM AS AMOSTRAS.....	16
4.3 AMOSTRAGEM.....	18
4.4 PREPARAÇÃO DA AMOSTRA	18
4.5 ANÁLISE DA ESTRUTURA DO TECIDO	19
4.6 PREPARAÇÃO DO TESTE.....	19
4.7 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	20
4.7.1 Simplificações do Modelo Proposto.....	20
4.7.2 Balanço de Energia no Tecido.....	21
4.7.2.1 Problema Proposto.....	21
4.7.2.1.1 Discretização das equações diferenciais do modelo matemático	22
4.7.2.2 Rotina Computacional Proposta	25

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	27
5.1 TRANSFERÊNCIA DE CALOR.....	27
5.2 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA	40
5.3 MICROSCOPIA ÓPTICA	42
5.4 PERCENTUAL DE MASSA RETIDA NOS TECIDOS.....	44
6 CONCLUSÃO.....	46
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	49
REFERÊNCIAS	
ANEXOS	

1 INTRODUÇÃO

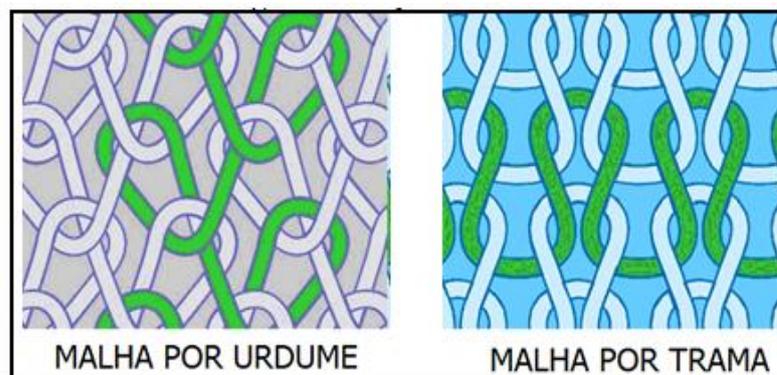
O objetivo da roupa durante a realização de uma atividade física é tentar manter a temperatura corporal diante de diferentes condições ambientes e evitar o acúmulo de suor, fazendo com que a água proveniente da transpiração se desloque para o ambiente exterior.

Cada dia mais os atletas utilizam diferentes tipos de tecidos para a prática de suas atividades físicas. No entanto nem todos os tipos de tecidos são adequados para a realização de suas atividades, uma vez que dificultam a transpiração. Um conceito importante ao considerar na confecção de novos produtos é a funcionalidade. Hoje um produto de vestuário apenas estético pode ser preenchido com tecnologia a serviço do conforto, aspecto este que é uma das preocupações mais presentes em termos da demanda moderna de vestuário. (FILGUEIRAS, 2008; NEVES ; CUNHA, 2004; CORREIA, 2005).

A retenção da transpiração pode ser um dos problemas ocasionados pela utilização de um tecido não adequado, prejudicando a performance do atleta. Assim, roupas molhadas com suor são muito desagradáveis e prejudicam a realização da atividade física.

As fibras ou fios têxteis podem ser classificados em não-tecidos, malhas e tecidos planos. As malhas são caracterizadas pelo entrelaçamento de fios em diversas séries de laçadas. Dependendo do tipo de laçada estas malhas podem ser denominadas malhas por urdume ou malhas por trama, sendo estas contexturas mostradas na Figura 1.

Figura 1 - Tipos de Tecidos



Fonte: Adaptado de OLIVETE (2014).

A classificação dos tecidos é importante, pois dependendo da aplicação, a estrutura da malha escolhida deve mudar. Para os atletas é essencial que o tecido permita um conforto térmico apropriado. O conforto térmico é definido como condição da mente que expressa satisfação com o meio térmico (ASHRAE, 2013). É a troca de calor e de massa entre o corpo

humano e o meio ambiente, através do vestuário, e está relacionado com a forma que o vestuário ajuda a manter o equilíbrio térmico do corpo humano (LI, 2001). Assim, o conforto térmico vai depender da capacidade de dissipação de calor entre o corpo humano e o ambiente externo, através do tecido.

A preocupação dos atletas é o uso de uma roupa construída utilizando um tecido que ao mesmo tempo o proteja e também conduza a transpiração do corpo para o ambiente externo. O conforto proporcionado pelo vestuário é função das suas características físicas, ou seja, suas propriedades físicas e arranjo das fibras que compõe o tecido utilizado (DONCA, 2013). Diante desta demanda surgem os tecidos térmicos também chamados de “tecidos inteligentes”.

As pesquisas de ponta na tecnologia têxtil envolvem os chamados tecidos inteligentes (smart textiles), que se caracterizam por modificar suas propriedades de acordo com estímulos externos, como deformação, calor, eletricidade, magnetismo, luz, etc. (TETRINNO SMARTEX PROJECT, 2007). O tecido “inteligente” utilizado para a confecção das roupas modernas para prática de exercícios facilita, a transferência do suor produzido pelo corpo humano durante a realização de uma atividade física para suas camadas externas, favorecendo a evaporação e o resfriamento do corpo, principalmente nos dias mais quentes do ano. O resultado deste processo é que a roupa retém menos suor, ficando mais leve, sem o aspecto “encharcado”, proporcionando conforto térmico agradável ao atleta.

Entre os tecidos mais utilizados pelos atletas, os fabricados com fibras de poliéster encontram-se em primeiro lugar. O poliéster é uma fibra artificial sintética, com ótima resistência, sendo obtida a partir de processos químicos, derivada do petróleo. Possui uma secagem rápida com baixo encolhimento. No presente trabalho foi proposta uma análise térmica de dois tecidos de composição 100% poliéster, sendo um deles fornecido pela empresa Aya Tecidos Inteligentes, de São Paulo, tratado termicamente pela própria empresa (segredo industrial) e outro fornecido pela Anderson Malhas de Nova Esperança, sendo um tecido usual, sem qualquer tipo de tratamento.

Para descrever matematicamente o fenômeno que ocorre nos tecidos, foi proposto um modelo matemático da transferência de calor entre os tecidos e a pele e para a realização da simulação do modelo matemático foi utilizado o *software* Matlab.¹

Como resultado preliminar foi observado um decaimento não linear do perfil de temperatura ao longo da espessura do tecido de acordo com o modelo proposto, sendo

¹ O Matlab (acrônimo de MATrix LABoratory) é um *software* computacional conhecido mundialmente como uma excelente ferramenta para soluções de problemas matemáticos, científicos e tecnológicos (NOBRE, 2005).

comparado com os dados experimentais obtidos. Diante disso foi proposta uma relação exponencial para ajuste do modelo proposto, com o intuito de obtenção dos valores aproximados da condutividade térmica dos tecidos avaliados.

Os tecidos utilizados apresentaram valores estimados de condutividade térmica em uma mesma ordem de grandeza, sendo a condutividade térmica do tecido térmico em média 25% maior que a condutividade térmica do tecido usual.

Foi utilizada a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) como um suporte para o estudo da contextura dos tecidos e na conclusão da aproximação de suas condutividades térmicas. Com este teste foram definidas as geometrias dos tecidos e as medidas aproximadas do espaçamento entre os fios das laçadas. Ensaio com tecido seco e tecido úmido em um microscópio óptico também serviram como suporte na verificação do espaçamento vazio entre as laçadas.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como propósito a estimativa das condutividades térmicas do sistema composto pelos tecidos normalmente utilizados pelos atletas e um estudo a cerca dos valores obtidos.

Para tanto, realizou-se testes experimentais comparativos, em uma amostragem de atletas corredores de rua do Quarto Batalhão da Polícia Militar do Paraná juntamente com amostragem dos atletas da Acorremar (Associação dos Corredores de Rua de Maringá), comparando os tecidos usualmente utilizados pelos mesmos e os tecidos inteligentes, tendo como condições de contorno, em torno do material têxtil analisado, a pele humana e o ambiente.

2.1.1 Objetivo Específico

De forma específica este estudo objetiva:

- Propor um modelo matemático, com base em estudos feitos da literatura, para avaliar a transferência de calor através dos dois tipos de tecidos;
- Propor uma expressão para a condutividade térmica dos tecidos;
- Comparar os valores obtidos experimentalmente com os valores encontrados utilizando a simulação;
- Comparar os valores das condutividades térmicas dos dois tipos de tecidos;
- Analisar a possibilidade de um tecido trazer maior conforto térmico do que o outro.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

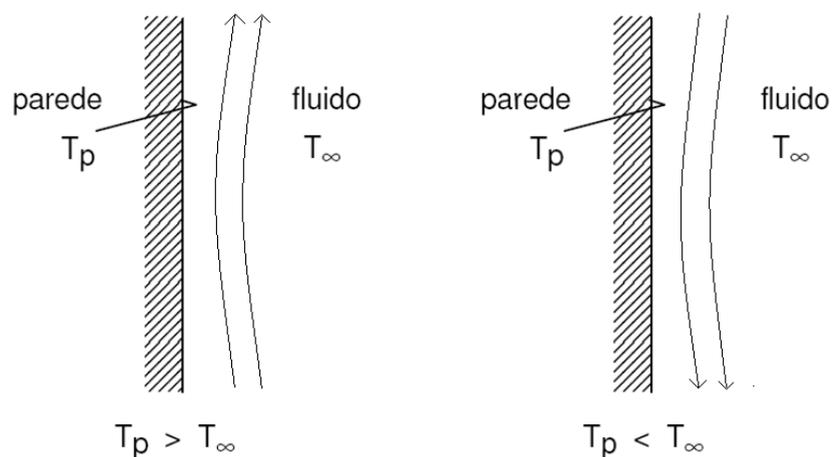
3.1.1 Transferência de calor

A transferência de calor é uma ciência que estuda a forma com que o calor se movimenta entre fontes e receptores, dado um gradiente de temperatura (KERN, 1987). Existem 3 formas de transferência de calor: por condução, por convecção e por radiação.

Segundo Kreith (1977), "A condução é um processo pelo qual o calor flui de uma região de alta temperatura para outra de temperatura mais baixa, dentro de um meio (sólido, líquido ou gasoso) ou entre meios diferentes em contato físico direto".

A convecção é uma forma de transferência de calor que ocorre principalmente nos fluidos (gases e líquidos) uma vez que há transporte de matéria. A convecção pode ser classificada em convecção natural e convecção forçada. A convecção natural é quando a movimentação do fluido se dá por meios naturais, ou seja, pelo próprio aquecimento do fluido (NETO, 2010). O fluido quente sobe e o fluido frio desce em função de suas diferenças de densidade formando as chamadas correntes de convecção, de acordo com a Figura 2.

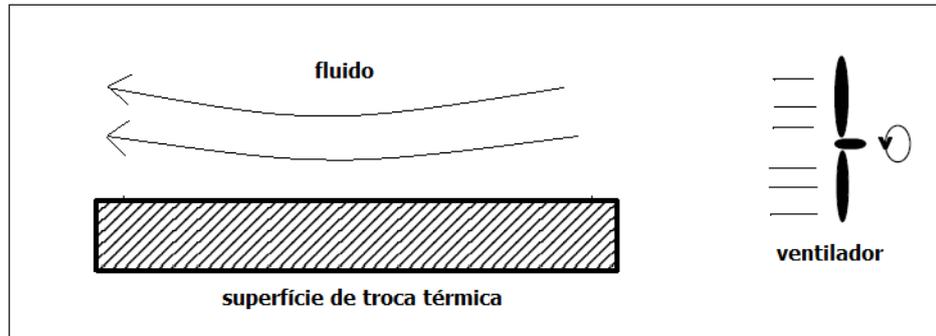
Figura 2 - Transferência de calor por convecção natural



Fonte: Transferência de Calor – Volume I (NETO, 2010)

Quando o fluido é movimentado de forma artificial, por meios mecânicos (abanador, ventilador, entre outros.), tem-se caracterizado a circulação ou ventilação forçada do fluido, de acordo com Figura 3.

Figura 3 - Transferência de calor por convecção forçada



Fonte: Elaborado pela autora (2015)

De acordo com Reis (2012), "A transferência de calor por radiação se propaga no espaço na forma de ondas eletromagnéticas, em linha reta e na mesma velocidade da luz. Assim, ao contrário da transferência de calor por condução e convecção, para que ocorra a transferência de calor por radiação não é necessária a presença de um meio material".

3.1.1.1 Transferência de calor do corpo humano para o ambiente

Os principais isolantes do corpo são a pele, o tecido subcutâneo e as gorduras subcutâneas. Estes isolantes objetivam manter a temperatura do corpo em torno dos 36°. Porém, quando o corpo é exposto a ambientes com temperaturas muito variáveis, estes isolantes não conseguem manter a temperatura do corpo nos 36°C, necessitando de auxílio, como por exemplo, a utilização de roupas.

Os vasos sanguíneos existentes no corpo humano são localizados logo abaixo da pele. Segundo Guyton e Hall (2002), a alta intensidade do fluxo sanguíneo faz com que o calor seja conduzido das porções internas do corpo para a pele com grande eficiência, enquanto a redução da intensidade do fluxo sanguíneo diminui a condução de calor a partir das partes centrais do corpo.

De acordo com GUYTON e HALL, 2002 o calor perdido pelo corpo humano para o ambiente inclui a irradiação, condução, convecção e evaporação.

O corpo humano raramente está em um estado térmico estacionário, uma vez que a mudança das condições climáticas influenciam na temperatura da pele que tende a sofrer alterações, mesmo que pequenas.

3.1.1.2 Condutividade Térmica

A condutividade térmica é uma grandeza específica de cada material, ou seja, está relacionada com a capacidade de cada um em conduzir calor. A condutividade térmica depende de alguns fatores entre eles a temperatura e a composição do material.

O estudo da condutividade térmica de determinado material é de suma importância para direcionar sua melhor aplicabilidade. Assim, materiais com uma condutividade térmica alta são utilizados como dissipadores de calor enquanto materiais com condutividade térmica baixa são utilizados como isoladores térmicos.

A condutividade térmica de um tecido é um fator determinante para sua utilização em um determinado fim, uma vez que a característica do tecido está relacionada também com a percepção do conforto do usuário (GUNESOGLU; MERIC, 2005).

Esta característica térmica é uma das propriedades importantes de um tecido. A condutividade térmica pode ser considerada como uma forma que o tecido "respira". Um tecido que apresenta um valor elevado para sua condutividade térmica permite uma passagem eficaz de calor do lado quente (pele) para um lado mais frio (o ar ambiente) ou vice-versa.

De uma forma simplificada, a partir da Lei de Fourier de condução de calor em uma placa, a condutividade térmica pode ser expressa pela Equação (1):

$$-k = \frac{\frac{q}{A}}{\frac{dT}{dx}} \quad (1)$$

Desenvolvendo a Equação (1), tem-se a Equação (2):

$$-k = \frac{q \cdot L}{A \cdot \Delta t \cdot \Delta T} \quad (2)$$

Onde:

k = condutividade térmica de um dado material ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \text{K}^{-1}$)

q = taxa de transferência de calor em função do gradiente de temperatura ($\text{J} \cdot \text{s}^{-1}$)

L = comprimento da placa (m)

Δt = intervalo de tempo (s)

$\Delta T =$ gradiente de temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

3.1.1.3 Modelagem Matemática

Na literatura são encontrados alguns modelos matemáticos para transferência de calor em tecidos tendo como limitações a pele humana e o ambiente externo. A maioria destes modelos faz considerações simplificadas, como por exemplo, não havendo variação de energia e massa com o tempo, ou seja, estado estacionário. Mas sabe-se que na prática estas transferências ocorrem no estado transiente. É o caso do modelo proposto por Xiaoming e Jintu, 2009 que apresenta uma modelagem sobre o conforto térmico Equação (3) e que propõe a transferência de calor através do tecido em regime estacionário.

$$q = \frac{A_s(T_s - T_a)}{R_t} \quad (3)$$

Sendo, q taxa de transferência de calor por condução (J/s), A_s a área de troca térmica (m^2), T_s a temperatura da pele ($^{\circ}\text{C}$), T_a a temperatura do ambiente ($^{\circ}\text{C}$), R_t a resistência térmica ($\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$).

O mesmo acontece com o modelo matemático desenvolvido por Min K. *et al* (2007) que desenvolvem um modelo para transferência de calor e de massa da pele para o ambiente através de tecidos. Porém, para o modelo realiza-se uma simplificação considerando estado estacionário conforme a Equação (4).

$$q' = -k_{F,eff} \frac{dT}{dx} + j_F \cdot \Delta h_{vap} \quad (4)$$

Sendo q' o fluxo de calor (W/m^2), $k_{F,eff}$ condutividade térmica efetiva ($\text{W}/\text{m.K}$), $\frac{dT}{dx}$ variação de temperatura no eixo x (K/m), j_F fluxo de massa ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$) e Δh_{vap} entalpia de vaporização específica (J/kg).

Huang (2006) realizou testes experimentais com manequins térmicos com o intuito de estimar valores de propriedades térmicas de alguns tecidos. O modelo desenvolvido de acordo com a Equação (5), baseia-se na 1^o Lei de Fourier, sendo considerado a transferência de calor em estado estacionário.

$$R_T = A_s \frac{(T_{sm} - T_a)}{H} \quad (5)$$

Sendo R_T a resistência térmica da roupa ($m^2 \cdot ^\circ C/W$), A_s a área de troca térmica (m^2), T_{sm} a temperatura da superfície da pele do manequim térmico ($^\circ C$), T_a a temperatura ambiente ($^\circ C$), H o calor necessário para aquecer o manequim (W).

O conhecimento da distribuição de temperatura ao longo do tecido juntamente com a análise da efetividade da transferência de massa (suor) que a princípio pode ser vista através da pesagem do tecido são fatores contribuintes para a análise comparativa de ambos os tecidos. Considera-se o sistema a ser estudado como sendo o tecido cujos limites de contorno são a pele e o ambiente externo.

3.1.2 Transferência de massa

De uma forma geral a transferência de massa pode ser definida como o movimento geral da matéria. Em um sentido mais restrito a transferência de massa pode ser definida como o movimento de um componente (A, B...) em um outro componente ou em um grupo de componentes, em razão de uma diferença de concentração. Esta transferência pode ocorrer por difusão molecular ou convecção (ÇENGEL, 2002).

Na transferência de massa, a difusão molecular é análoga a condução na transferência de calor regida pela Lei de Fourier.

3.1.2.1 Transferência de massa do corpo humano para o ambiente

Existem algumas formas do corpo humano perder água para o ambiente, ou seja:

- através dos rins (na forma de urina),
- do tubo digestivo (juntamente com as evacuações),
- da pele (na forma de suor),
- dos pulmões (no ar expirado).

No presente estudo a via levada em consideração foi o suor/transpiração.

3.1.3 Tecidos

O vestuário tem como função primária atuar como uma resistência natural entre o corpo humano e o meio ambiente (CORREIA, 2005), fazendo com que o corpo fique

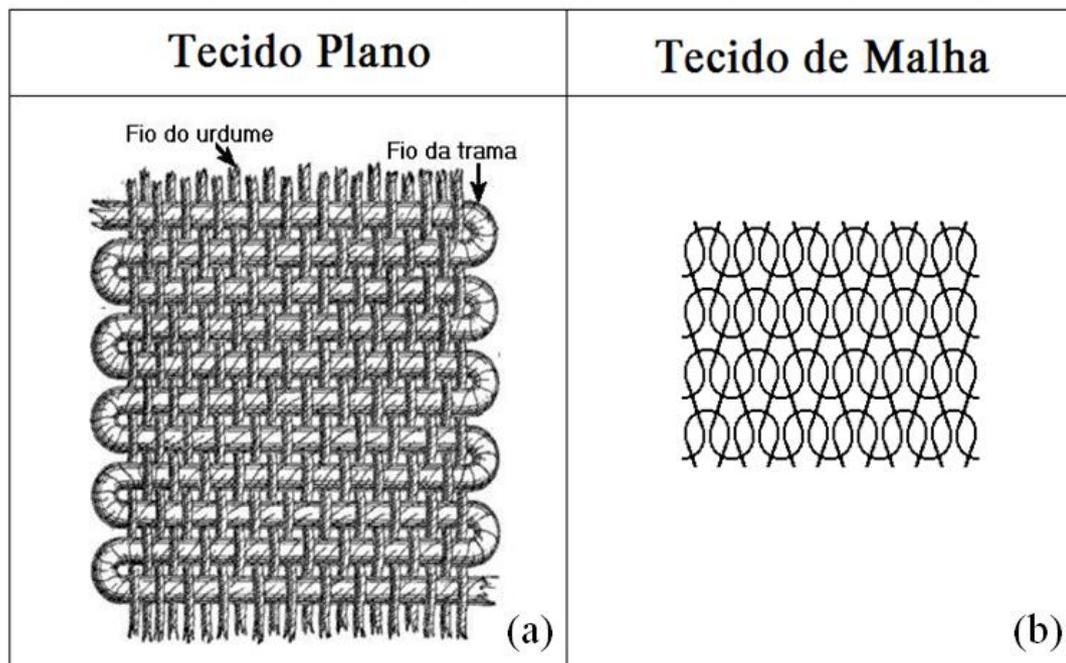
confortável a uma determinada temperatura mesmo que haja variações climáticas e mesmo que haja transpiração.

