

UNIVERSIDADE DO VALE DO ITAJAÍ
CENTRO TECNOLÓGICO DA TERRA E DO MAR
CURSO TECNÓLOGO EM GESTÃO DE EMERGÊNCIAS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**A TRANSFERÊNCIA DE CALOR ATRAVÉS DA ROUPA DE
COMBATE A INCÊNDIOS.**

ROBERTO WEINGARTNER

São José
2007

UNIVERSIDADE DO VALE DO ITAJAÍ
CENTRO TECNOLÓGICO DA TERRA E DO MAR
CURSO TECNÓLOGO EM GESTÃO DE EMERGÊNCIAS

ROBERTO WEINGARTNER

**A TRANSFERÊNCIA DE CALOR ATRAVÉS DA ROUPA DE
COMBATE A INCÊNDIOS.**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Gestão de Emergências pela Universidade do Vale de Itajaí, Centro Tecnológico da Terra e do Mar.

Orientador: Prof. Fernando Henrique Milanez

Co-orientadora: 1º Ten. BM Adriana Souza da Silva Ewald

São José

2007

UNIVERSIDADE DO VALE DO ITAJAÍ
CENTRO TECNOLÓGICO DA TERRA E DO MAR
CURSO TECNÓLOGO EM GESTÃO DE EMERGÊNCIAS

ROBERTO WEINGARTNER

**A TRANSFERÊNCIA DE CALOR ATRAVÉS DA ROUPA DE
COMBATE A INCÊNDIOS.**

Esta Monografia foi julgada adequada para a obtenção do título de Tecnólogo em Gestão de Emergências e aprovada pelo Curso Superior de Tecnologia em Gestão de Emergências da Universidade do Vale do Itajaí, Centro de Educação São José.

Área de Concentração: Tecnologia e Gestão

São José, dede 2007.

Prof. Fernando Henrique Milanez
UNIVALI – CE de São José
Orientador

Cap BM Giovanni Matiuzzi Zacarias
UNIVALI – CE de São José
Membro

1º Ten. BM Alexandre da Silva
UNIVALI – CE de São José
Membro

Dedico este trabalho aos meus queridos pais, Valdir e Lourdes que acreditaram no meu potencial e que tudo terminaria de forma positiva.

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos aos professores da Universidade do Vale do Itajaí do Curso Superior de Tecnologia em Gestão de Emergências principalmente ao meu orientador professor Dr. Fernando Henrique Milanez que se mostrou muito prestativo, bem como aos instrutores militares do Centro de Ensino Bombeiro Militar.

Agradecimento aos meus amigos de classe: Fazzioni, Sandro, Diogo, Ananias, Zevir, Fragas, Ferreira, Leandro e Dárcio pelos momentos nos quais passamos juntos nestes 3 anos e 8 meses de curso. Só nós sabemos o quanto foi complicado e difícil.

Agradeço também a todos os bombeiros militares, principalmente ao Cap. Vieira, Cap. Matiuzzi, Ten Alexandre e a Ten. Adriana, que de alguma forma contribuíram para que este trabalho fosse concluído no prazo e sem transtornos.

Agradecimento mais que especial aos meus pais Valdir e Lourdes, meus irmãos Daniella e Fernando, minha namorada Juliana e sua mãe Maria das Neves pelo apoio aos meus estudos.

Que Deus abençoe a todos.

“As melhores conquistas são gratificantes e envaidecedoras quando adquiridas com seu próprio talento e capacidade e não por benesses.”

Sônia Nogueira

RESUMO

WEINGARTNER, Roberto. **A Transferência de Calor Através da Roupa de Combate a Incêndios**. 2007. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnológico) – Centro Tecnológico da Terra e do Mar, Universidade do Vale do Itajaí, São José, 2007.

O estudo é direcionado à transferência de calor da roupa para o combatente quando em ação nos incêndios. O assunto é controverso e vem gerando dúvidas quanto ao método mais adequado no uso de roupas especiais no combate ao fogo, se o Equipamento de Proteção Individual deve estar seco, molhado somente na parte externa ou se molhado em ambas as partes, interna e externa.

Através do trabalho de pesquisa e principalmente das experiências realizadas em laboratório, será demonstrado qual o método mais eficaz e sanar de vez as dúvidas existentes dentre os membros da Corporação, padronizando ações e oferecer maior proteção e melhor desempenho.