O conforto proporcionado pelo vestuário é função das suas características físicas, ou seja, suas propriedades físicas e arranjo das fibras que compõe o tecido utilizado, (DONCA, 2013).

Os tecidos, por sua vez, compostos por fios fabricados de fibras das mais variadas composições, podendo ser naturais, sintéticas ou artificiais, apresentam estruturas diferenciadas denominando-os de tecidos planos ou malhas.

Na Figura 4a pode ser observado a estrutura de um tecido plano (constituído por um entrelaçamento dos fios de trama mais os fios de urdume) e na Figura 4b, apresenta-se a estrutura de um tecido de malha.

Figura 4 - Tecido Plano e Tecido de Malha



Fonte: <http://panosparaofuturo.blogspot.com.br/2012/04/construcao-de-um-tecido-plano.html>
(2012)

3.1.3.1 Tecidos inteligentes

A junção da área têxtil com novas tecnologias abre o leque de possibilidades na utilização de fibras têxteis. Os tecidos inteligentes seriam tecidos com funções além de um simples tecido, ou seja, eles foram desenvolvidos para suprir alguma exigência além da

convencional. São aqueles que possuem alguma função que vai muito além do aspecto estético.

Os tecidos inteligentes buscam ser mais vantajosos em relação aos tecidos usualmente utilizados e terem algum diferencial como pode se observar na Tabela (1).

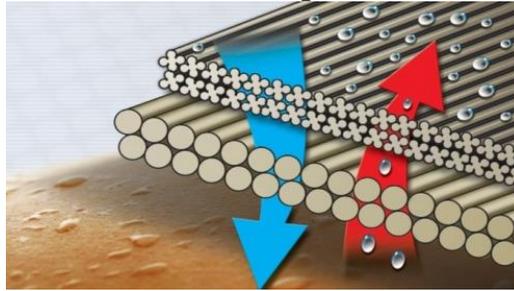
Tabela 1 - Alguns tipos de tecidos inteligentes e seus principais benefícios

Fios de Alta Tecnologia		
Nome e Fabricante	O que é	Usado em
AMNI BIOTECH Rhodia	Fio sintético que evita a multiplicação de bactérias e inibe a sudorese (higiênico)	Roupas para esportistas (camisetas e shorts), meias e leggings
ANTI-UV Rodhia	Fio Sintético que protege contra os raios ultravioleta (anticancerígeno)	Biquines, maios, tops de moda, praia e peças de linha sportwear
TACTEL AERO Dupont	Microfibra com isolante térmico e contra raios ultravioleta (anticancerígeno)	Moda praia, esportiva e casual
THERMODRY Track & Field	Microfibra com alta absorção de suor que evita a formação de odores (higiênico)	Moda praia, peças íntimas e esportivas
ACQUAMAX Track & Field	Tecido sintético que diminui o atrito na água dando mais agilidade para a natação	Vestuário de nadadores e peças de moda, como maiôs e sunquinis

Fonte: Adaptado de Gazeta do Povo (2013)

Absorção e evaporação do suor, conforto térmico com a preservação da temperatura corpórea em torno de 36°C, proteção contra raios UV, são itens a serem levados em consideração pelos usuários de tecidos inteligentes. Assim o transporte do calor do corpo para o ambiente e manutenção corpórea é característica primordial do tecido inteligente conforme Figura 5.

Figura 5 - Tecido inteligente em contato com a pele



Fonte: <http://noticias.uol.com.br/saude/ultimas-noticias/redacao/2012/10/23/tecidos-inteligentes-tambem-ajudam-em-casos-de-transpiracao-excessiva.htm> (2012)

Na Figura 5 exemplifica-se um tecido inteligente em contato com a pele, com a presença de microcanais que conduzem a transpiração para o lado externo do tecido, fazendo com que seque rapidamente.

3.1.3.2 Conceito de Fibras

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

O processo de transformação das fibras em fios chama-se fiação. Os fios diferem entre si dependendo do tamanho de suas fibras, que podem ser longas, como as fibras de seda, ou curtas, como por exemplo, as fibras de algodão ou lã. As fibras são classificadas conforme sua origem podendo ser natural ou não-natural, sendo as não naturais classificadas em sintéticas e artificiais.

a) Fibras naturais: provém da natureza e são classificadas de acordo com sua origem em vegetal, animal e mineral:

- Vegetal: são as fibras obtidas a partir de folhas (sisal, caroá), caules (malva, cânhamo) e sementes e frutos (algodão, coco).

- Animal: são as fibras obtidas a partir de pelos (lã) e secreções (seda).

- Mineral: exemplos seriam a Crisotila, a Crocidolita, a Fibra de basalto e amianto.

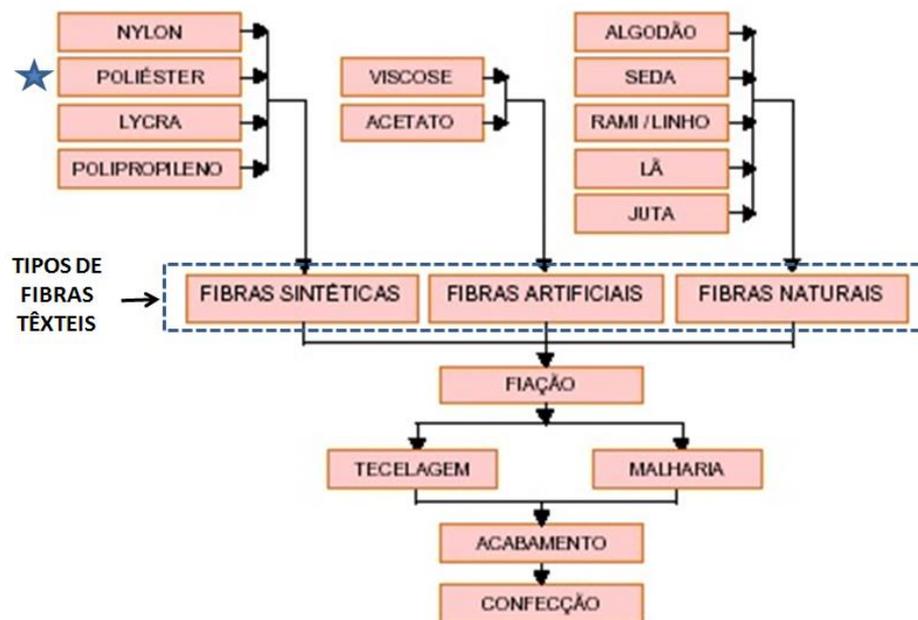
b) Fibras não-naturais: São fibras que não são retiradas prontas da natureza, sendo obtidas a partir de polímeros moldados em forma de filamento. As fibras não-naturais são classificadas em artificiais e sintéticas:

- Fibras artificiais: são produzidas pelo homem, tendo como matéria prima polímeros, sendo estes de origem celulósica ou protéica. Exemplo de fibras artificiais são a viscose e o acetato.

- Fibras sintéticas: trata-se também de fibras produzidas pelo homem porém usando como matéria prima produtos químicos da indústria petroquímica. Exemplo de fibras sintéticas são o poliéster , a poliamida , o acrílico , o polipropileno e o poliuretano elastomérico também conhecido como Elastano.

Após a fiação, os fios passam por um processo de tecelagem (formação de tecido plano) ou pelo processo de malharia (formação de malha), conforme Figura 6.

Figura 6 - Tipos de Fibras



Fonte: Adaptado Sinditec (2014)

Algumas fibras são denominadas por seus nomes comerciais:

Lycra - marca registrada pela empresa DuPont, referente ao polímero poliuretano elastomérico;

Nylon - marca registrada pela empresa DuPont, referente a Poliamida (PA);

Kevlar - marca registrada pela empresa DuPont, Poliamida de carbono ou Policarbamida.

3.1.3.3 Poliéster

Na tentativa do ser humano em criar e produzir materiais com características aproximadas às matérias-primas provenientes da natureza, surgem os materiais sintéticos e artificiais (ROMERO, 1995).

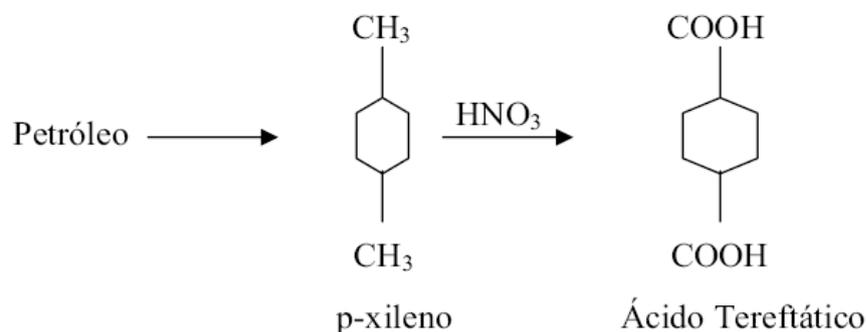
As fibras sintéticas apresentam uma grande aplicação no esporte, pois fibras naturais como, por exemplo, o algodão é extremamente absorvente se tornando pesadas. Os tecidos sintéticos mais utilizados em peças esportivas são o poliéster e a poliamida. Pelo fato da poliamida ser muito mais cara que o poliéster, este se tornou muito utilizado em esportes pela sua versatilidade e modernidade.

O poliéster é uma fibra artificial sintética, com ótima resistência, sendo obtida a partir de processos químicos, derivada do petróleo. Possui uma secagem rápida com baixo encolhimento.

3.1.3.3.1 Obtenção do Poliéster

O poliéster tem origem a partir do petróleo. O petróleo ao sofrer destilações fracionadas obtém como produto, além de outros, o para-xileno. A empresa Du-pont realiza uma oxidação do para-xileno utilizando para este procedimento o ácido nítrico, a uma baixa pressão e uma temperatura em torno de 220°C, tendo assim um rendimento em torno de 85% de ácido tereftálico, conforme Figura 7.

Figura 7 - Formação do Ácido Tereftálico

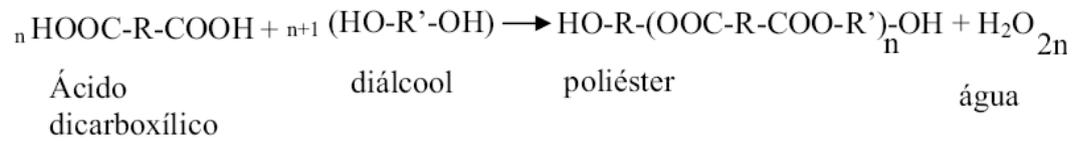


Fonte: Feitor (2006)

Com a formação do ácido tereftálico e a junção com um diálcool (dietileno glicol), ocorre a reação conhecida como poliesterificação, formando assim o poliéster Figura 8.

Figura 8 - Reação de Poliesterificação

Poliesterificação



Fonte: Feitor (2006)

A fibra têxtil do poliéster é obtida pela polimerização e pela posterior condensação, transformando assim o material em algo solidificado e transformado em fios, com diversas geometrias com a utilização de uma máquina extrusora (Figura 9).

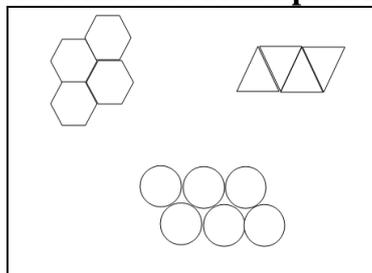
Figura 9 - Extrusão do Poliéster



Fonte: Pereira (2009)

Na extrusão o poliéster é aquecido até a temperatura de fusão, em torno de 260 °C, e o fundido transportado mediante bomba com velocidade constante e pressão elevada, através de pequenos orifícios da fieira de formatos variados conforme apresentado na Figura 10.

Figura 10 - Vista Frontal do Tipo de Orifício da Fieira para formação do fio



Fonte: Autora (2014)

Após a formação do fio, estes são devidamente enrolados em bobinas para utilização futura.

4 METODOLOGIA

4.1 MATERIAIS

Neste item serão apresentados os materiais, equipamentos e periféricos utilizados para o desenvolvimento deste trabalho. Foram utilizados:

- saquinhos do tipo "ziplock" previamente pesados, com etiquetas identificando o atleta voluntário e o tecido a ser pesado.

- Uma Balança Analítica Denver Instrument - APX 200.

- Micrômetro Mitutoyo com capacidade de 0 - 25mm, graduação de 0.01 mm, e precisão de $\pm 2\mu\text{m}$.

- Um conjunto de termopares TEMPer1K4 PC USB Termopar Tipo K, calibrados conforme apresentado no ANEXO A.

- Higrômetro com termômetro interno, modelo PD002, Marca Tomate.

- Esteira da marca Inbrasport, modelo Super ATL com velocidade máxima de 32 km/h.

- Esteira da Marca Movement Technology Brudden.

- Pinças cirúrgicas devidamente esterilizadas, luvas cirúrgicas, algodão e álcool 70% .

Para a realização dos testes foram utilizados os seguintes tecidos:

a) Malha de trama esportiva, 100% poliéster (confirmado pelo Departamento de Engenharia Têxtil da UEM com base na Norma ASTM-D276), sem cor . Tecido fornecido pela empresa Anderson Malhas, localizada na cidade de Nova Esperança/PR.

b) Malha com composição 100% poliéster (confirmado pelo Departamento de Engenharia Têxtil da UEM com base na Norma ASTM-D276), com aplicação de amaciante Aya Soft , 1% em peso, e 3% em peso do aditivo Aya Termic. Tecido fornecido pela empresa Aya Tecidos Inteligentes, localizada na cidade de São Paulo/SP:

Os tecidos foram recortados de forma retangular, de 11 x 19 cm², tendo uma espessura em média de 0,356mm, com desvio padrão médio de 0,0058mm (ANEXO B), valor este obtido com medição em vários pontos do tecido com o micrômetro.

4.2 Definição dos atletas que trabalharam as amostras

Inicialmente foi aplicado um questionário (ANEXO C) para uma amostragem dos atletas do Quarto Batalhão da Polícia Militar do Paraná e da Acorremar (Associação de

Corredores de Rua de Maringá). Foram entrevistados 60 atletas. O questionário contemplou perguntas sobre idade, peso, altura, etnia, modalidade de atividade física realizada, percentual de massa gorda e tecido mais utilizado durante a prática da atividade física. Após a aplicação do questionário foram selecionados 15 atletas sendo 7 do sexo feminino e 8 do sexo masculino, para a realização de testes experimentais.

Na Tabela (2) são apresentadas as características dos atletas voluntários para realização dos testes.

Tabela 2 - Atletas voluntários nos testes

MASCULINO					FEMININO				
Atleta	Idade	Altura (m)	Peso (kg)	Etnia	Atleta	Idade	Altura (m)	Peso (kg)	Etnia
1 Henrique	28	1,73	62	Branca	1 Franciele	29	1,70	75	Branca
2 Eraldo	30	1,75	68	Pardo	2 Denise	28	1,62	52	Branca
3 Paulo	24	1,71	72	Branca	3 Lilian	29	1,62	55	Parda
4 Mateus	24	1,77	83	Branca	4 Luciana	30	1,63	58	Branca
5 Márcio	30	1,76	77	Branca	5 Shirley	30	1,62	55	Branca
6 Everaldo	28	1,80	78	Branca	6 Luana	26	1,63	63	Branca
7 Ives	29	1,77	93	Branca	7 Fátima	54	1,60	51	Branca
8 Lucas	27	1,84	81	Pardo					

Dos 15 atletas avaliados foram selecionadas as melhores respostas dos testes em cada um dos conjuntos definidos (masculino e feminino). Foram escolhidos quatro atletas do sexo masculino e cinco atletas do sexo feminino. Os demais testes, em sua maioria, não apresentaram total confiabilidade nos dados coletados, uma vez que, a sala de realização dos testes não era climatizada e ocorreram variações muito bruscas de temperatura e umidade do ambiente devido a dias muito quentes e secos não sendo possível um controle efetivo da temperatura local e portanto uma comparação entre os testes.

Outro possível fator que culminou na não confiabilidade de dados foi quanto à possibilidade de eventual erro de resposta dos termopares em alguns instantes do teste onde pode ter ocorrido do termopar “soltar” de seu ponto de fixação, devido a movimentação do atleta e a pouca espessura do tecido.

4.3 Amostragem

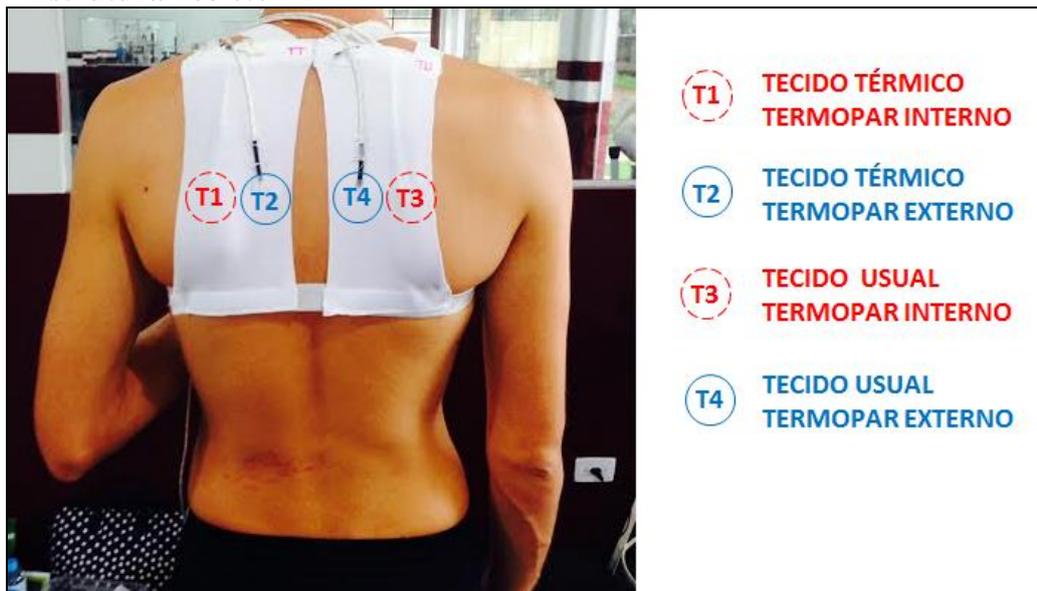
Utilizou-se dois tecidos simultaneamente, colocados junto à pele do atleta, um do lado direito e outro do lado esquerdo das costas do voluntário Figura 11.

Selecionou-se o tecido mais utilizado pelos atletas, com informação obtida do questionário e comparado com o tecido térmico, tecido este, menos utilizado pelos atletas, em função do seu alto custo.

4.4 Preparação da amostra

As amostras foram cortadas e após foram unidas a uma estrutura de elástico, formando um colete conforme se apresenta na Figura 11.

Figura 11 - Estrutura "colete"



Fonte: Arquivo Próprio (2014)

Realizou-se uma pesagem dos tecidos no laboratório de Química da UEM, antes da realização dos testes e uma pesagem após a realização dos testes. Também foi realizada pesagem da etiqueta de identificação dos tecidos utilizados no teste (uma vez que se trata de um teste de alta precisão) e dos saquinhos "ziplock", onde os tecidos foram armazenados para evitar qualquer contato com o ambiente, antes da nova pesagem.

Para evitar qualquer tipo de interferência na realização do teste, o atleta foi previamente higienizado na região onde o colete foi colocado, sendo feita uma remoção de

cremes ou qualquer tipo de oleosidade remanescente na região de testes. Para isso foram utilizadas pinças cirúrgicas devidamente esterilizadas, luvas cirúrgicas, algodão e álcool 70%.

Após o preparo do atleta, foi inserido o colete junto com os tecidos na região superior das costas, de acordo com a Figura 11.

4.5 ANÁLISE DA ESTRUTURA DO TECIDO

Para conhecer a estrutura dos tecidos foi utilizado o microscópio eletrônico Shimadzu SuperScan SS-550 do Complexo de Centrais de Apoio a Pesquisa (COMCAP/UEM). A ampliação da imagem do tecido térmico e usual permite um estudo da contextura da malha e geometria dos fios, requisitos auxiliares no estudo da condutividade térmica. Para esta análise foi utilizado o método MEV, que permite a ampliação da superfície dos tecidos possibilitando uma visualização com aparência tridimensional dos fios que compõe o tecido.

Foi também utilizado o microscópio óptico Axioskop2 MAT da Zeiss do Laboratório de Materiais (LABMAT/UEM) para auxiliar na visualização da contextura das malhas pelo fato de que o microscópio óptico permite a visualização do tecido umedecido, simulando uma situação do tecido com o suor.

4.6 Preparação do Teste

O atleta foi previamente alertado para evitar atividades estressantes e em caso de qualquer anormalidade no dia anterior, que fosse solicitado o cancelamento do teste. Isso ocorreu pelo fato de que qualquer anormalidade como ansiedade ou estresse excessivo pode alterar a taxa de transpiração.

Antes do início dos testes os voluntários que não possuíam um teste de esforço máximo foram submetidos a este, junto a um cardiologista, para garantir a integridade física durante a realização dos testes. Os voluntários que já apresentavam testes de esforço máximo realizado pela Sportmed de Maringá pelo Cardiologista, realizados em um período menor que um ano, não precisaram repetir o exame.

4.7 Procedimento Experimental

Os testes experimentais foram realizados no Laboratório de Fisiologia de Esforço (LABFISE), localizado no Departamento de Educação Física da Universidade Estadual de Maringá (UEM) e na Academia da UEM, localizada também na própria universidade.

Após os tecidos terem sido colocados, dois a dois, nas costas de cada voluntário, mantidos por um elástico, em forma de um colete, de forma a evitar qualquer mobilidade do tecido, iniciou-se o teste de esforço (corrida sobre a esteira).

Os voluntários realizaram os testes de forma individual para evitar qualquer tipo de constrangimento ou interferência. Todos os resultados foram entregues aos participantes ao final da pesquisa.

Com os termopares conectados a um notebook, realizou-se a medição de temperatura nos voluntários nos pontos 1 e 3, localizados internamente ao tecido (contato direto com a pele), e nos pontos 2 e 4, sendo pontos externos, em contato com o ambiente externo (Figura 11). Inicialmente foi realizada a medição nos 4 pontos antes do atleta iniciar os testes. Depois foi realizada a medição a cada 30 segundos com a utilização de um gravador para auxiliar as medidas.

Durante o tempo de 20 minutos (tempo este pré-determinado pelo LABFISE - Laboratório de Fisiologia de Esforço) foram monitoradas as temperaturas nos 4 pontos, a cada 30 segundos. Após o término do teste os tecidos foram rapidamente retirados e colocados separadamente em saquinhos e transferidos para a caixa térmica.

A caixa térmica foi encaminhada para o Departamento de Química da UEM (Laboratório de Materiais e Sensores) para a realização de novas pesagens do conjunto tecidos, etiqueta e ziplock, após a realização dos testes.

4.7.1 Simplificações do Modelo Proposto

Para a resolução do problema apresentado, anteriormente ao seu desenvolvimento, são explicitadas algumas considerações utilizadas no trabalho, tais como:

- Pelo fato do tecido e a pele serem extensos considera-se transferência de calor apenas na direção x , ou seja, unidimensional;
- O volume de controle (sistema) considerado é a região do tecido sendo as fronteiras a pele e o ambiente;

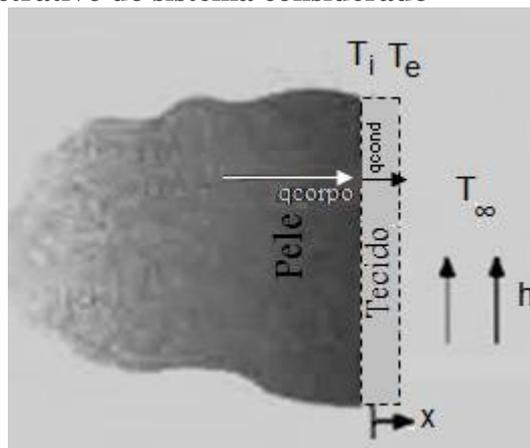
- Considera-se que o calor liberado pela pele para o tecido é apenas o calor que sai da pele. De forma simplificada de acordo com a norma NBR 6401/1980 o calor liberado por uma pessoa adulta em um trabalho moderadamente pesado é de 252 kcal/h, sendo este valor considerado nos cálculos como valor liberado pela pele, de forma proporcional para a região do tecido;

- Conforme Figura 11, entre os pontos 1 e 2 (medida interna e externa respectivamente), para o tecido térmico, e entre os pontos 3 e 4 (medida interna e externa respectivamente), para o tecido usual, considera-se apenas transferência de calor por condução, sendo de direção unidimensional, sem geração de calor e em regime transiente;

- As superfícies dos tecidos testes estão submetidas ao processo de transferência de calor por convecção;

Na Figura 12 apresenta-se uma ilustração do volume de controle considerado.

Figura 12 - Esquema ilustrativo do sistema considerado



Fonte: Arquivo Próprio (2014)

4.7.2 Balanço de Energia no Tecido

4.7.2.1 Problema Proposto

O problema de transferência de calor no interior do tecido sob condições transientes na ausência de geração de calor interna é uma equação diferencial parcial (EDP), ou seja, uma equação que contém derivadas parciais. Para o modelo matemático considerado, a conservação da energia se apresenta sob a forma da Equação (6), 2º Lei de Fourier para transferência de calor em regime transiente:

$$\frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (6)$$

Onde α é a difusividade térmica, parâmetro de velocidade com que o calor se difunde (m^2/s), T é a temperatura ($^{\circ}\text{C}$), t é o tempo (s) e x são as posições em coordenadas cartesianas usuais. A difusividade térmica é calculada de acordo com a Equação (8):

$$\alpha = \frac{\text{calor conduzido}}{\text{calor armazenado}} \quad (7)$$

$$\alpha = \frac{k_T}{\rho_T \cdot C_{PT}} \quad (8)$$

Onde k_T é a condutividade térmica do tecido ($\text{W}/\text{m.K}$), ρ_T a densidade do tecido (kg/m^3) e C_{PT} o calor específico do tecido ($\text{J}/\text{Kg.K}$). Os valores considerados para estas propriedades foi de acordo com Baxter (1945).

O método numérico das diferenças finitas é usado como uma abordagem alternativa para obter a aproximação da solução de uma equação diferencial parcial. A ideia básica desse método é transformar a resolução de uma equação diferencial em um sistema de equações algébricas, substituindo as derivadas por diferenças. (RUGGIERO; LOPES, 1996). Foi utilizado para isso o software MATLAB[®].

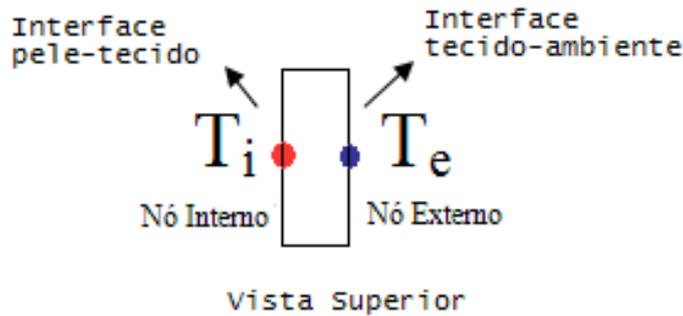
O tecido que apresenta uma melhor transferência de suor² para o ambiente é o que apresenta um melhor conforto térmico ao atleta.

4.7.2.1.1 Discretização das equações diferenciais do modelo matemático

A malha para utilização do método das diferenças finitas é representada de maneira satisfatória pela própria espessura do tecido, sendo as fronteiras a pele e o ambiente externo para cada tecido. Na Figura 13 apresenta-se os nós considerados ao longo da espessura do tecido.

²Melhor transferência de SUOR, a princípio, significa que na pesagem ele estará mais leve.

Figura 13 - Nós considerados



Fonte: Arquivo Próprio (2014)

Na Equação (9) apresenta-se um modelo do calor como sendo função do tempo, na interface pele-tecido.

$$q_{corpo} + q_{conde \rightarrow i} = \frac{\rho_T \cdot A \cdot C_{PT} \cdot \Delta x (T_i^{t+1} - T_i^t)}{\Delta t} \quad (9)$$

Sendo q_{corpo} o calor liberado pelo corpo humano (J/s), $q_{conde \rightarrow i}$ o calor transferido por condução do ponto externo ao ponto interno (J/s), ρ_T a densidade do tecido (kg/m^3), C_{PT} o calor específico do tecido (J/Kg.K), Δx a espessura do tecido (m), T_i^{t+1} a temperatura no ponto interno ao tecido no tempo “t+1” (°C), T_i^t a temperatura no ponto interno ao tecido no tempo “t” (°C) e Δt o intervalo de tempo (s). O segundo termo da Equação (9) é definido por:

$$q_{conde \rightarrow i} = \frac{k_T \cdot A \cdot (T_e^t - T_i^t)}{\Delta x} \quad (10)$$

Sendo k_T a condutividade térmica do tecido (W/m.K), A sendo a área do tecido perpendicular ao fluxo de calor (m^2), T_e^t a temperatura externa ao tecido no tempo t (°C), T_i^t a temperatura interna ao tecido no tempo t.

Substituindo a Equação (10) na Equação (9), obtém-se a Equação (11):

$$q_{corpo} + \frac{k_T \cdot A \cdot (T_e^t - T_i^t)}{\Delta x} = \frac{\rho_T \cdot A \cdot C_{PT} \cdot \Delta x (T_i^{t+1} - T_i^t)}{\Delta t} \quad (11)$$

Isolando o termo T_i^{t+1} da Equação (11) tem-se a Equação (12).

$$T_i^{t+1} = \frac{T_e^t \cdot \Delta t \cdot \alpha_T}{\Delta x^2} + \frac{q_{corpo} \cdot \Delta t}{\rho_T \cdot A \cdot C_{PT} \cdot \Delta x} + T_i^t \left(1 - \frac{\Delta t \cdot \alpha_T}{\Delta x^2}\right) \quad (12)$$

O número adimensional de Fourier é dado pela Equação (13):

$$Fo = \frac{\Delta t \cdot \alpha_T}{\Delta x^2} \quad (13)$$

Reescrevendo a Equação (12), tem-se:

$$T_i^{t+1} = \frac{T_e^t \cdot \Delta t \cdot \alpha_T}{\Delta x^2} + \frac{q_{compo} \cdot \Delta t}{\rho_T \cdot A \cdot C_{pT} \cdot \Delta x} + T_i^t (1 - Fo) \quad (14)$$

Na Equação (15) apresenta-se um modelo da transferência de calor, de acordo com o método das diferenças finitas, como sendo função do tempo, na interface tecido-ambiente.

$$q_{conv} + q_{cond_{i \rightarrow e}} = \frac{\rho_T \cdot C_{pT} \cdot \Delta x \cdot A (T_e^{t+1} - T_e^t)}{\Delta t} \quad (15)$$

O termo de convecção na Equação (15) é calculado pela Equação (16).

$$q_{conv} = h \cdot A \cdot (T_{ar} - T_e^t) \quad (16)$$

O termo de condução na Equação (15) é calculado pela Equação (17).

$$q_{cond_{i \rightarrow e}} = \frac{k_T \cdot A \cdot (T_i^t - T_e^t)}{\Delta x} \quad (17)$$

Substituindo as Equações (16) e (17) na Equação (15) tem-se a Equação (18):

$$T_e^{t+1} = T_e^t \left(1 - Fo - \frac{h \Delta t}{\rho_T \cdot C_{pT} \Delta x} \right) + T_i^t \cdot Fo + \frac{h \Delta t \cdot T_{ar}}{\rho_T \cdot C_{pT} \Delta x} \quad (18)$$

Sendo o número adimensional de Biot a razão entre a resistência condutiva (R_{cond} em K/W – Equação (20)) e resistência convectiva (R_{conv} em K/W – Equação (21)) dada pela Equação (19):

$$Bi = \frac{R_{cond}}{R_{conv}} \quad (19)$$

$$R_{cond} = \frac{\Delta x}{k_T \cdot A} \quad (20)$$

$$R_{conv} = \frac{1}{h \cdot A} \quad (21)$$

Substituindo as Equações (20) e (21) na Equação (19), obtém-se a Equação (22):

$$Bi = \frac{h \cdot \Delta x}{k_T} \quad (22)$$

Substituindo a Equação (22) na Equação (18), obtém-se a Equação (23) :

$$T_e^{t+1} = T_e^t \cdot (1 - Fo - Fo \cdot Bi) + T_i^t \cdot Fo + T_{ar} \cdot Bi \cdot Fo \quad (23)$$

O coeficiente convectivo necessário para o cálculo da troca térmica por convecção entre os tecidos utilizados no teste e o ar foi calculado pela Equação (24) sendo tal equação apresentada em Missenard, 1973.

$$h = 8,7 \cdot v^{0,6} \quad (24)$$

Sendo v a velocidade de corrida do atleta na esteira em m/s e h o coeficiente convectivo em $W/(m^2 \cdot K)$.

O modelo proposto desenvolvido apresenta uma relação linear entre a temperatura e a condutividade térmica, conforme as Equações (12) e (18). Entretanto, com a realização dos testes experimentais, foi observado que o perfil de temperatura ao longo do tempo apresenta um perfil exponencial (Equação (24)). Desta forma, um ajuste se fez necessário.

$$k_T = k_0 \cdot e^{(-A \cdot \Delta x / T_m)} \quad (25)$$

Sendo definido k_T a condutividade térmica aproximada para o tecido através do modelo, T_m a média das temperaturas interna e externa em °C, k_0 o parâmetro relacionado à condutividade térmica do tecido, Δx a espessura do tecido, A' o parâmetro de ajuste para correção (°C/m).

4.7.2.2 Rotina Computacional Proposta

No software MATLAB, foi proposto um modelo computacional para análise da condução de calor do tecido, sendo este considerado como parede plana em regime transiente exposta à convecção. Obteve-se um conjunto de equações algébricas pela discretização das equações da formulação matemática do problema físico.

Para dimensionar a diferença entre o modelo e os valores experimentais medidos foi definida a função erro percentual conforme Equação (26).

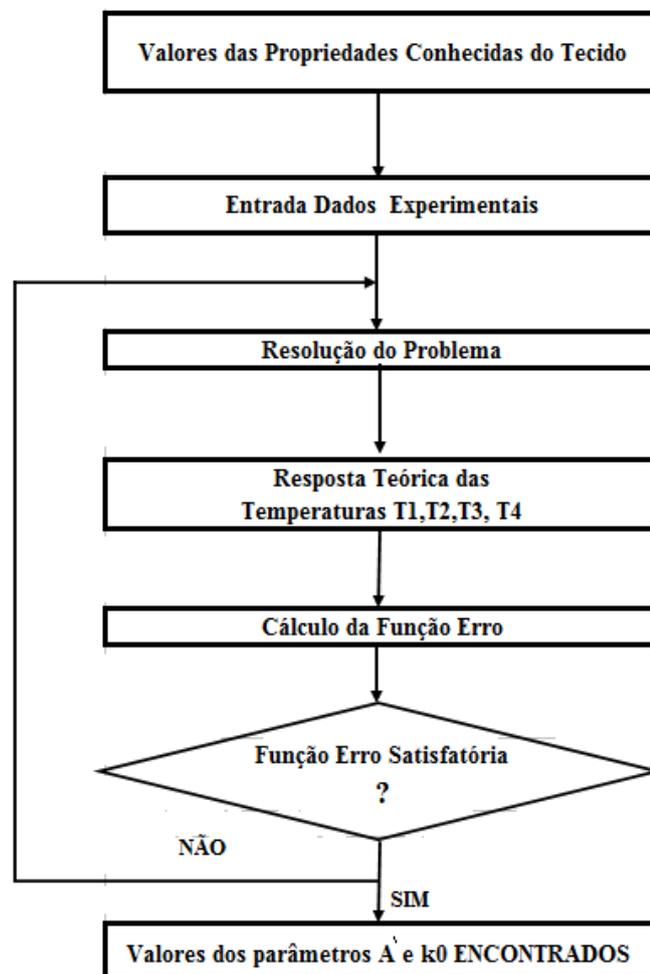
$$E(\%) = \left(\frac{\sum(T_i - T_{ie})}{\sum T_i} + \frac{\sum(T_e - T_{ee})}{\sum T_e} \right) \cdot 100\% \quad (26)$$

Sendo T_i a temperatura interna ao tecido (°C), T_e a temperatura externa ao tecido (°C), T_{ie} a temperatura interna experimental (°C), T_{ee} a temperatura externa experimental (°C), $E(\%)$ a função erro (%). A definição de erro percentual experimental é o quociente entre a diferença dos valores teóricos e experimental pelo somatório dos valores teóricos. Por isso na Equação (26) foi feita uma junção do erro experimental de T_i com o erro experimental percentual de T_e .

A partir de uma estimativa inicial para os parâmetros k_0 e A' (Equação (24)) do tecido usual e do tecido térmico, obteve-se uma temperatura teórica de acordo com o modelo, esta temperatura é comparada com a temperatura experimental e calculada a função erro (Equação (26)). E assim é feita uma nova iteração até que se obtenha uma função erro satisfatória, tendendo a zero.

Na Figura 14 mostra-se um fluxograma simplificado da rotina computacional empregada neste trabalho para estimar os parâmetros A' e k_0 e consequentemente as condutividades térmicas do tecido térmico e do tecido usual.

Figura 14 - Rotina Computacional Simplificada



Fonte: Elaboração pela autora (2014)

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram realizados no total 15 testes nos quais fez-se a comparação entre os tecidos usuais e térmicos. A seguir serão apresentados 9 testes de 4 homens e 5 mulheres com resultados satisfatórios. Assim comparados o perfil de temperatura do modelo com valores experimentais obtidos. Desta forma o erro pode ser analisado, os parâmetros comparados e a condutividade térmica estimada.

5.1 Transferência de Calor

Antes da realização das simulações foi testada a convergência (Equação (27)) e estabilidade do método numérico utilizado. Segundo INCROPERA (2008), um método numérico é convergente e estável em uma equação explícita utilizando o método das diferenças finitas, quando o coeficiente associado ao nodo de interesse no instante anterior for maior ou igual a zero.

$$C_i = 1 - Fo \geq 0 \quad (27)$$

Onde Fo é o número adimensional de Fourier, Equação (28).

$$Fo = \frac{\alpha_T \cdot \Delta t}{(\Delta x)^2} \quad (28)$$

Sendo α_T a difusividade do tecido, Δt é o intervalo de tempo de 30 segundos que foram realizadas as medições.

Para os nós externos a estabilidade é assegurada pela Equação (29):

$$C_e = (1 - Fo - Bi \cdot Fo) \geq 0 \quad (29)$$

Sendo Bi o número adimensional de Biot (Equação (19)).

Assim foram calculados os números adimensionais de Biot e Fourier conforme apresentados na Tabela (3).