Palavras-chave: Transferência de calor. Roupas de Proteção de Combate a Incêndios. Corpo de Bombeiros.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.2	PROBLEMA.....	17
1.3	HIPÓTESES	18
1.4	OBJETIVOS	18
1.4.1	Objetivo Geral.....	18
1.4.2	Objetivos Específicos.....	18
1.5	JUSTIFICATIVA	19
2	TRANSFERÊNCIA DE CALOR	20
2.1	RELAÇÃO ENTRE TRANSFERÊNCIA DE CALOR E TERMODINÂMICA ...	22
2.2	RELEVÂNCIA DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR.....	23
2.3	MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR	24
2.4	CONDUÇÃO.....	24
2.5	CONVECÇÃO.....	25
2.6	RADIAÇÃO	27
2.7	MECANISMOS COMBINADOS	28
2.8	SISTEMAS DE UNIDADES	29
2.9	LEI DE FOURIER.....	30
2.10	ANALOGIA ENTRE RESISTÊNCIA TÉRMICA E RESISTÊNCIA ELÉTRICA	33
2.11	LEI BÁSICA PARA CONVECÇÃO	34
2.12	CAMADA LIMITE	36
2.13	RESISTÊNCIA TÉRMICA NA CONVECÇÃO	37
2.14	MECANISMOS COMBINADOS – CONDUÇÃO E CONVECÇÃO	38
2.15	PRINCÍPIOS DA RADIAÇÃO TÉRMICA.....	40
2.16	CORPO NEGRO E CORPO CINZENTO.....	41
2.17	LEI DE STEFAN-BOLTAMANN	42
2.18	EFEITO COMBINADO CONDUÇÃO-CONVECÇÃO-RADIAÇÃO.....	43
2.19	ISOLAMENTO TÉRMICO.....	43
2.19.1	Características de um Bom Isolante.....	44
2.19.2	Materiais Isolantes	45
2.19.3	Formas dos Isolantes.....	46
2.19.4	Aplicação dos Isolantes.....	46
3	EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL (EPI)	48

3.1	CONCEITO	48
3.2	TIPOS DE RISCOS	49
3.3	CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O EPI	50
3.4	O USO DA ROUPA DE PROTEÇÃO NO COMBATE A INCÊNDIOS	51
3.5	IMPLICAÇÕES LEGAIS DO NÃO USO DO EPI	52
3.6	FIBRAS ARAMIDA	53
3.6.1	As Fibras NOMEX	54
3.6.2	As Fibras KEVLAR.....	55
3.7	A COMPOSIÇÃO DAS FIBRAS	56
3.8	RESISTÊNCIA AO ROMPIMENTO	56
3.9	RESISTÊNCIA À ABRASÃO	57
3.10	PERMEABILIDADE COM O AR.....	58
3.11	PERMEABILIDADE COM LÍQUIDOS	59
3.12	INFLAMABILIDADE	59
3.13	PROPRIEDADES TÉRMICAS.....	60
4	EXPERIÊNCIA EM LABORATÓRIO.....	61
4.1	MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	61
4.1.1	MUFLA (FORNO)	61
4.1.2	TERMOPAR.....	63
4.1.3	ESTILETE	64
4.1.4	CHAVE PHILIPS	64
4.1.5	ALICATE UNIVERSAL.....	65
4.1.6	CRONÔMETRO.....	66
4.1.7	GRAMPEADOR.....	67
4.1.8	LUVAS TÉRMICAS	68
4.1.9	CAMADAS DA ROUPA DE PROTEÇÃO.....	69
4.1.10	BÉCHER.....	72
4.1.11	TERMÔMETRO.....	72
4.1.12	CONECTOR.....	73
4.2	PROCEDIMENTO	74
4.2.1	Montagem do Palco	74
4.2.2	Roupa Seca.....	77
4.2.3	Roupa Molhada Externamente ou Parcialmente Molhada.....	82
4.2.4	Roupa Totalmente Molhada.....	90

5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	98
5.1	TERMOPAR T1	98
5.2	TERMOPAR T2	99
5.3	TERMOPAR T3	100
5.4	TERMOPAR T4	101
5.5	TERMOPAR T5	102
5.6	TERMOPAR T6	103
5.7	TERMOPARES NA ROUPA SECA.....	104
5.8	TERMOPARES NA ROUPA PARCIALMENTE MOLHADA	105
5.9	TERMOPARES NA ROUPA TOTALMENTE MOLHADA	106
8	CONCLUSÃO	108
	REFERÊNCIAS	110
	BIBLIOGRAFIA	111