Tabela 3 - Cálculo dos números adimensionais de Biot e Fourier e difusividade térmica para os atletas

ATLETAS	Tecido Térmico			Tecido Usual		
	Fo	Bi	α_T (m ² /s).10 ¹⁰	Fo	Bi	α_T (m ² /s).10 ¹⁰
Lilian	0,0997	4,9838	11,467	0,0870	6,2297	9,175
Luciana	0,1227	5,6867	11,945	0,1049	7,3572	9,233
Shirley	0,0996	6,4674	9,695	0,1109	7,7444	8,771
Luana	0,0624	8,7314	9,900	0,0773	7,6876	8,156
Fátima	0,0722	8,1747	9,669	0,0948	7,3512	9,373
Paulo	0,0898	7,5174	10,331	0,0788	9,3458	8,310
Lucas	0,1000	8,5913	9,040	0,0796	10,0239	7,830
Márcio	0,1020	6,0139	12,936	0,0644	9,5221	8,156
Ives	0,1039	6,4979	11,952	0,1021	8,4112	8,310
Valores médios	0,0947	6,96272	10,770	0,08887	8,1859	8,590

O número de Biot tem um papel fundamental nos problemas de difusão que envolve efeitos convectivos nas fronteiras (LIMA; SILVA; LIMA, 2003). Para baixos valores de Biot ocorre uma menor resistência condutiva, ou seja, a resistência interna do tecido a transferência de calor por condução tende a ser menor, indicando valores maiores para a condutividade térmica do tecido (Equações (19) e (20)). Assim na Tabela (3) podem-se verificar menores valores para o número de Biot para os tecidos térmicos, tendo como consequência maiores valores de condutividade térmica para este tipo de tecido.

O número adimensional de Fourier é um número que auxilia a caracterização da transferência de calor (PUPEIKIS, 2012). O número de Fourier é uma medida da razão entre a taxa de condução e a taxa de retenção de calor, num elemento de volume. Por isso, quanto maior o número de Fourier, mais profunda é a penetração do calor no meio durante um certo intervalo de tempo. Os tecidos térmicos apresentaram uma penetração maior de calor em seu interior de acordo com a Tabela (3).

Os valores de difusividade térmica, conforme Tabela (3), indicam como o calor se difunde através do tecido. De acordo com Incropera (2008), materiais com alto valor de difusividade térmica respondem rapidamente a mudanças térmicas em seu ambiente, enquanto materiais de pequenos valores de α respondem mais lentamente, demorando a alcançar um

novo estado de equilíbrio. Os tecidos térmicos de acordo com a Tabela (3), apresentaram maiores valores de difusividade térmica em relação ao tecido usual, apresentando uma maior facilidade para difusão do calor em seu interior.

Nas Figura 15 a Figura 32 são apresentados os resultados obtidos nos teste com os tecidos do tipo térmicos e usuais avaliando-se as temperaturas obtidas nos pontos 1 e 3 (entre pele e tecido) e nos pontos 2 e 4 (entre tecido e ambiente), sendo os valores experimentais mostrados no ANEXO D.

Figura 15 - Tecido Usual: comparação entre o perfil de temperatura experimental e o modelo proposto

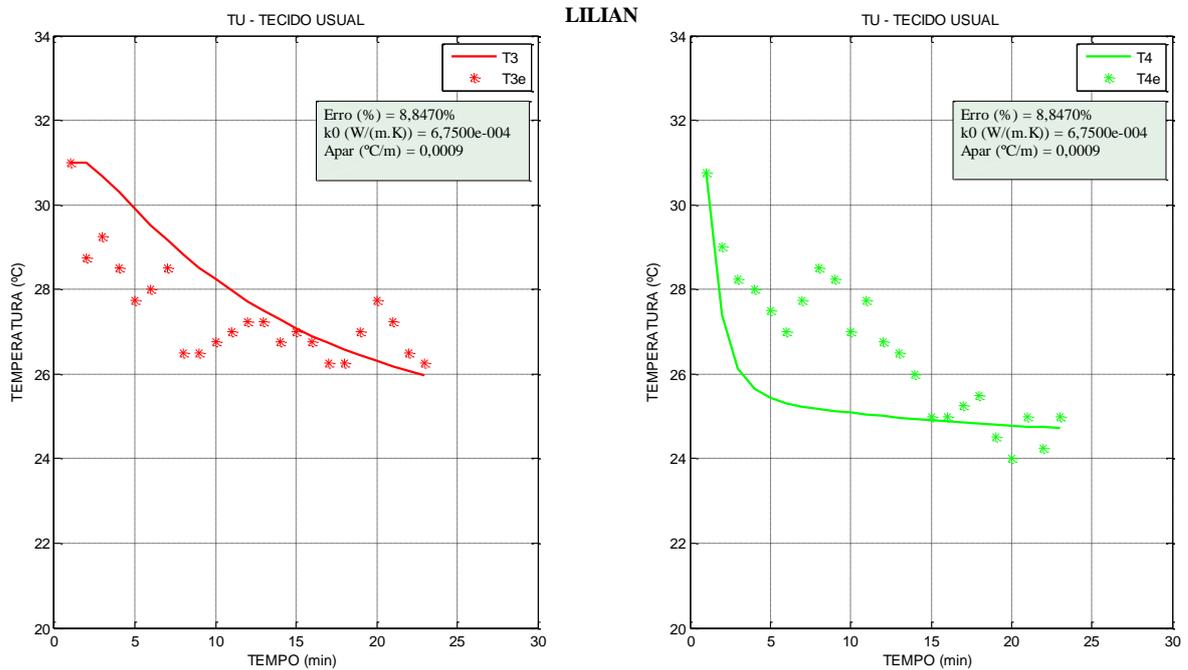
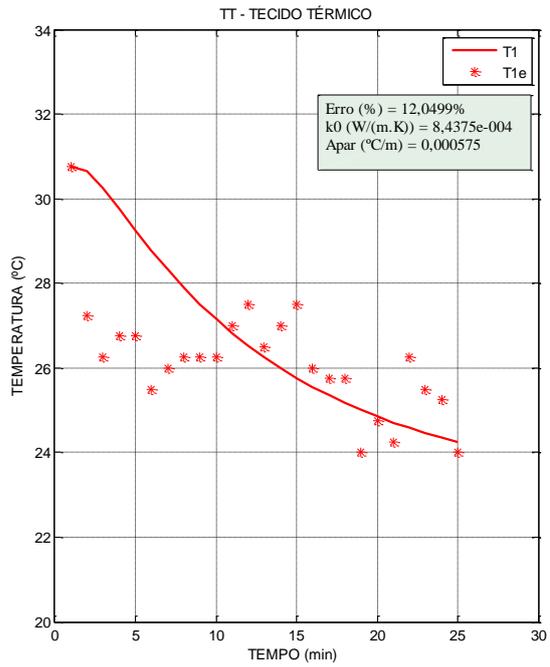


Figura 16 - Tecido Térmico: comparação entre o perfil de temperatura experimental e o modelo proposto



LILIAN

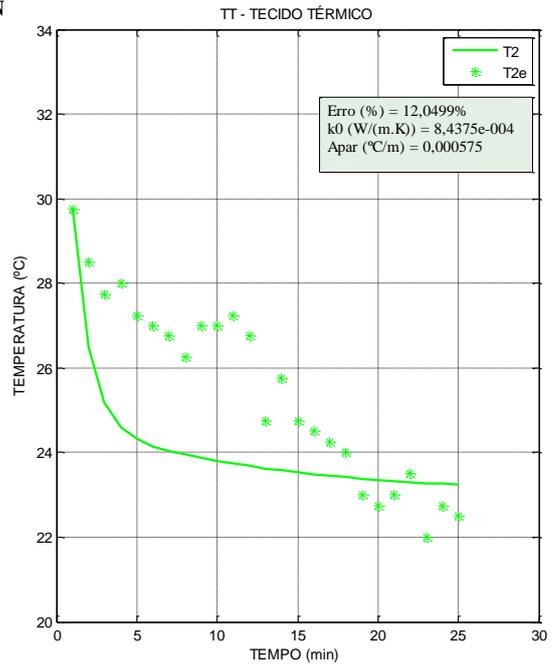
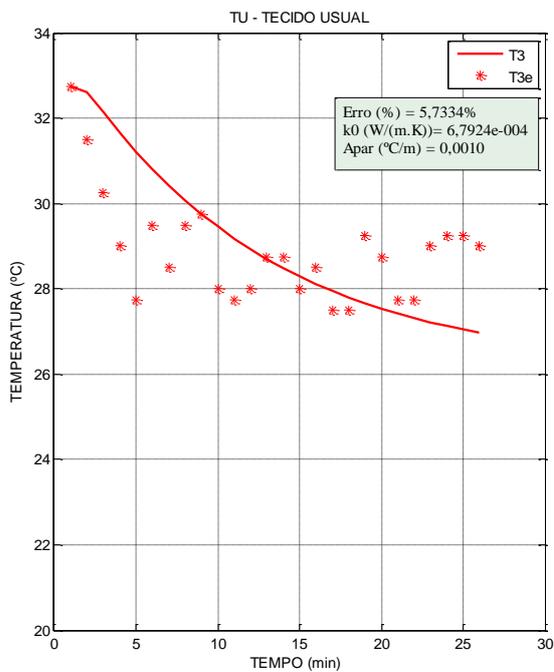


Figura 17 - Tecido Usual: comparação entre o perfil de temperatura experimental e o modelo proposto



LUCIANA

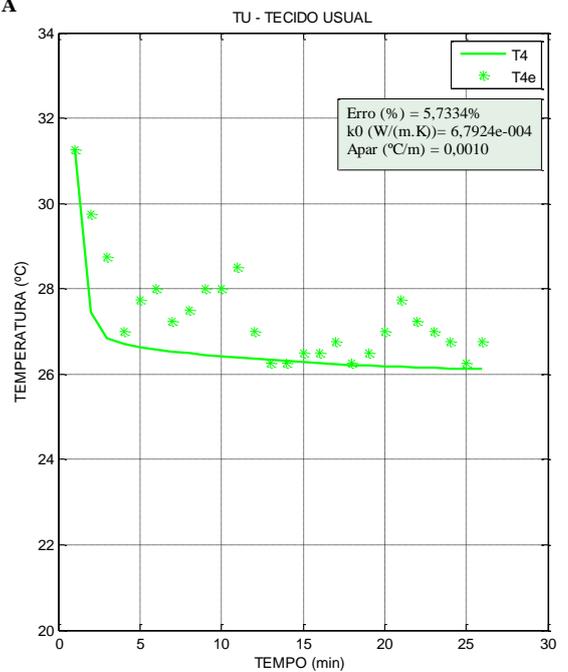
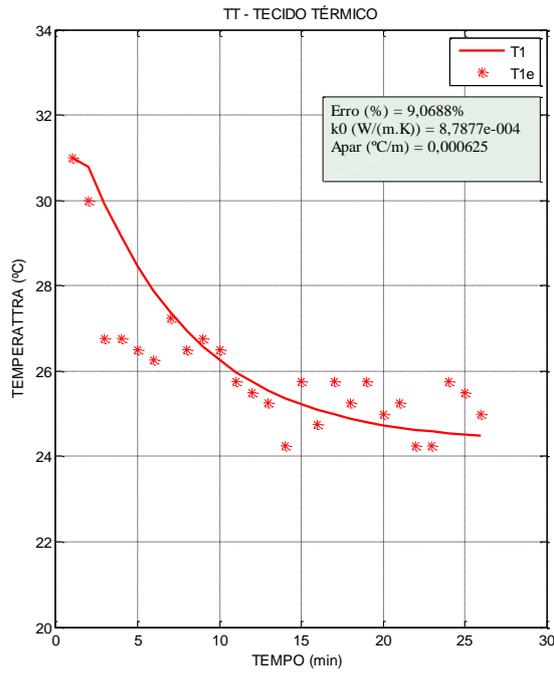


Figura 18 - Tecido Térmico: comparação entre o perfil de temperatura experimental e o modelo proposto



LUCIANA

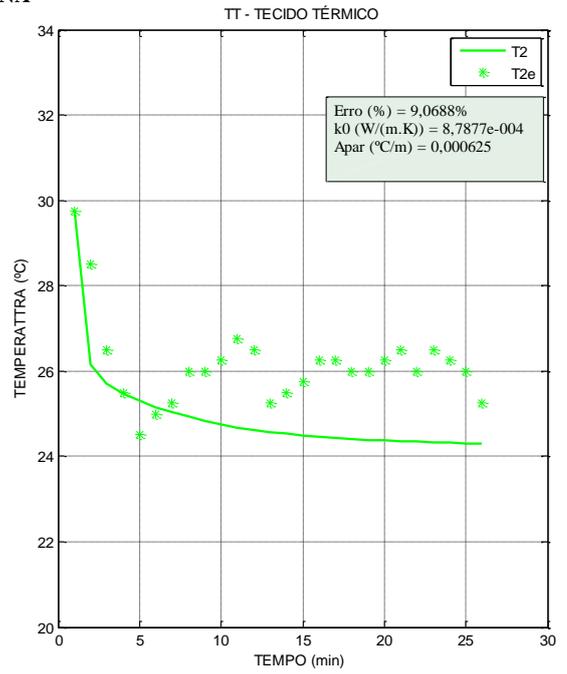
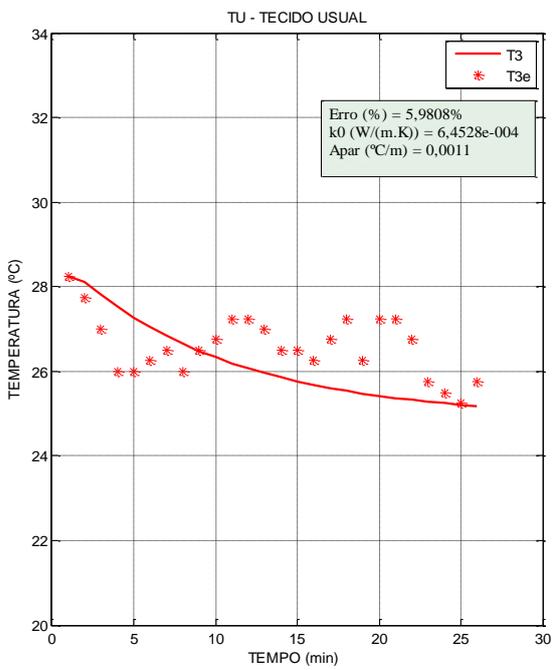


Figura 19 - Tecido Usual: comparação entre o perfil de temperatura experimental e o modelo proposto



SHIRLEY

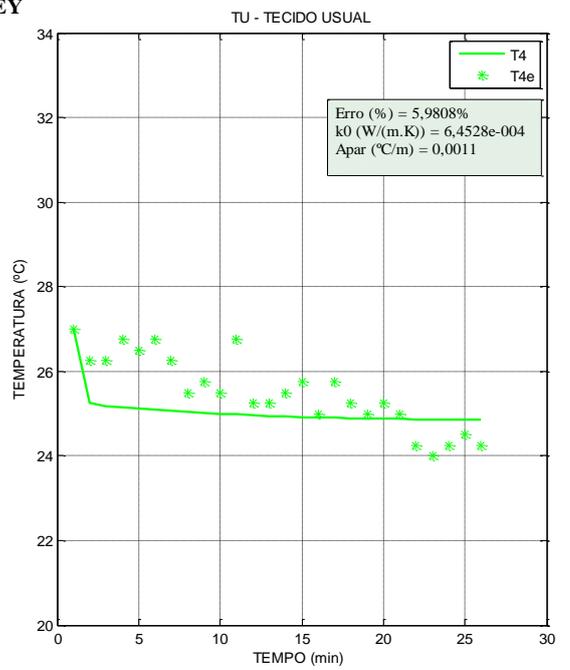


Figura 20 - Tecido Térmico: comparação entre o perfil de temperatura experimental e o modelo proposto

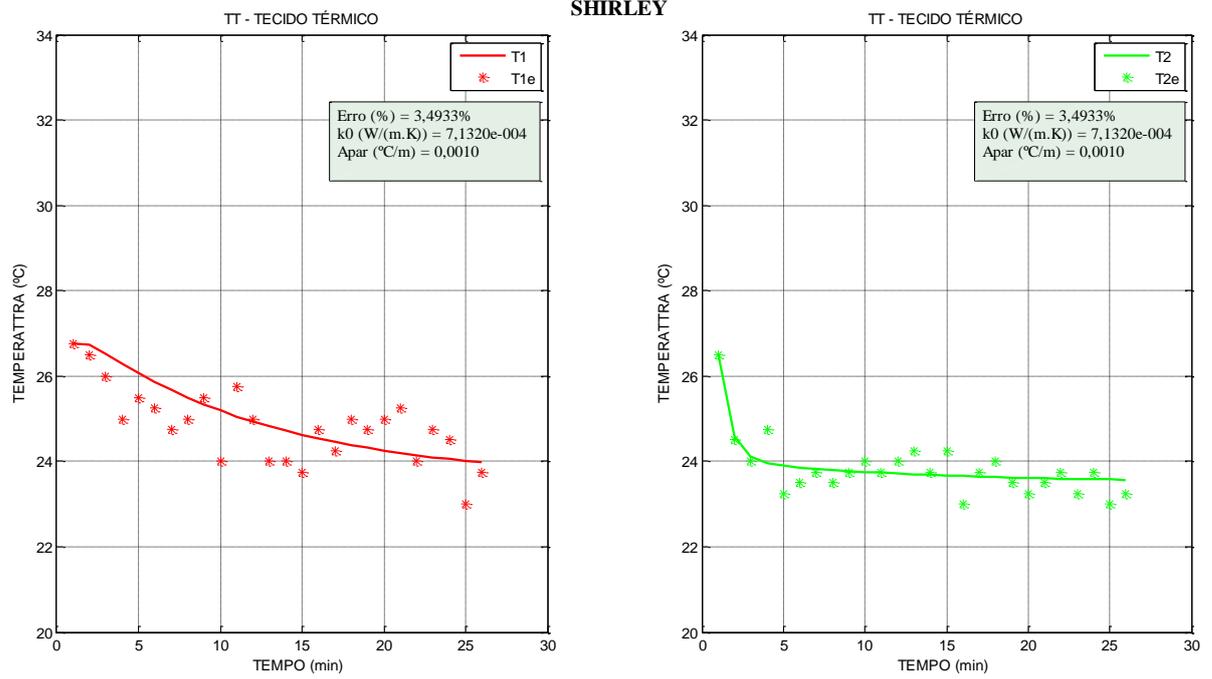


Figura 21 - Tecido Usual: comparação entre o perfil de temperatura experimental e o modelo proposto

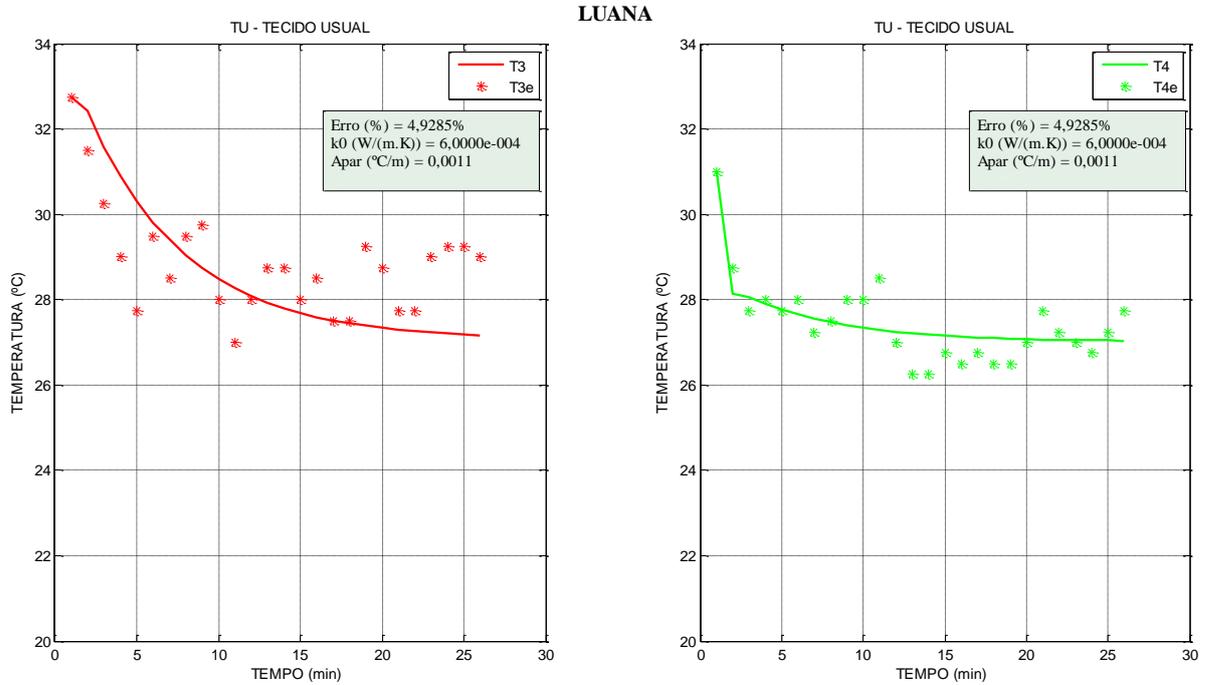
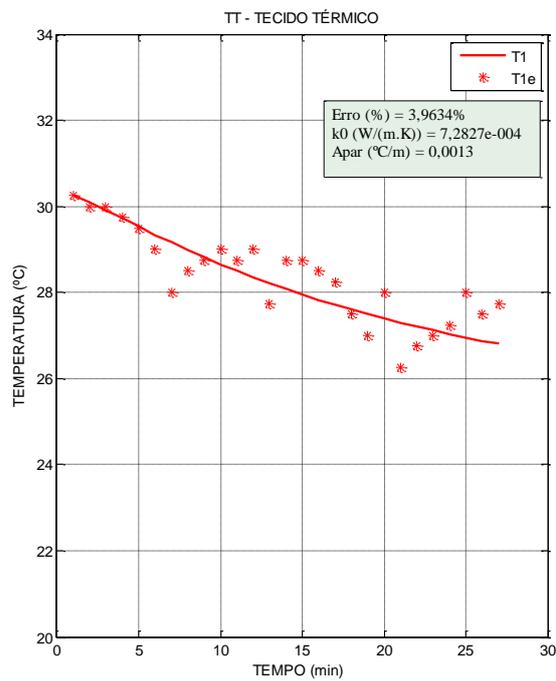


Figura 22 - Tecido Térmico: comparação entre o perfil de temperatura experimental e o modelo proposto



LUANA

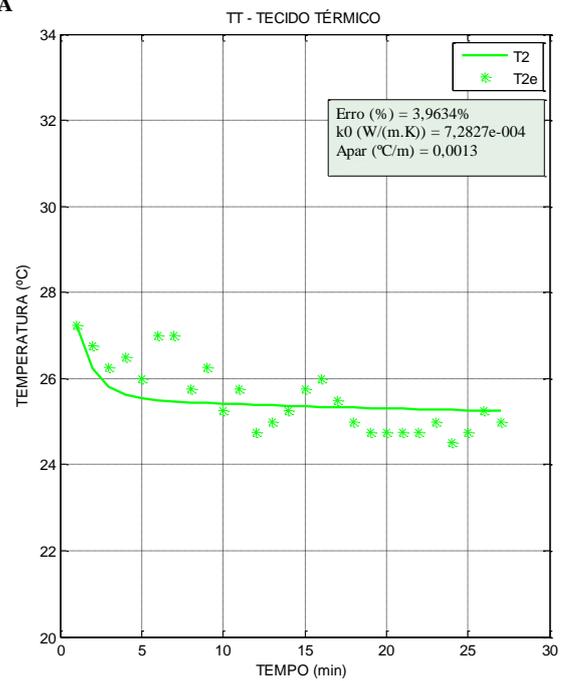
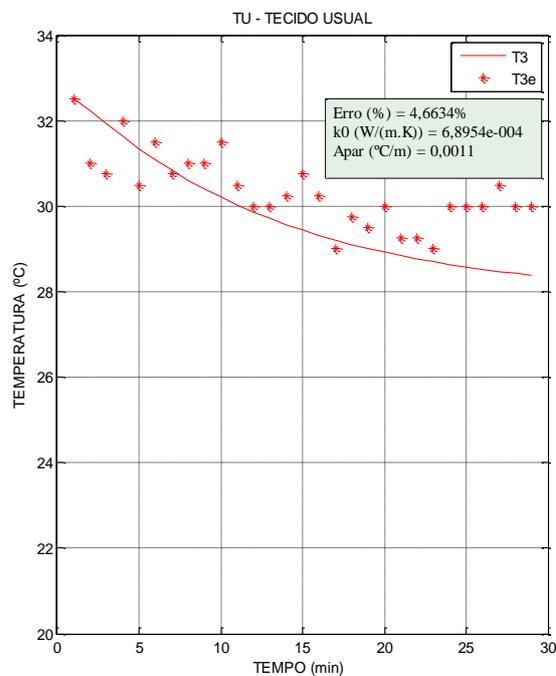


Figura 23 - Tecido Usual: comparação entre o perfil de temperatura experimental e o modelo proposto



FÁTIMA

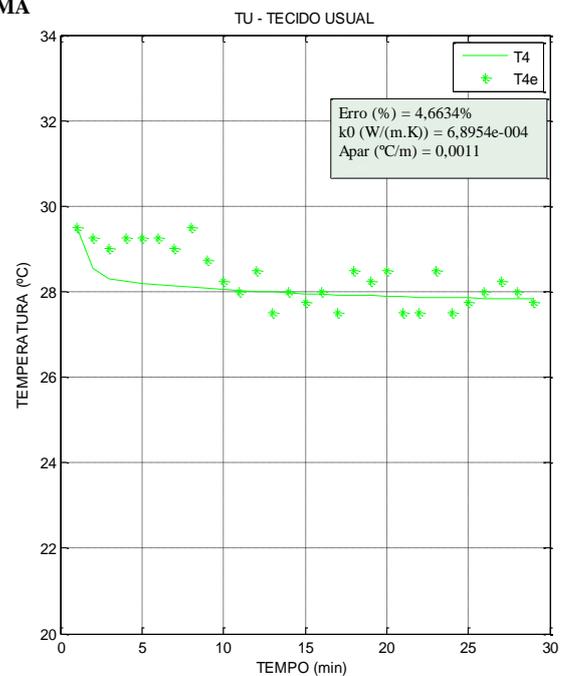


Figura 24 - Tecido Térmico: comparação entre o perfil de temperatura experimental e o modelo proposto

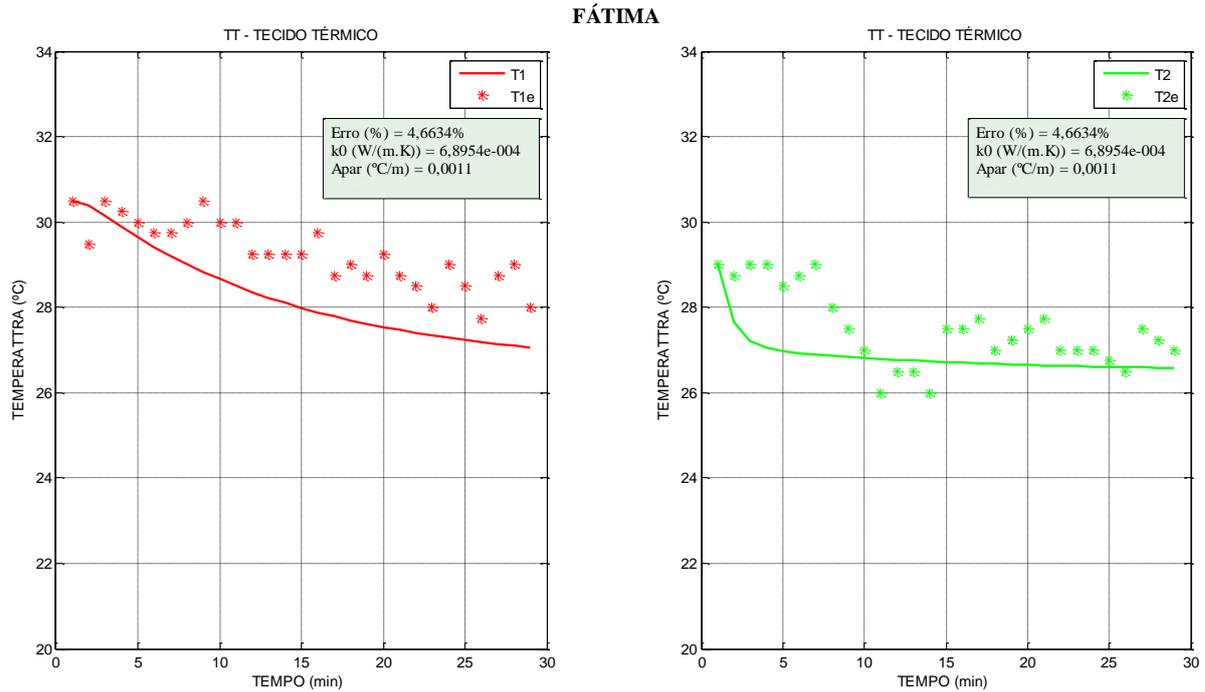


Figura 25 - Tecido Usual: comparação entre o perfil de temperatura experimental e o modelo proposto

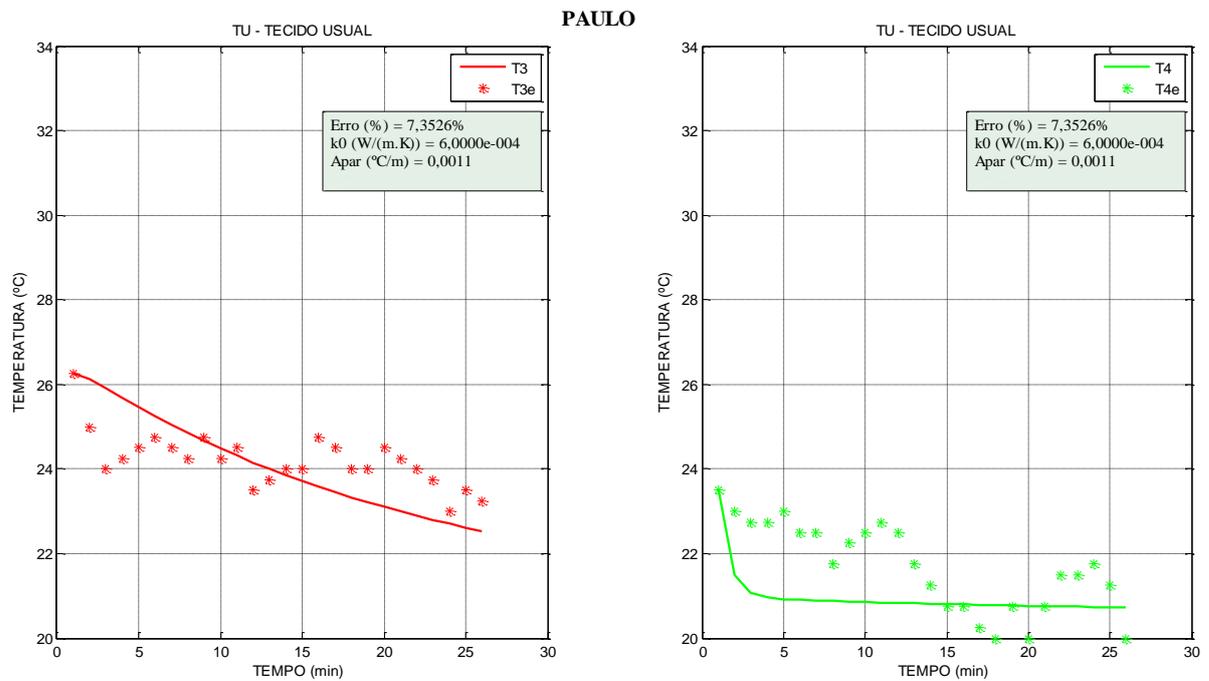


Figura 26 - Tecido Térmico: comparação entre o perfil de temperatura experimental e o modelo proposto

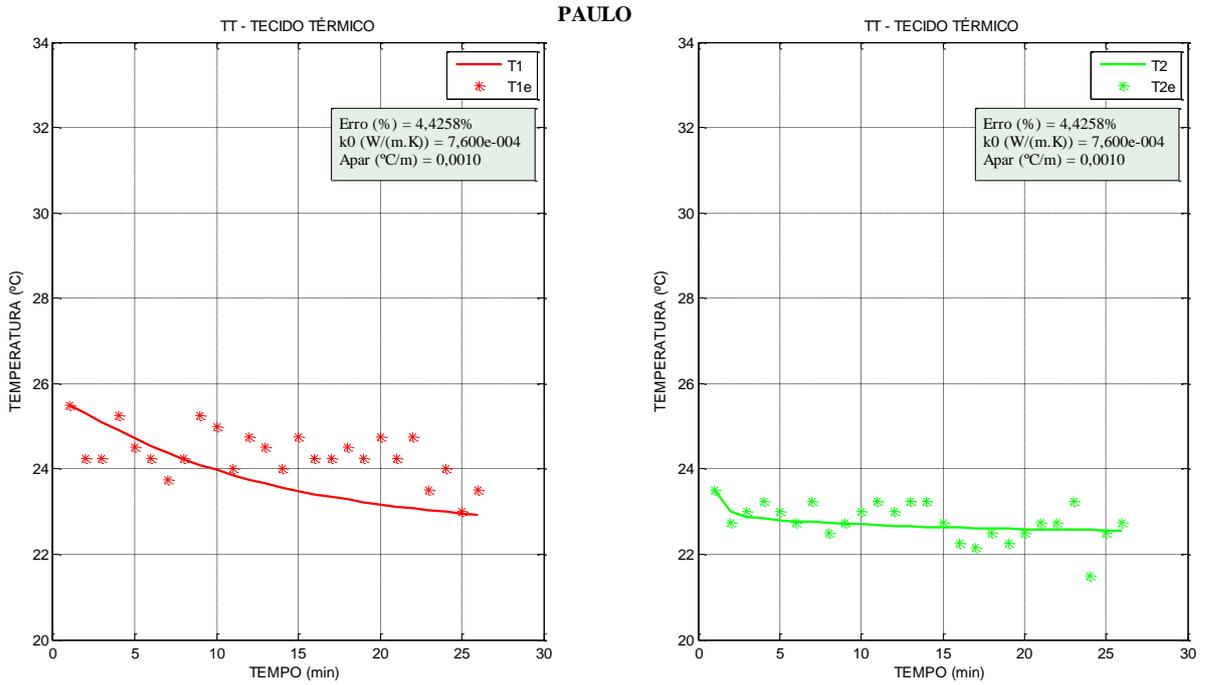


Figura 27 - Tecido Usual: comparação entre o perfil de temperatura experimental e o modelo proposto

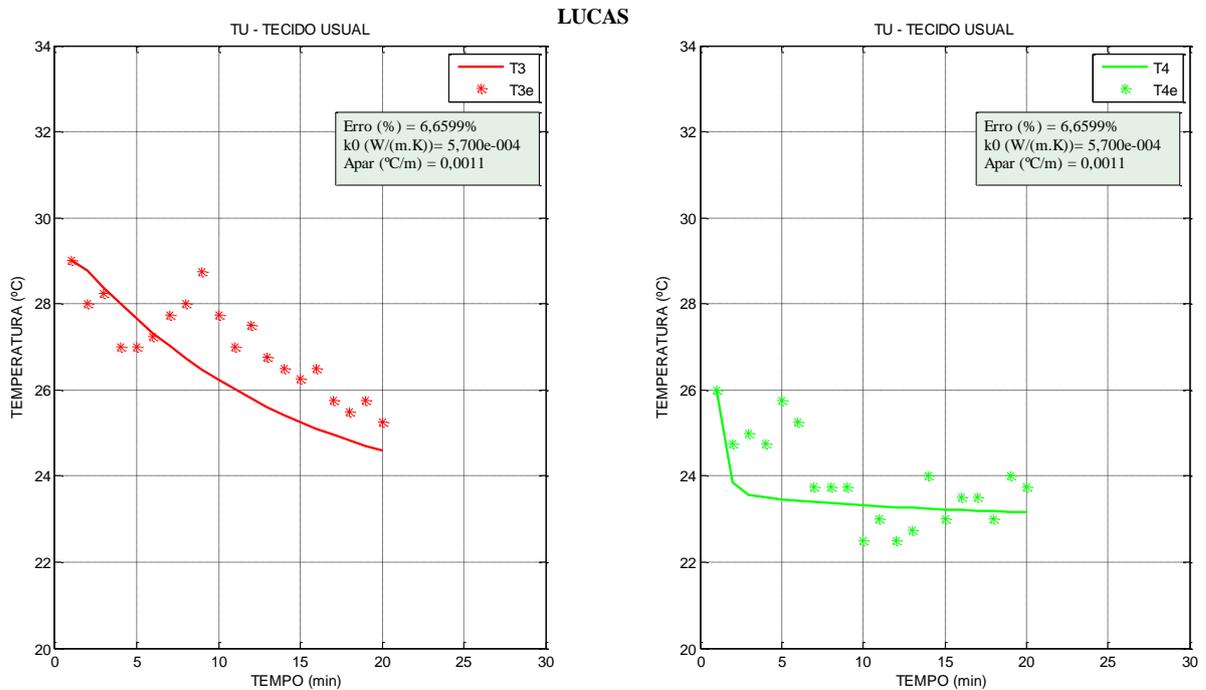
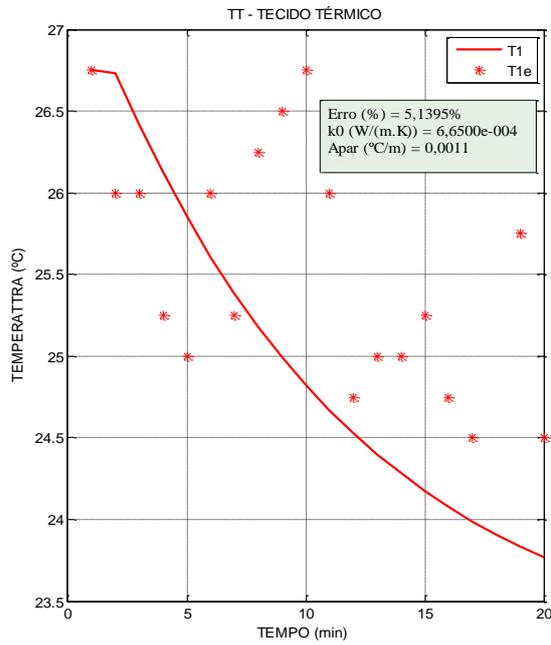


Figura 28 - Tecido Térmico: comparação entre o perfil de temperatura experimental e o modelo proposto



LUCAS

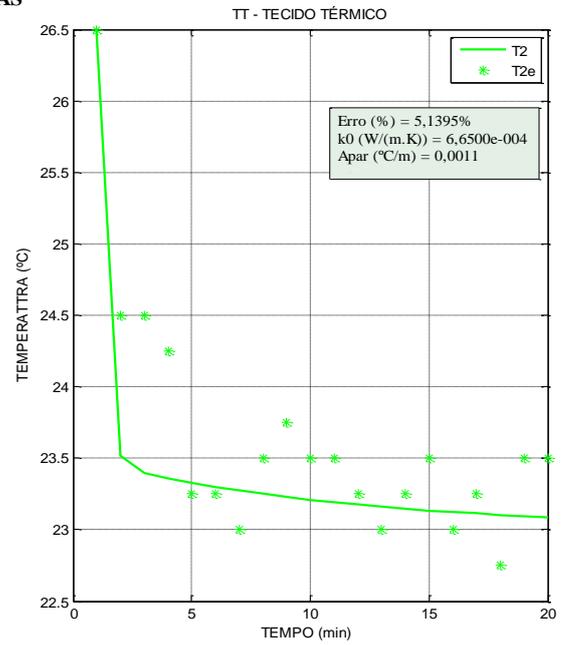
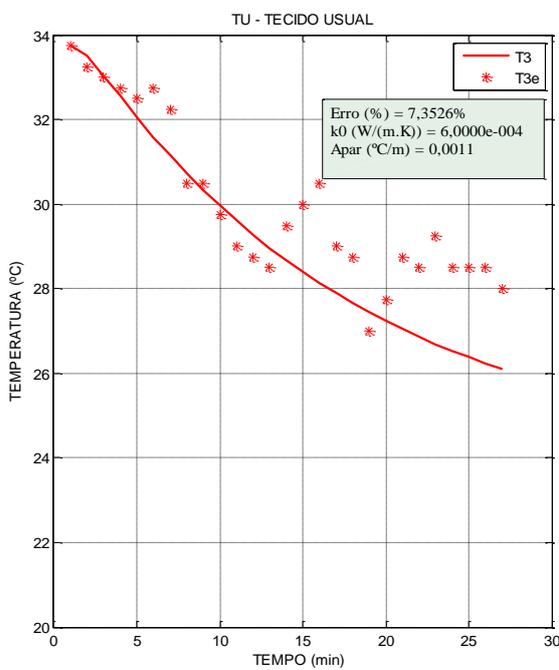