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

BM – Bombeiro Militar

CBMSC – Corpo de Bombeiro Militar de Santa Catarina

EPI – Equipamento de Proteção Individual

EPR – Equipamento de Proteção Respiratório

NBR – Norma Brasileira de Regulamentação

NFPA – National Fire Protection Association

OBM – Organização de Bombeiro Militar

IFSTA - International Fire Service Training Association

UNIVALI – Universidade do Vale do Itajaí

S.I. – Sistema Internacional

CLT – Consolidação das Leis de Trabalho

PTFE - Politetrafluoretileno

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Equilíbrio térmico	20
FIGURA 2 – Transferência de calor por condução	21
FIGURA 3 – Transferência de calor por convecção.....	21
FIGURA 4 – Transferência de calor por radiação.....	22
FIGURA 5 – Gás entre duas superfícies a temperaturas diferentes	24
FIGURA 6 – Convecção de uma superfície para um fluido em movimento.....	25
FIGURA 7 – Convecção natural.....	26
FIGURA 8 – Mecanismos de transferência de calor através da garrafa térmica.....	28
FIGURA 9 – Condução em regime permanente.....	30
FIGURA 10 – Transferência de calor por condução unidimensional	32
FIGURA 11 – Variação da condutividade térmica com a temperatura para alguns metais	33
FIGURA 12 – Parede de resistência R atravessada por um fluxo de calor \dot{q}	34
FIGURA 13 – Camada limite hidrodinâmica sobre uma chapa plana	36
FIGURA 14 – Camada limite na transferência convectiva de calor	37
FIGURA 15 – Transferência de calor através de uma parede plana	38
FIGURA 16 – Espectro de ondas eletromagnéticas	40
FIGURA 17 – Comparação do poder emissivo de corpo negro, cinzento e superfície real	41
FIGURA 18 – Balanço de energia para se ter conservação de energia.....	43
FIGURA 19 – Figura mostrando a resistência do NOMEX à rasgadura	57
FIGURA 20 – Figura de resistência à abrasão do NOMEX.....	58
FIGURA 21 – Proteção térmica do NOMEX.....	60
FIGURA 22 – Grampeador	67
FIGURA 23 – Luvas Térmicas.....	68
FIGURA 24 – Béquero.....	72

LISTA DE FOTOS

FOTO 1 – Mufla.....	62
FOTO 2 – Mufla vista lateral	62
FOTO 3 – Termopar.....	63
FOTO 4 – Estilete	64
FOTO 5 – Chave Philips	65
FOTO 6 – Alicates universal	66
FOTO 7 – Cronômetro	67
FOTO 8 – Primeira camada da roupa de proteção de combate a incêndios.....	69
FOTO 9 – Segunda camada da roupa de proteção de combate a incêndios.....	70
FOTO 10 – Terceira camada da roupa de proteção de combate a incêndios	71
FOTO 11 – Quarta camada da roupa de proteção de combate a incêndios	71
FOTO 12 – Termômetro	73
FOTO 13 – Conector	74
FOTO 14 – Termopar sendo conectado ao conector	75
FOTO 15 – Conector conectado ao termômetro	75
FOTO 16 – Disposição dos termopares na roupa	76

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – Variação da temperatura x tempo no termopar T1	99
GRÁFICO 2 – Variação da temperatura x tempo no termopar T2	100
GRÁFICO 3 – Variação da temperatura x tempo no termopar T3	101
GRÁFICO 4 – Variação da temperatura x tempo no termopar T4	102
GRÁFICO 5 – Variação da temperatura x tempo no termopar T5	103
GRÁFICO 6 – Variação da temperatura x tempo no termopar T6	104
GRÁFICO 7 – Variação da temperatura x tempo na roupa seca.....	105
GRÁFICO 8 – Variação da temperatura x tempo na roupa parcialmente molhada	106
GRÁFICO 9 – Variação da temperatura x tempo na roupa totalmente molhada.....	107