Figura 29 - Tecido Usual: comparação entre o perfil de temperatura experimental e o modelo proposto



MÁRCIO

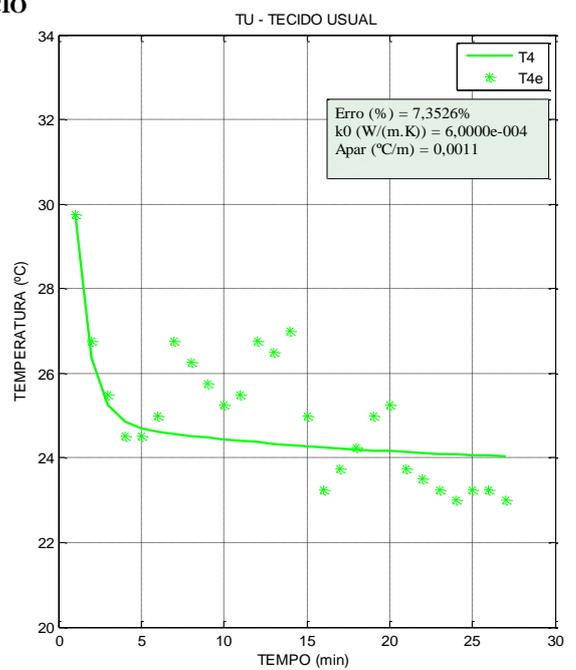


Figura 30 - Tecido Térmico: comparação entre o perfil de temperatura experimental e o modelo proposto

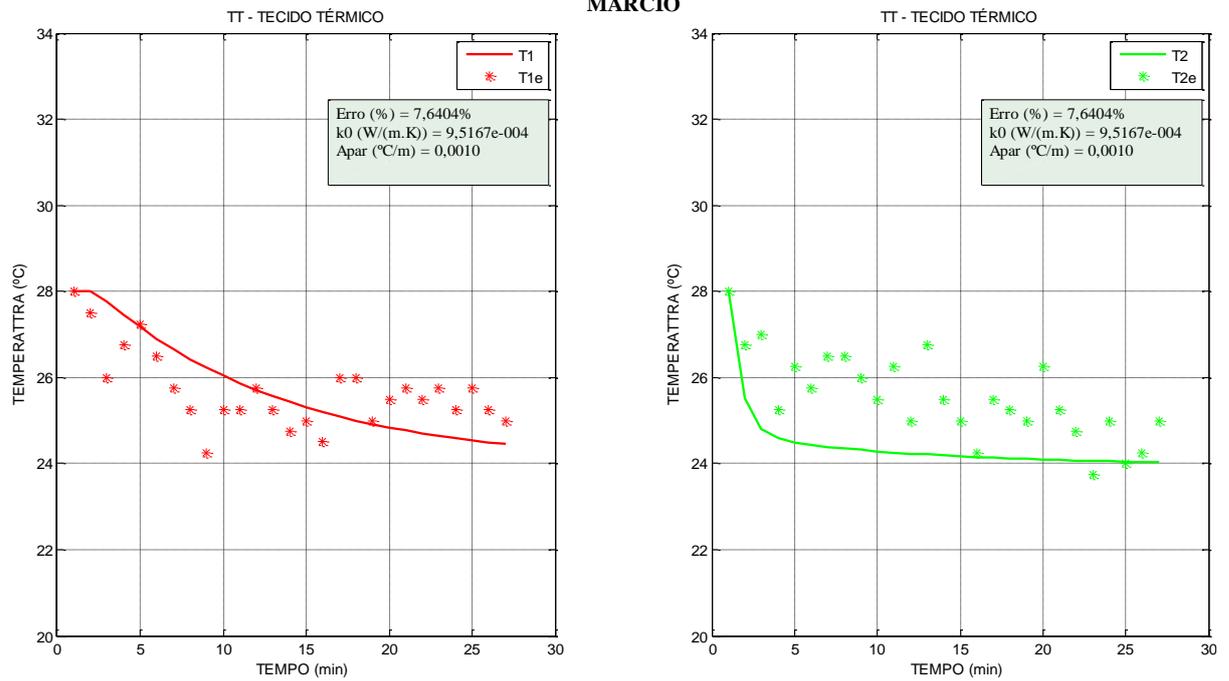


Figura 31 - Tecido Usual: comparação entre o perfil de temperatura experimental e o modelo proposto

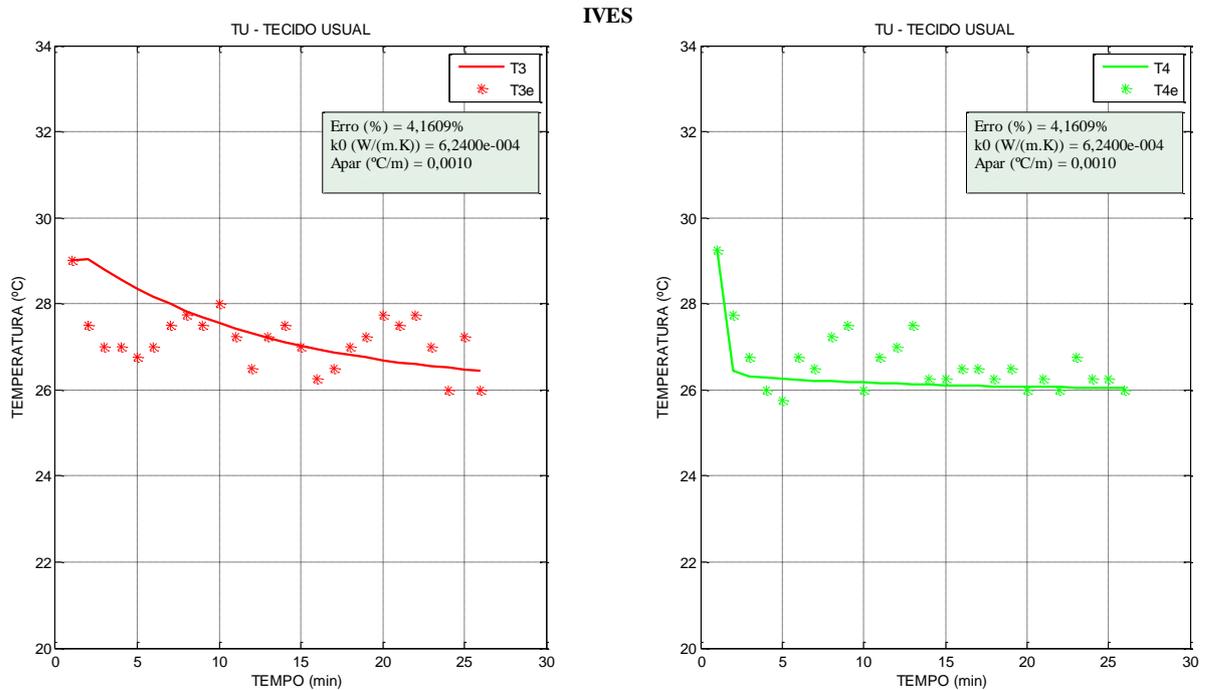
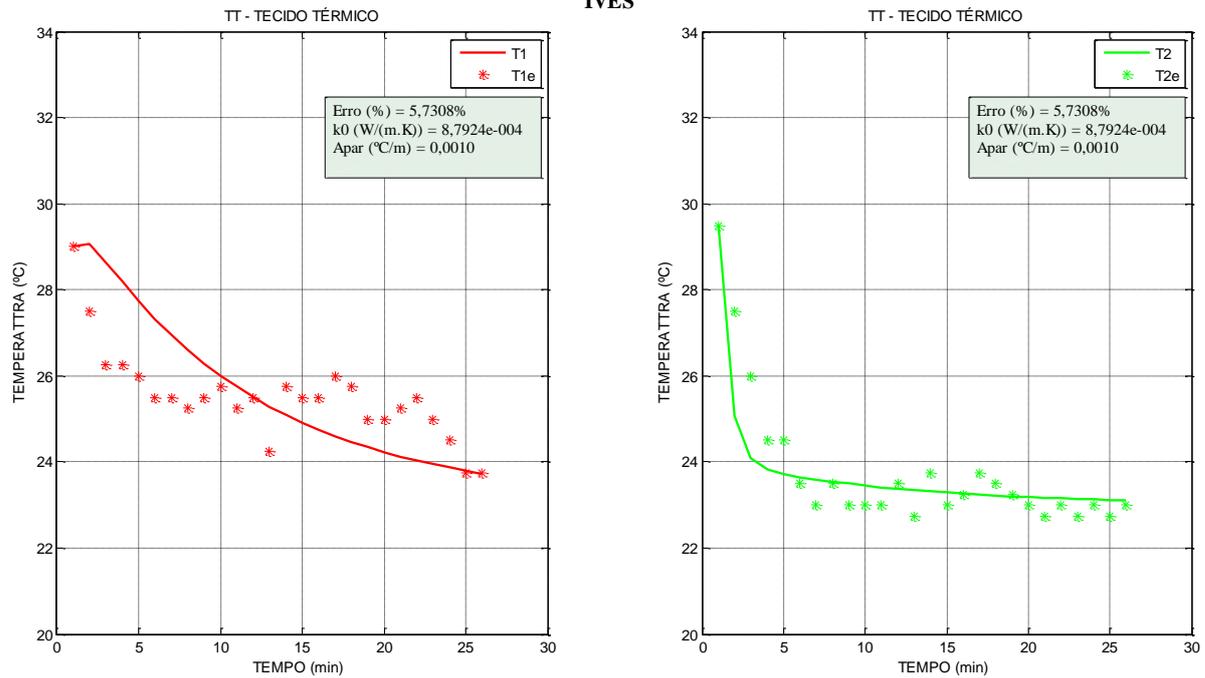


Figura 32 - Tecido Térmico: comparação entre o perfil de temperatura experimental e o modelo proposto



Os parâmetros A' e k_0 (obtidos da Equação (25)) são apontados na Tabela (4). Sendo T_a a temperatura ambiente na qual os testes foram realizados ($^{\circ}\text{C}$), ΔT_0 a variação de temperatura entra a região interna e externa ao tecido no momento inicial do teste ($^{\circ}\text{C}$), T_{i0} a temperatura interna inicial experimental e T_{if} a temperatura interna final experimental, ΔT_f a variação de temperatura entra a região interna e externa ao tecido no momento final do teste ($^{\circ}\text{C}$), T_{e0} a temperatura externa inicial experimental e T_{ef} a temperatura externa final experimental, todas em $^{\circ}\text{C}$.

Tabela 4 - Resultados Simulados para os parâmetros k_0 e A' e variações de temperatura experimentais

Atleta	Tecido	T_a (°C)	ΔT_o $T_{io} - T_{eo}$ (°C)	ΔT_f $T_{if} - T_{ef}$ (°C)	A' (°C/m)	k_0 (W/m.K) 10^4	Erro (%)
Lilian	TT	24	1,00	2,00	0,0006	8,4375	12,0499
	TU	24	0,25	2,25	0,0009	6,7500	8,8470
Luciana	TT	26	1,25	4,50	0,0010	8,7877	9,0688
	TU	26	1,50	0,00	0,0010	6,7924	5,7334
Shirley	TT	27	2,25	3,30	0,0010	7,1320	3,4933
	TU	27	1,25	0,75	0,0011	6,4528	5,9808
Luana	TT	25	3,00	2,25	0,0013	7,2827	3,9634
	TU	25	3,00	1,75	0,0011	6,0000	4,9285
Fátima	TT	25	1,50	2,00	0,0010	7,1132	5,9979
	TU	25	3,00	1,25	0,0011	6,8954	4,6643
Paulo	TT	22	2,00	1,00	0,0010	7,6000	4,4258
	TU	22	2,75	3,25	0,0011	6,1132	9,4534
Lucas	TT	25	0,75	3,00	0,0011	6,6500	5,1395
	TU	25	3,00	2,25	0,0011	5,7000	6,6599
Márcio	TT	28	0,00	3,00	0,0010	9,5167	7,6404
	TU	28	4,00	5,00	0,0011	6,0000	7,3526
Ives	TT	25	-0,50	6,50	0,0010	8,7924	5,7308
	TU	25	-0,25	0,00	0,0010	6,2400	4,1609

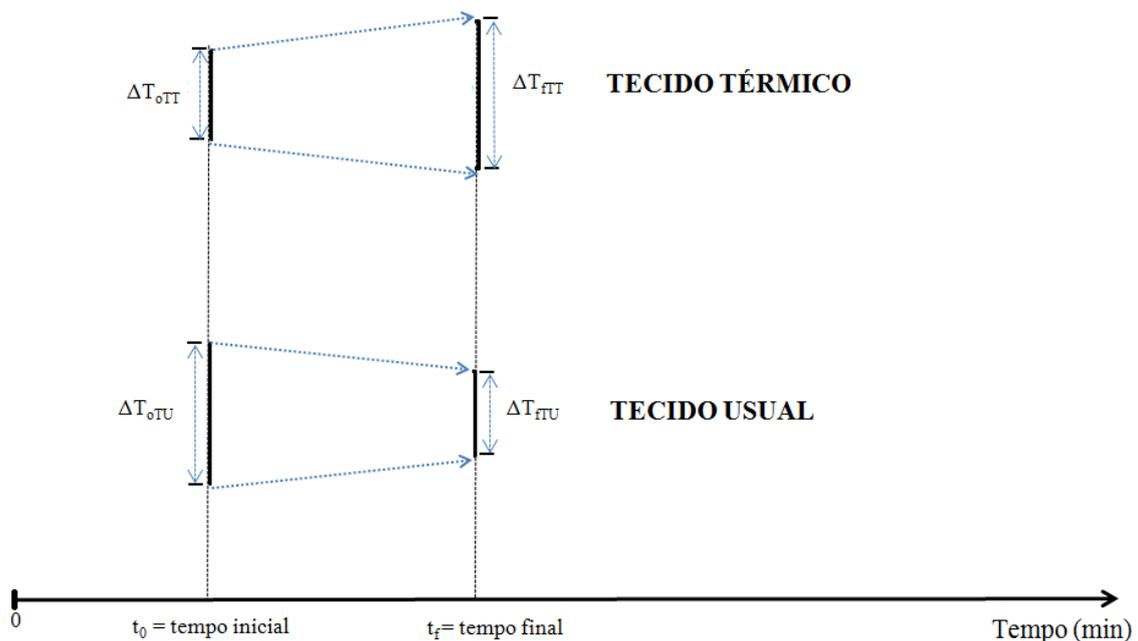
Pode-se observar que os tecidos térmicos apresentaram valores de k_0 superior comparado aos seus correspondentes usuais para o mesmo atleta, sendo o esperado. O parâmetro A' apresentou valores semelhantes tanto para o tecido usual quanto para o tecido térmico.

Há um erro observado entre os valores obtidos experimentalmente e os valores obtidos com a aplicação do modelo, porém, em média 6,4% de acordo com Tabela (4). Alguns fatores podem ter influenciado esta diferença, sendo esta justificada inclusive pelo deslocamento de alguns dos termopares em algum momento durante a medição da resposta.

O valor médio para as variações de temperatura foram para o tecido térmico foram $\Delta T_{oTT} = 1,361^\circ\text{C}$ e $\Delta T_{fTT} = 3,061^\circ\text{C}$. Para o tecido usual $\Delta T_{oTU} = 2,111^\circ\text{C}$ e $\Delta T_{fTU} = 1,833^\circ\text{C}$.

Pode-se verificar de acordo com a Figura 33 que para o tecido térmico a variação de temperatura aumenta do momento inicial ao momento final do teste. Já o tecido usual apresenta uma diminuição desta variação de temperatura ao longo do teste. Isso acontece pelo fato de que o tecido térmico conforme tem sua variação de temperatura aumentada, tende a aumentar a transferência de calor por condução de calor ao longo do tecido, visto os valores de Biot e Fourier (Tabela (3)), conseqüentemente terá uma baixa resistência condutiva (Equação (19)) apresentando maiores valores de condutividade térmica do que o tecido usual.

Figura 33 - Variação de temperatura ao longo do tecido



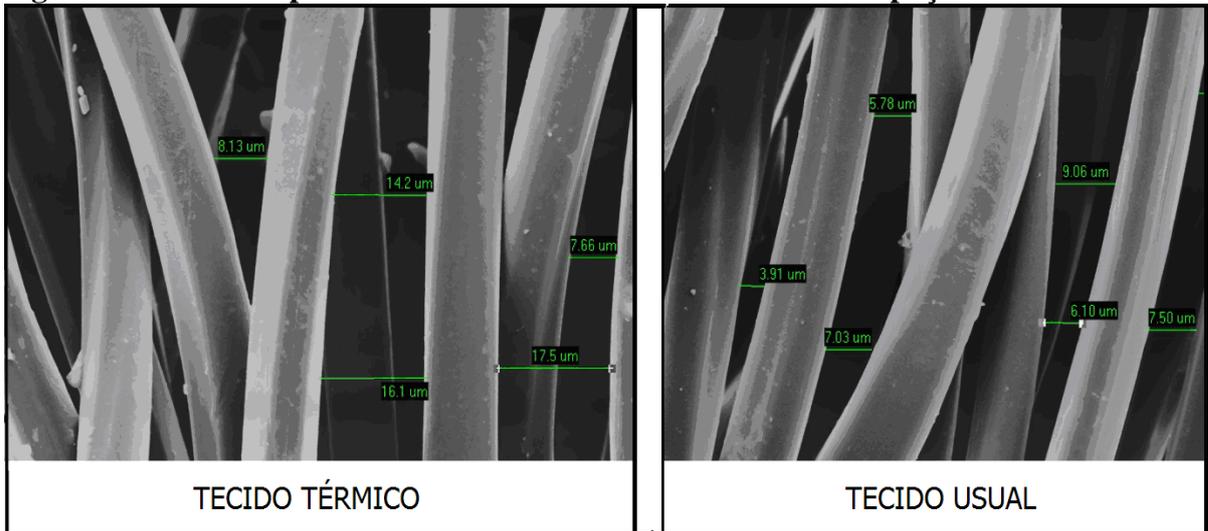
Fonte: Autora (2015)

5.2 Microscopia Eletrônica de Varredura

Pelo teste MEV, pode-se observar a contextura dos fios (Figura (36)) e a geometria dos fios. A geometria dos fios do tecido térmico assemelha-se a uma geometria pentagonal e a geometria dos fios do tecido usual a geometria quadrangular. A visualização da geometria dos fios foi dificultada, uma vez que na metodologia utilizada há necessidade em se cortar o tecido, e no corte pode ocorrer uma deformação dos fios em função de sua pequena espessura.

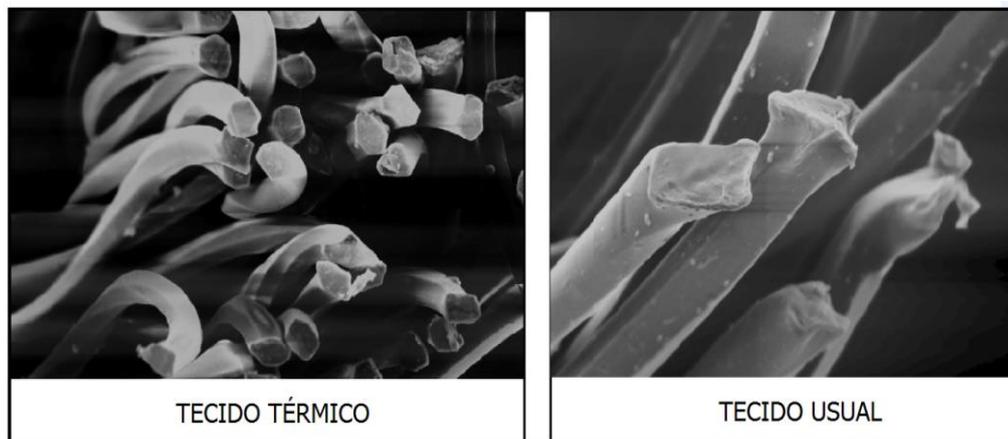
Por aparentar uma geometria pentagonal, o tecido térmico apresenta uma maior área de troca térmica comparada ao tecido usual com a geometria quadrangular, o que propicia uma melhor transferência de calor e conseqüentemente um melhor conforto ao atleta, conforme Figura 34 e Figura 35.