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Temperatura termopar T1 para roupa seca	77
TABELA 2 – Temperatura termopar T2 para roupa seca	78
TABELA 3 – Temperatura termopar T3 para roupa seca	79
TABELA 4 – Temperatura termopar T4 para roupa seca	80
TABELA 5 – Temperatura termopar T5 para roupa seca	81
TABELA 6 – Temperatura termopar T6 para roupa seca	82
TABELA 7 – Temperatura termopar T1 para roupa molhada externamente	84
TABELA 8 – Temperatura termopar T2 para roupa molhada externamente	85
TABELA 9 – Temperatura termopar T3 para roupa molhada externamente	86
TABELA 10 – Temperatura termopar T4 para roupa molhada externamente.....	87
TABELA 11 – Temperatura termopar T5 para roupa molhada externamente.....	88
TABELA 12 – Temperatura termopar T6 para roupa molhada externamente.....	89
TABELA 13 – Temperatura termopar T1 para roupa totalmente molhada	91
TABELA 14 – Temperatura termopar T2 para roupa totalmente molhada	92
TABELA 15 – Temperatura termopar T3 para roupa totalmente molhada	93
TABELA 16 – Temperatura termopar T4 para roupa totalmente molhada	94
TABELA 17 – Temperatura termopar T5 para roupa totalmente molhada	95
TABELA 18 – Temperatura termopar T6 para roupa totalmente molhada	96

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Unidades dos sistemas de unidades mais comuns.....	29
QUADRO 2 – Unidades derivadas dos sistemas de unidades mais comuns	30
QUADRO 3 – Ordens de grandeza do coeficiente de película (h).....	36

1 INTRODUÇÃO

A condutividade térmica é uma das principais variáveis envolvidas nos incêndios sendo necessária a determinação das taxas de aquecimento admissíveis à permanência do bombeiro no local de incêndio.

Além disso, a crescente utilização de novas técnicas de combate a incêndios tem impulsionado a busca por propriedades térmicas e mecânicas em função da temperatura que afetam diretamente os combatentes no momento de adentrar a edificação ou qualquer outro local onde esteja ocorrendo o incêndio expondo-os às altas temperaturas.

Conceitos como temperatura, calor, formas de propagação de calor e outros conceitos teóricos importantes, inclusive do funcionamento do equipamento utilizado, serão mencionados neste trabalho.

Com a leitura do comportamento da passagem do calor através da roupa de proteção busca-se a aproximação de uma situação real, uma vez que a precisão das simulações está diretamente relacionada com o que é visto no dia a dia do combatente. Seria ideal que as técnicas de medida possibilitassem a determinação pontual da propriedade, ou seja, mostrasse realmente em qual das situações apresentadas o bombeiro estaria mais seguro e em contra partida uma das outras mostraria em que situação estaria mais exposta.

Dentre as várias técnicas disponíveis para a avaliação da condutividade térmica optou-se pela utilização do termopar (termômetro) e um forno (mufla) que chega a temperatura de até 1300 °C tendo como variáveis as condições da roupa (seca, totalmente molhada e molhada somente por fora) e a relação temperatura x tempo.

1.2 PROBLEMA

Até que ponto o acúmulo de água nas camadas da roupa de proteção contra incêndios usados pelos bombeiros combatentes poderá influenciar na segurança e conforto térmico do mesmo?

Possibilitando assim um maior tempo de exposição.

1.3 HIPÓTESES

Se a roupa de proteção contra incêndios estiver totalmente seca melhor será o retardamento do calor, fornecendo ao bombeiro combatente maior segurança e conforto.

Se a roupa de proteção contra incêndios estiver parcialmente molhada melhor será o retardamento do calor, fornecendo ao bombeiro combatente maior segurança e conforto.

Se a roupa de proteção contra incêndios estiver totalmente molhada melhor será o retardamento do calor, fornecendo ao bombeiro combatente maior segurança e conforto.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo geral

Fazer uma leitura prática através de experimento laboratorial do comportamento da transferência de calor através das camadas da roupa de proteção contra incêndios.

1.4.2 Objetivos específicos

Ampliar a margem de segurança em relação ao conforto térmico do combatente.

Aperfeiçoar as ações executadas pelas guarnições de combate a incêndios da corporação.