Figura 34 - Microscopia Eletrônica de Varredura dos tecidos: Espaçamento entre os fios



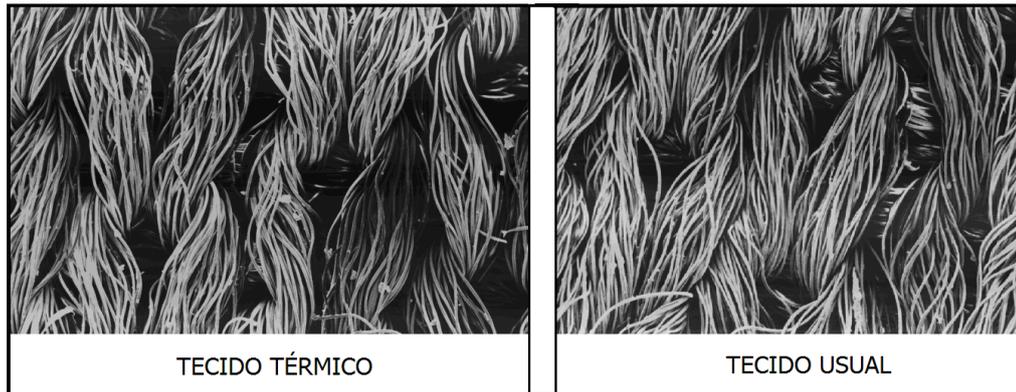
Fonte: Teste MEV (x1000) – SuperScan SS550 (2014)

Figura 35 - Geometria Tecido Térmico e Tecido Usual



Fonte: Teste MEV (x1000) – SuperScan SS550 (2014)

Figura 36 - Contextura do tecido térmico e tecido usual



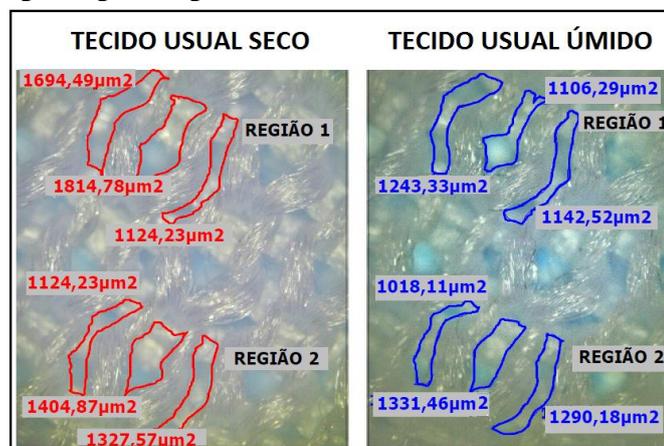
Fonte: Teste MEV (x50) – SuperScan SS550 (2014)

5.3 MICROSCOPIA ÓPTICA

Com o objetivo de verificação aproximada dos vazios entre laçadas nos tecidos, foram realizados testes de microscopia óptica nos tecidos usuais e térmicos. Estes ensaios são complementares ao teste de microscopia eletrônica de varredura, uma vez que o mesmo não pode ser realizado com o tecido umedecido. O intuito de umedecer o tecido é simular uma situação de transpiração no mesmo.

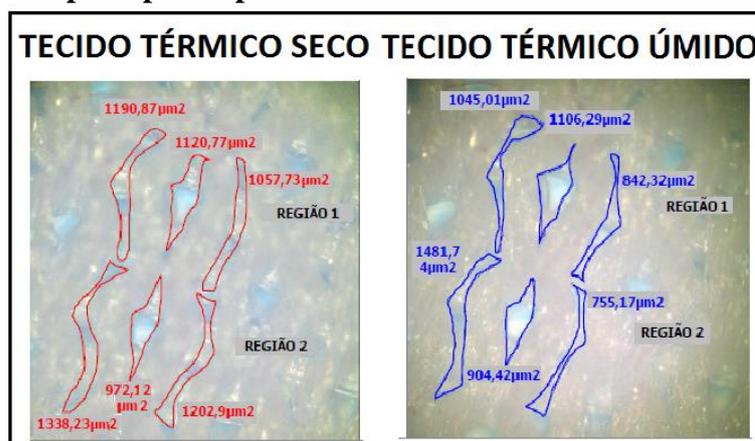
Foram tiradas fotos conforme Figura 37 e Figura 38, no microscópio óptico, dos tecidos usuais e térmicos secos e posteriormente umedecidos com água, para realização de comparação entre ambos, no que diz respeito ao comportamento dos espaçamentos vazios entre as laçadas.

Figura 37 - Microscopia Óptica aplicada ao Tecido Usual



Fonte: Software Axion-Vision LE

Figura 38 - Microscopia Óptica aplicada ao Tecido Térmico



Fonte: Software Axion-Vision LE

Tabela 5 - Microscopia Óptica

Área Tecido		Área Tecido			
Tecido Térmico Seco (μm^2)	Tecido Térmico Úmido (μm^2)	Redução Percentual (%)	Tecido Usual Seco (μm^2)	Tecido Usual Úmido (μm^2)	Redução Percentual (%)
1190,87	1045,01	12,25	1694,49	1552,31	8,39
1120,77	1106,29	1,29	1814,78	1243,33	31,49
1057,73	842,32	20,37	1124,23	1142,52	1,63%
		*aumento			
1338,23	1481,74	10,72%	1124,23	1018,11	9,44
972,12	904,42	6,96	1404,87	1331,46	5,23
1202,9	755,17	37,22	1327,57	1290,18	2,82
Média da Redução Percentual		15,62			11,47

Com os resultados mostrados na Tabela (5) pode-se observar uma redução de área no interior das laçadas e entre laçadas, quando feita comparação entre o tecido seco e o tecido úmido, em ambos os tecidos (usuais e térmicos). A assertiva pode ser justificada pelo fato de que com a realização da atividade física o sistema tecido absorve o suor o que ocasiona o "inchaço" dos fios, diminuindo assim estas áreas (Figura 37 e Figura 38).

O tecido térmico apresentou uma redução de 15,65% de sua área quando o tecido foi umedecido. No caso do tecido usual houve uma diminuição percentual de 11,47% quando o

tecido foi umedecido. Assim a redução de área no tecido térmico foi maior do que a redução de área no tecido usual. Este fato fundamenta os resultados obtidos de condutividade térmica mostrados na Tabela (4), através de simulação matemática com o modelo desenvolvido, ou seja, justifica os valores de condutividade térmica encontradas. Os tecidos térmicos apresentaram uma maior condutividade térmica, comparados aos tecidos usuais, ou seja, o tecido térmico absorveu mais suor-água (Tabela (6)), componentes este que apresentam condutividade térmica maior que a do ar, ocorrendo um aumento entre fibras e consequente redução da área interna das laçadas e entre laçadas.

5.4 Percentual de Massa Retida nos Tecidos

A transpiração é uma característica fisiológica e individual, variando de pessoa para pessoa. A análise da eficiência do tecido em relação à transpiração do atleta foi feita através do Percentual de Massa de Água Retida no Tecido (PMRT) Equação (30).

$$PMRT = \frac{m_{rt}}{m_{rt} + m_{rt0}} \quad (30)$$

Onde, m_{rt} é a transpiração retida no tecido (sendo o suor – vapor de água) em gramas e m_{rt0} é a massa inicial do tecido antes da realização do teste em gramas. Sendo todos os valores obtidos de forma experimental, com a pesagem dos tecidos antes e após a realização do procedimento experimental.

Na Tabela (6) são apresentados os valores percentuais de massa/suor retida nos tecidos obtidos com a Equação (30).

Tabela 6 - Percentual de Massa/Suor Retido

Massa Retida (%)					
Atletas	Tecido Térmico	Tecido Usual	Atletas	Tecido Térmico	Tecido Usual
Lilian	0,32	0,25	Paulo	0,62	0,34
Luciana	1,77	1,62	Lucas	20,00	19,92
Shirley	1,58	1,00	Márcio	24,00	27,00
Luana	0,28	0,23	Ives	37,00	33,00
Fátima	34,00	20,98			

De acordo com a Tabela (6), pode-se detectar que há uma retenção maior de suor no tecido térmico do que no tecido usual, ou seja, o tecido térmico ficou “mais pesado” após o teste do que o tecido usual para a maioria dos atletas exceto para o atleta Márcio. Isso pode ser justificado pelo fato de que a condutividade térmica tem uma relação direta com o aumento do teor de água entre as fibras que causam um “inchaço” nas mesmas.

Segundo Baxter (1945), a transferência de calor através de um tecido ocorre através das fibras deste e através do ar entre os espaços vazios do tecido. Com o aumento da retenção de líquido no tecido os fios tendem a se expandir, diminuindo assim o espaço de ar. Os tecidos térmicos por apresentarem maiores espaços entre os fios, conseguem absorver uma maior quantidade de água (suor) e desta forma expõem maior quantidade para o ambiente, propiciando maior conforto térmico.

Logo se verifica que os valores de condutividade térmica para o tecido térmico é maior do que os valores de condutividade térmica para o tecido usual, justificando os tecidos térmicos estarem mais pesados. Quanto ao percentual de massa retida os valores absolutos não se podem comparar de um atleta com o outro, uma vez que cada pessoa apresenta uma fisiologia diferente.

6 CONCLUSÃO

A utilização de roupas modernas na prática de atividades físicas tem tido um crescente destaque. A busca de um tecido ideal levou aos estudos de tecidos térmicos, com estruturas diferenciadas, facilitando a transferência de suor do corpo para o ambiente alcançando uma condutividade térmica maior que a dos tecidos usuais.

Neste trabalho a realização de um estudo com dois tecidos diferentes, sendo um térmico e outro usual dos atletas, passando por etapas de realização de testes experimentais, desenvolvimento de um modelo, e estimativa da condutividade térmica baseada em parâmetros reais, foi primordial para se verificar a diferenciação e a possibilidade de um tecido trazer melhor conforto térmico que o outro.

A determinação da condutividade térmica dos tecidos mostra-se importante, uma vez que na literatura os valores de condutividade térmica para os tecidos utilizados não são encontrados, sendo esta uma propriedade imprescindível para a análise correta da eficiência de troca térmica do tecido.

Conforme os resultados apresentados anteriormente, nas Figuras 15 a Figura 32, o modelo proposto mostra ser confiável para a análise da transferência de calor no tecido 100% poliéster durante a prática de uma atividade física, com erro médio de 6,4%.

A variação média inicial e final de temperatura foram para o tecido térmico foram $\Delta T_{oTT} = 1,361^{\circ}\text{C}$ e $\Delta T_{fTT} = 3,061^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Para o tecido usual $\Delta T_{oTU} = 2,111^{\circ}\text{C}$ e $\Delta T_{fTU} = 1,833^{\circ}\text{C}$. Verifica-se que para o tecido térmico a variação de temperatura aumenta do momento inicial ao momento final do teste. No caso do tecido usual há uma diminuição desta variação de temperatura ao longo do teste. Conclui-se que o tecido térmico, por apresentar ao longo do teste aumento de sua variação de temperatura, tende a aumentar a transferência de calor por condução de calor ao longo do tecido, conseqüentemente terá uma baixa resistência condutiva, com maiores condutividades térmicas quando comparadas ao tecido usual.

Nos testes realizados os tecidos térmicos apresentaram um maior valor para o parâmetro condutividade térmica, em uma mesma ordem de grandeza do que para os tecidos usuais, ficando mais pesados por apresentarem um espaçamento maior entre os fios, absorvendo assim mais água (suor) do atleta e conseqüentemente lançando ao ambiente maior quantidade de suor. O valor médio para as condutividades térmicas dos tecidos térmicos e usuais é $7,9236 \cdot 10^{-4}$ (W/m.K) e $6,3337 \cdot 10^{-4}$ (W/m.K) respectivamente, mostrando assim que a condutividade térmica do tecido térmico é 25% maior que a condutividade térmica do tecido

usual e também na mesma ordem de grandeza do valor de $1,4 \cdot 10^{-4}$ (W/m.K) fornecido pelo Ashrae Handbook (2013) para este tipo de tecido seco.

O valor médio do parâmetro A' para os tecidos térmicos e usuais é $0,0010$ °C/m e $0,0011$ °C/m respectivamente.

Desta forma conclui-se que a condutividade térmica obtida para o tecido térmico obedece a seguinte proposta, $k_{TT} = 7,9236 \cdot 10^{-4} e^{(-0,0010 \cdot \Delta x / T_m)}$, sendo que o desvio do modelo é da ordem de 6,39%, e para o tecido usual foi $k_{TU} = 6,3337 \cdot 10^{-4} e^{(-0,0011 \cdot \Delta x / T_m)}$, e o desvio do modelo é da ordem 6,42%. Para a situação em que foram realizados os testes, sem controle de umidade ambiente, o modelo representou de forma coerente a situação real do perfil de temperatura ao longo do tecido. No que diz respeito ao erro, vários fatores podem ter influenciado esta diferença, podendo ser justificada inclusive pelo deslocamento de alguns dos termopares em algum momento durante a medição da resposta.

Ambos os tecidos são de entrelaçados (contextura) semelhantes, entretanto, o que se observa nas figuras obtidas pelo MEV é que o tecido térmico apresentou um maior espaçamento entre os fios o que provavelmente potencializou a absorção de suor possibilitando o aumento da condutividade térmica do mesmo. Esta assertiva pode ser justificada pelo fato de que a condutividade térmica do tecido é composta pelo somatório das condutividades térmicas dos fios, do ar e da água. Na temperatura ambiente as condutividades térmicas do poliéster, do ar e da água são $0,17$ W/(m.K), $0,023$ W/(m.K) e $0,58$ W/(m.K) respectivamente. Em um primeiro momento, no início do teste, os tecidos estão relativamente secos, ou seja, com pouca quantidade de água retida nos tecidos. Com o passar do tempo, os tecidos absorvem a transpiração do atleta, desta forma a quantidade de água aumenta no tecido, aumentando a condutividade térmica do sistema, uma vez que a condutividade térmica da água é maior do que a condutividade térmica do ar. Tendo em vista que a condutividade térmica do poliéster não varia em grandes proporções com a temperatura é coerente que o tecido térmico, por apresentar um maior espaçamento entre os fios, absorva mais água e tenha uma maior condutividade térmica, instantaneamente, propiciando uma maior troca térmica entre tecido e o ambiente.

Afirmações quanto à superioridade de conforto térmico de um tecido em relação ao outro devem ser apresentadas com cautela. As condições ambientes em que o atleta é submetido, tipo de malha, fisiologia da sudorese são fatores que devem ser cuidadosamente examinados concomitantemente. Entretanto os dados obtidos facilitam o estudo da transferência de calor em têxteis, visto que é necessária a comparação do poliéster com outros

tecidos.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com os resultados obtidos na realização deste trabalho, assim como o conhecimento adquirido no desenvolvimento do estudo, pode-se sugerir os seguintes trabalhos a serem desenvolvidos futuramente:

- Aprimoramento do modelo numérico com a inclusão dos termos de transferência de massa, ou seja, acréscimo de um estudo da transferência de massa em paralelo à transferência de calor;
- Realização dos testes experimentais não apenas em esteira, como foi realizado neste trabalho, mas também ao ar livre, gerando convecção forçada, sendo esta última uma situação mais real;
- Estrutura do colete na região peitoral para comparação dos resultados obtidos com o mesmo alojado na região das costas;
- Realização de testes com o mesmo voluntário em várias condições climáticas, para análise dos perfis de temperatura ao longo da estrutura do tecido;
- Realizar testes similares ao do presente estudo em outros tipos de tecidos.

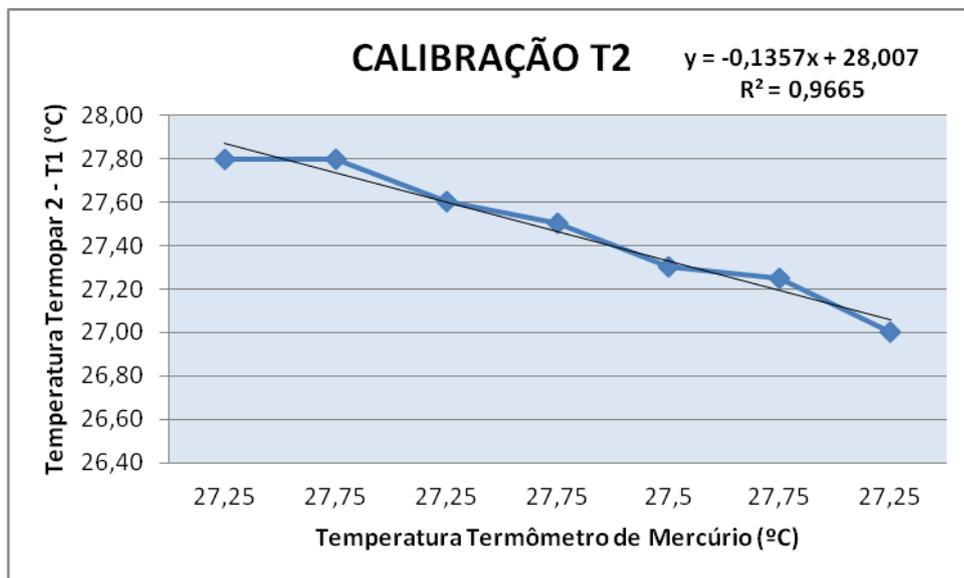
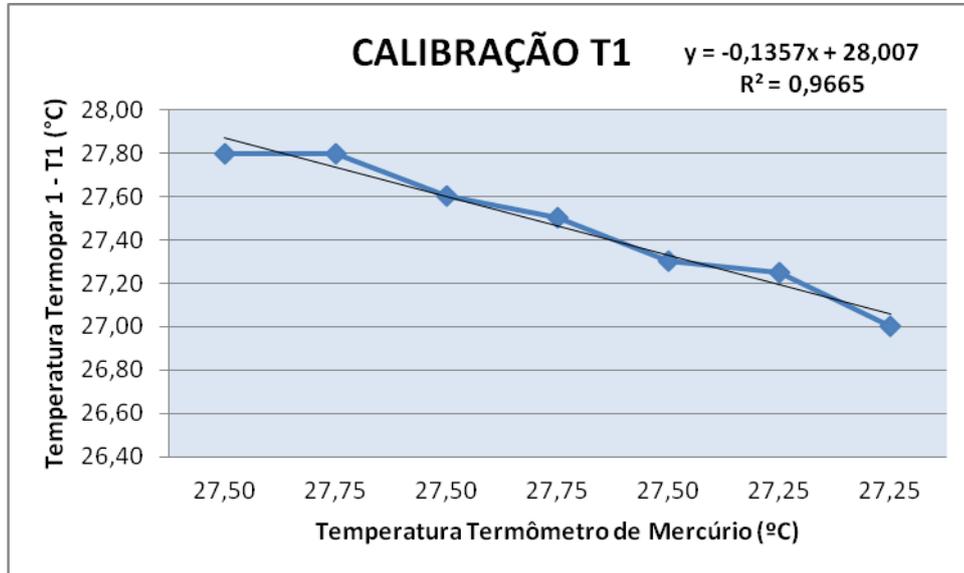
REFERÊNCIAS

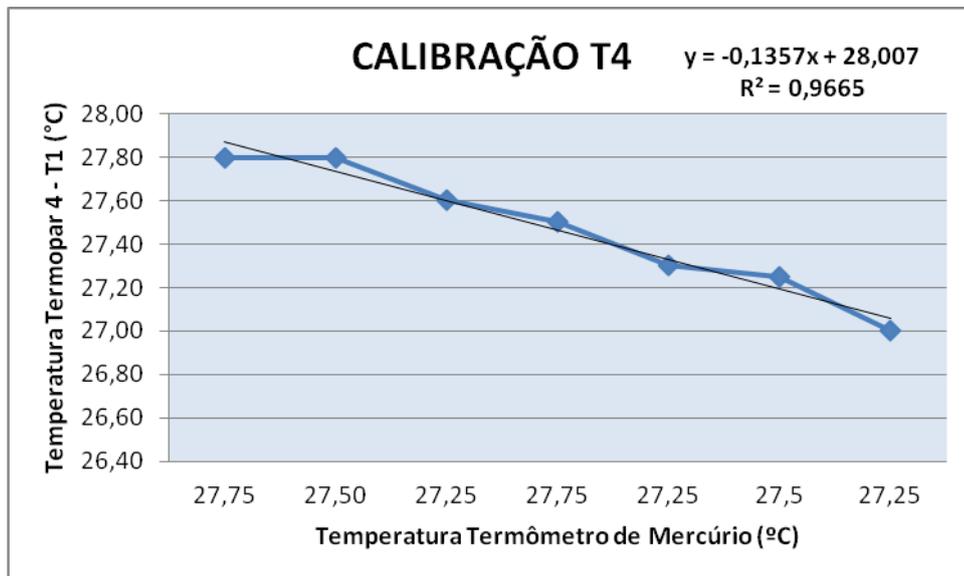
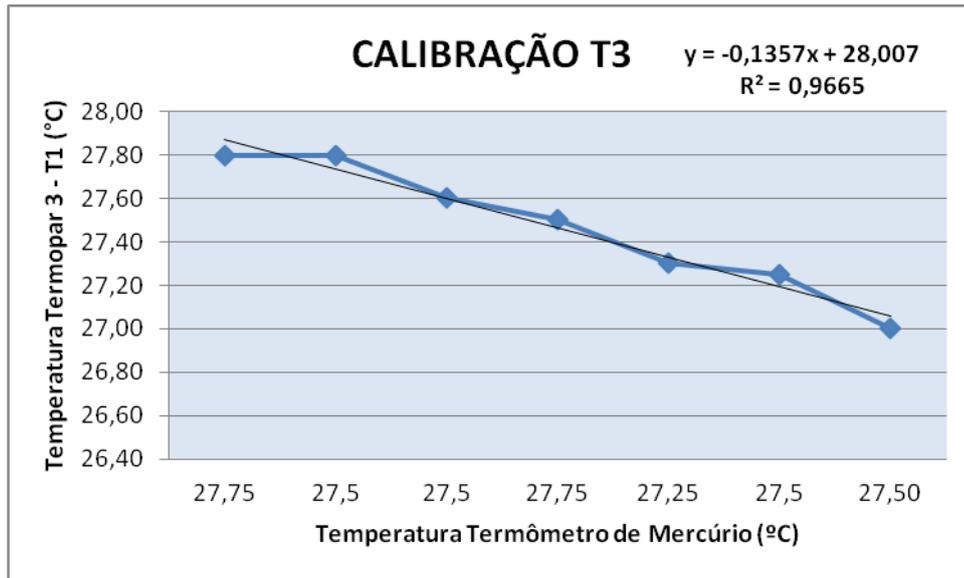
- ABNT 14724:2011 Informação e documentação — Trabalhos acadêmicos — Apresentação
- ASHRAE. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. **Ashrae Standard**. Bicycle Apparel, Technical Fabric Library, 2013.
- BAXTER, S. The Thermal conductivity of textiles. **Wool Industries Research Association**, Leeds, 1945.
- ÇENGEL, Y. A. **Heat transfer: a practical approach**, 2. Ed. Boston: McGraw-Hill, 2002.
- CORREIA, E. L. S. **Modelo térmico aplicado à caracterização do conforto proporcionado pelo vestuário**. Universidade do Minho, Portugal, 2005. 63 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Humana).
- DONCA, R. **Modelagem matemática e simulação da transferência de calor e massa através de um meio poroso têxtil**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química).
- FEITOR, M. **Estudo da molhabilidade de tecidos 100% poliéster tratados em plasma n2/02 e 02 em função de seu envelhecimento natural**. Natal, RN, 2006. p. 26-27.
- FILGUEIRAS, A. P. A. **Optimização do design de malhas multifuncionais para utilização em vestuário desportivo**. 2008. 376 f. Tese (Doutorado em Engenharia Têxtil).
- GUNESOGLU, S., MERIC B., GUNESOGLU, C. **Thermal contact properties of 2-yarn fleece knitted fabrics**. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*. 2005. p. 46–50.
- GUYTON & HALL, **Tratado de fisiologia médica**, 5. Ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 2002.
- HUANG, J. Thermal parameters for assessing thermal properties of clothing. **Journal of Thermal Biology**. V. 31, p. 461–466. 2006.
- INCROPERA, F. P. Z. **Fundamentos de Transferência de calor e de massa**. Tradução e revisão técnica Eduardo Queiroz, Fernando Luiz Pellegrini Pessoa. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- KERN, D. Q. **Processos de Transmissão de Calor**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1987.
- KREITH, F. & BOHN, M. S., **Princípios da transferência de calor**, São Paulo: Editora Edgar Blucher, 1977.
- LI, Y. The science of clothing comfort. **The Textile Institute**, v. 31, n. 1/2, 2001.
- LIMA, L.; SILVA, J.; LIMA, A. **Transferência de calor e de massa durante a secagem de sólidos com forma arbitrária: uma abordagem concentrada**. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande/PB. 2003. p.153. Monografia (graduação).

- MIN, K.; SON, Y.; KIM, C.; LEE, Y.; HONG, K.; Heat and moisture transfer from skin to environment through fabrics: A mathematical model. **Internacional Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 50, p. 5292-5301, 2007.
- MISSENARD, F. A. Coefficiente d'échange de chaleus du corpus humain par convection, em fontio de la position, de láctivite Du sujet et de lenvirnment. **Archives de Sciences Physiologiques**, v. 27, p.45-50, 1973.
- NETO, A. P. P. **Fibras Têxteis**, v.I, SENAI_CETIQT, Rio de Janeiro, 1996.
- NETO, A. P. P. **Fibras Têxteis**, v.II, SENAI_CETIQT, Rio de Janeiro, 1996.
- NEVES, M.; CUNHA, J. Integrando o conforto e a estética no design de tecidos. In: II SIENTEX – Simpósio Internacional de Engenharia Têxtil, Natal. 2004.
- NETO, C. B. N. **Transferência de calor**. Apostila do curso Área Técnica de Refrigeração e Condicionamento de ar. Instituto Federal de Santa Catarina. São José/SC, 2010.
- OLIVETE, A. Formas de construção de tecidos usados no vestuário. Disponível em: <<http://textileindustry.ning.com/forum/topics/formas-de-constru-o-dos-tecidos-usados-no-vestu-rio>>. Acesso em: nov. 2014.
- PEREIRA, G. S. **Introdução a Tecnologia Têxtil**. Apostila do Curso Têxtil em Malharia e confecção. Cefet/SC, Araranguá, 2009.
- PUPEIKIS, D. The Impact of the Fourier Number on Calculation Accuracy of Transient Heat Transfer in Homogeneous Enclosures. **Materials Science**. V. 18, n. 3. 2012.
- REIS, J. C. D. **Medidas do coeficiente de transferência de calor em fornos combinados**. Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2012. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos).
- ROMERO, L. et al. **Relato setorial; fibras artificiais e sintéticas**, 1995.
- RUGGIERO, M. A. G.; LOPES, V. L. R. **Cálculo numérico: aspectos teóricos e computacionais**. 2 ed, São Paulo: Pearson Makron Books, 1996.
- TETRINNO SMARTEX PROJECT. State of the Art in Smart Textiles and Interactive Fabrics. Disponível em: <www.mateo.ntc.zcu.cz/doc/State.doc>. Acesso em: jan. 2015.
- XIAOMING, Q., JINTU, F. A quasi-physical model for predicting the thermal insulation and moisture vapour resistance of clothing. **Institute of textile and clothing**. V.40, p.577-590, 2009.

ANEXOS

ANEXO A – Calibração dos Termopares





ANEXO B – Espessuras medidas com micrômetro

	Lilian		Luciana		Shirley		Luana		Fátima	
	Δx (mm)		Δx (mm)		Δx (mm)		Δx (mm)		Δx (mm)	
Teste	TT	TU								
1	0,356	0,345	0,370	0,354	0,351	0,351	0,369	0,352	0,356	0,351
2	0,357	0,362	0,361	0,365	0,353	0,358	0,365	0,362	0,365	0,352
3	0,365	0,362	0,354	0,357	0,365	0,346	0,365	0,347	0,351	0,359
4	0,346	0,378	0,356	0,352	0,362	0,354	0,352	0,352	0,358	0,365
Valor Médio (mm)	0,3565	0,362	0,3585	0,3555	0,3575	0,3525	0,365	0,352	0,357	0,3555
Desvio Padrão Amostral (mm)	0,0078	0,0135	0,0071	0,0057	0,0068	0,0051	0,0074	0,0063	0,0058	0,0066

	Paulo		Lucas		Márcio		Ives	
	Δx (mm)		Δx (mm)		Δx (mm)		Δx (mm)	
Teste	TT	TU	TT	TU	TT	TU	TT	TU
1	0,361	0,354	0,347	0,358	0,351	0,357	0,357	0,349
2	0,356	0,365	0,353	0,356	0,358	0,361	0,353	0,354
3	0,356	0,354	0,344	0,354	0,351	0,365	0,343	0,357
4	0,359	0,351	0,343	0,356	0,348	0,353	0,351	0,358
Valor Médio (mm)	0,3575	0,354	0,3455	0,356	0,351	0,359	0,352	0,3555
Desvio Padrão Amostral (mm)	0,0024	0,0062	0,0045	0,0016	0,0042	0,0052	0,0059	0,004

ANEXO C – Questionário aplicado: pré-seleção dos atletas

QUESTIONÁRIO DE PRÉ-SELEÇÃO DOS ATLETAS	
Nome	
Idade	
Altura	
Peso	
Etnia	
Modalidade Esportiva Praticada	
Tecido mais utilizado	
Marca	
Loja em que compra	
% de massa gorda	

ANEXO D – Temperaturas obtidas nos testes experimentais

Atleta Lilian - T_a = 24°C			
TÉCIDO TÉRMICO		TÉCIDO USUAL	
T_{ie} (°C)	T_{ee} (°C)	T_{ie} (°C)	T_{ee} (°C)
30,75	29,75	31,00	30,75
27,25	28,50	28,75	29,00
26,25	27,75	29,25	28,25
26,75	28,00	28,50	28,50
26,75	27,25	27,75	28,00
25,50	27,00	28,00	28,00
26,00	26,75	28,50	27,75
26,25	26,25	26,50	28,50
26,25	27,00	26,50	28,00
26,25	27,00	27,00	27,00
27,00	27,25	27,00	27,75
27,50	26,75	27,00	27,00
26,50	24,75	26,00	26,50
27,00	25,75	26,25	26,00
27,50	24,75	27,00	25,00
26,00	24,50	26,25	25,00
25,75	24,25	26,25	25,25
25,75	24,00	26,25	25,50
24,00	23,00	27,00	24,50
24,75	22,75	27,75	24,00
24,25	23,00	27,25	24,00
26,25	23,50	-	-
25,50	22,00	26,25	24,25
25,25	22,75	26,25	24,50
24,00	22,50	-	-

Atleta Luciana - T_a = 26°C			
TÉCIDO TÉRMICO		TÉCIDO USUAL	
T_{ie} (°C)	T_{ee} (°C)	T_{ie} (°C)	T_{ee} (°C)
31,00	29,75	32,75	31,25
30,00	28,50	31,50	29,75
26,75	26,50	30,25	28,75
26,75	25,50	29,00	27,00
26,50	24,50	27,75	27,75
26,25	25,00	29,50	28,00
27,25	25,25	28,50	27,25
26,50	26,00	29,50	27,50
26,75	26,00	29,75	28,00
25,75	26,25	28,00	28,00
25,75	26,75	27,75	28,50
25,50	26,50	28,00	27,00
25,25	25,25	28,75	27,00
24,25	25,50	28,75	27,75
25,75	25,75	28,00	27,25
24,75	26,25	28,50	27,00
25,75	26,25	27,50	26,75
25,25	26,00	27,50	26,25
25,75	26,00	29,25	26,75
25,00	26,25	28,75	26,25
25,25	26,50	27,75	26,25
24,25	26,00	27,75	26,50
24,25	26,50	29,00	26,50
25,75	26,25	29,25	26,75
25,50	26,00	29,25	26,25
25,00	25,25	29,00	26,50

Atleta Shirley - T_a = 27°C			
TÉCIDO TÉRMICO		TÉCIDO USUAL	
T_{ie} (°C)	T_{ee} (°C)	T_{ie} (°C)	T_{ee} (°C)
26,75	26,50	28,25	27,00
26,50	24,50	27,75	26,25
26,00	24,00	27,00	26,25
25,00	24,75	26,00	26,75
25,50	23,25	26,00	26,50
25,25	23,50	26,25	26,75
24,75	23,75	26,50	26,25
25,00	23,50	26,00	25,50
25,50	23,75	26,50	25,75
24,00	24,00	26,75	25,50
25,75	23,75	27,25	26,75
25,00	24,00	27,25	25,25
24,00	24,25	27,00	25,25
24,00	23,75	26,50	25,50
23,75	24,25	26,50	25,75
24,75	23,00	26,25	25,00
24,25	23,75	26,75	25,75
25,00	24,00	27,25	25,25
24,75	23,50	26,25	25,00
25,00	23,25	27,25	25,25
25,25	23,50	27,25	25,00
24,00	23,75	26,75	24,25
24,75	23,25	25,75	24,00
24,50	23,75	25,50	24,25
23,00	23,00	25,25	24,50
23,75	23,25	25,75	24,25

Atleta Luana - $T_a = 25^\circ\text{C}$			
TÉCIDO TÉRMICO		TÉCIDO USUAL	
T_{ie} ($^\circ\text{C}$)	T_{ee} ($^\circ\text{C}$)	T_{ie} ($^\circ\text{C}$)	T_{ee} ($^\circ\text{C}$)
31,00	29,50	32,75	31,00
30,00	28,50	31,50	28,75
25,75	26,50	30,25	27,75
25,50	25,50	29,00	28,00
25,25	24,50	27,75	27,75
24,25	25,00	29,50	28,00
25,75	25,25	28,50	27,25
24,75	26,00	29,50	27,50
25,75	26,00	29,75	28,00
25,25	27,25	28,00	28,00
25,75	26,75	27,00	28,50
25,00	26,50	28,00	27,00
25,25	24,25	28,75	26,25
24,25	24,50	28,75	26,25
23,25	24,75	28,00	26,75
25,75	25,25	28,50	26,50
26,75	26,25	27,50	26,75
26,75	26,00	27,50	26,50
26,50	26,00	29,25	26,50

Atleta Fátima - T_a = 25°C			
TÉCIDO TÉRMICO		TÉCIDO USUAL	
T_{ie} (°C)	T_{ee} (°C)	T_{ie} (°C)	T_{ee} (°C)
30,50	29,00	32,50	29,50
29,50	28,75	31,00	29,25
30,50	29,00	30,75	29,00
30,25	29,00	32,00	29,25
30,00	28,50	30,50	29,25
29,75	29,25	31,50	29,25
29,75	29,00	30,75	29,00
30,00	28,00	31,00	29,50
30,50	27,50	31,00	28,75
30,00	27,00	31,50	28,25
30,00	26,00	30,50	28,00
29,25	26,50	30,00	28,50
29,25	26,50	30,00	27,50
29,25	26,00	30,25	28,00
29,25	27,50	30,75	27,75
29,75	27,50	30,25	28,00
28,75	27,75	29,00	27,50
29,00	27,00	29,75	28,50
28,75	27,25	29,50	28,25
29,25	27,50	30,00	28,50
28,75	27,75	29,25	27,50
28,50	27,00	29,25	27,50
28,00	27,00	29,00	28,50
29,00	27,00	30,00	27,50
28,50	26,75	30,00	27,75
27,75	26,50	30,00	28,00
28,75	27,50	30,50	28,25
29,00	27,25	30,00	28,00
28,00	27,00	30,00	27,75

Atleta Paulo - $T_a = 22^\circ\text{C}$			
TÉCIDO TÉRMICO		TÉCIDO USUAL	
T_{ie} ($^\circ\text{C}$)	T_{ee} ($^\circ\text{C}$)	T_{ie} ($^\circ\text{C}$)	T_{ee} ($^\circ\text{C}$)
25,50	23,50	26,25	23,50
24,25	22,75	25,00	23,00
24,25	23,00	24,00	22,75
25,25	23,25	24,25	22,75
24,50	23,00	24,50	23,00
24,25	22,75	24,75	22,50
23,75	23,25	24,50	22,50
24,25	22,50	24,25	21,75
25,25	22,75	24,75	22,25
25,00	23,00	24,25	22,50
24,00	23,25	24,50	22,75
24,75	23,00	23,50	22,50
24,50	23,25	23,75	21,75
24,00	23,25	24,00	21,25
24,75	22,75	24,00	20,75
24,25	22,25	24,75	20,75
24,25	22,15	24,50	20,25
24,50	22,50	24,00	20,00
24,25	22,25	24,00	20,75
24,75	22,50	24,50	20,00
24,25	22,75	24,25	20,75
24,75	22,75	24,00	21,50
23,50	23,25	23,75	21,50
24,00	21,50	23,00	21,75
23,00	22,50	23,50	21,25
23,50	22,75	23,25	20,00

Atleta Lucas - T_a = 25°C			
TÉCIDO TÉRMICO		TÉCIDO USUAL	
T_{ie} (°C)	T_{ee} (°C)	T_{ie} (°C)	T_{ee} (°C)
26,75	26,50	29,00	26,00
26,00	24,50	28,00	24,75
26,00	24,50	28,25	25,00
25,25	24,25	27,00	24,75
25,00	23,25	27,00	25,75
26,00	23,25	27,25	25,25
25,25	23,00	27,75	23,75
26,25	23,50	28,00	23,75
26,50	23,75	28,75	23,75
26,75	23,50	27,75	22,50
26,00	23,50	27,00	23,00
24,75	23,25	27,50	22,50
25,00	23,00	26,75	22,75
25,00	23,25	26,50	24,00
25,25	23,50	26,25	23,00
24,75	23,00	26,50	23,50
25,75	23,25	25,75	23,50
24,50	22,75	25,50	23,00
-	-	25,75	24,00
-	-	25,25	23,75

Atleta Márcio - T_a = 28°C			
TÉCIDO TÉRMICO		TÉCIDO USUAL	
T_{ie} (°C)	T_{ee} (°C)	T_{ie} (°C)	T_{ee} (°C)
28,00	28,00	33,75	29,75
27,50	26,75	33,25	26,75
26,00	27,00	33,00	25,50
26,75	25,25	32,75	24,50
27,25	26,25	32,50	24,50
26,50	25,75	32,75	25,00
25,75	26,50	32,25	26,75
25,25	26,50	30,50	26,25
24,25	26,00	30,50	25,75
25,25	25,50	29,75	25,25
25,25	26,25	29,00	25,50
25,75	25,00	28,75	26,75
25,25	26,75	28,50	26,50
24,75	25,50	29,50	27,00
25,00	25,00	30,00	25,00
24,50	24,25	30,50	23,25
26,00	25,50	29,00	23,75
26,00	25,25	28,75	24,25
25,00	25,00	27,00	25,00
25,50	26,25	27,75	25,25
25,75	25,25	28,75	23,75
25,50	24,75	28,50	23,50
25,75	23,75	29,25	23,25
25,25	25,00	28,50	23,00
25,75	24,00	28,50	23,25
25,25	24,25	28,50	23,25
25,00	25,00	28,00	23,00

Atleta Ives - T_a = 25°C			
TÉCIDO TÉRMICO		TÉCIDO USUAL	
T_{ie} (°C)	T_{ee} (°C)	T_{ie} (°C)	T_{ee} (°C)
29,00	29,50	29,00	29,25
27,50	27,50	27,50	27,75
26,25	26,00	27,00	26,75
26,25	24,50	27,00	26,00
26,00	24,50	26,75	25,75
25,50	23,50	27,00	26,75
25,50	23,00	27,50	26,50
25,25	23,50	27,75	27,25
25,50	23,00	27,50	27,50
25,75	23,00	28,00	26,00
25,25	23,00	27,25	26,75
25,50	23,50	26,50	27,00
24,25	22,75	27,25	27,50
25,75	23,75	27,50	26,25
25,50	23,00	27,00	26,25
25,50	23,25	26,25	26,50
26,00	23,75	26,50	26,50
25,75	23,50	27,00	26,25
25,00	23,25	27,25	26,50
25,00	23,00	27,75	26,00
25,25	22,75	27,50	26,25
25,50	23,00	27,75	26,00
25,00	22,75	27,00	26,75
24,50	23,00	26,00	26,25
23,75	22,75	27,25	26,25
23,75	23,00	26,00	26,00