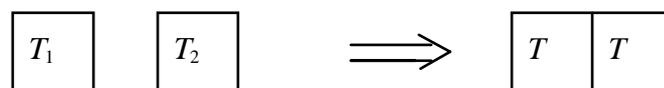
1.5 JUSTIFICATIVA

A transferência de calor da roupa para o combatente quando em ação nos incêndios é um assunto que sempre gerou grandes dúvidas dentro do bombeiro. Devido a essas dúvidas será feito uma análise frente ao comportamento da transferência de calor através da roupa utilizada para combater incêndios, efetuando uma aferição em laboratório de uma situação mais próxima da real encontrada no cotidiano do bombeiro a fim de encontrar qual a melhor situação (roupa seca, roupa molhada somente por fora ou totalmente molhada) e sanar de vez essa dúvida.

2 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Transferência de Calor é energia em trânsito, sem a presença de trabalho, devido a uma diferença de temperatura. Sempre que existir uma diferença de temperatura em um meio ou entre meios diferentes ocorrerá transferência de calor (INCROPERA; DEWITT, 1998).

Por exemplo, se dois corpos com diferentes temperaturas são dispostos em contato direto, como mostra a Figura 1, ocorrerá uma transferência de calor do corpo de maior temperatura para o corpo de menor temperatura até que haja igualdade de temperatura entre eles. Diz-se que o sistema tende a alcançar o equilíbrio térmico.



$$\text{Se } T_1 > T_2 \rightarrow T_1 > T > T_2$$

Figura 1 – Equilíbrio térmico

Fonte: Do autor.

O calor é portanto um fenômeno transitório, que cessa quando não existe mais uma diferença de temperatura.

Os diferentes processos de transferência de calor são referidos como mecanismos de transferência de calor. Existem três mecanismos que podem ser reconhecidos:

Quando a transferência de energia ocorrer em um meio estacionário, que pode ser um sólido ou um fluido (gás ou líquido), em virtude de um gradiente de temperatura, usa-se o termo transferência de calor por condução (INCROPERA; DEWITT, 1998). A Figura 2 ilustra a transferência de calor por condução através de uma parede sólida submetida à uma diferença de temperatura entre seus lados.

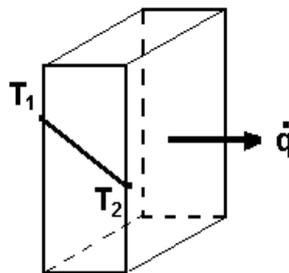


Figura 2 – Transferência de calor por condução

Fonte: (INCROPERA; DEWITT, 1992, p. 03)

Quando a transferência de energia ocorrer entre uma superfície e um fluido em movimento em virtude da diferença de temperatura entre eles, usa-se o termo transferência de calor por convecção (INCROPERA; DEWITT, 1998). A Figura 3 ilustra a transferência de calor por convecção quando um fluido escoia sobre uma placa aquecida.

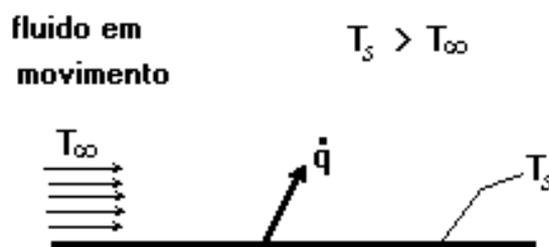


Figura 3 – Transferência de calor por convecção

Fonte: (INCROPERA; DEWITT, 1992, p. 02)

Quando, na ausência de um meio interveniente, existe uma troca líquida de energia (emitida na forma de ondas eletromagnéticas) entre duas superfícies a diferentes temperaturas, usa-se o

termo radiação (INCROPERA; DEWITT, 1998). A Figura 4 ilustra a transferência de calor por radiação entre duas superfícies com temperaturas diferentes.

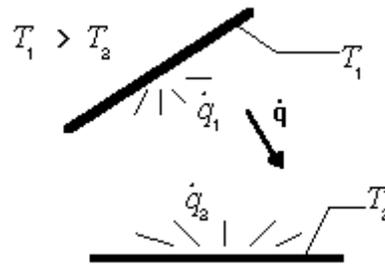


Figura 4 – Transferência de calor por radiação

Fonte: (INCROPERA; DEWITT, 1992, p. 02)

2.1 RELAÇÃO ENTRE TRANSFERÊNCIA DE CALOR E TERMODINÂMICA

A Termodinâmica trata da relação entre o calor e as outras formas de energia. A energia pode ser transferida através de interações entre o sistema e o que estiver ao seu redor. Estas interações são denominadas calor e trabalho, que são as únicas formas de energia que podem passar por essa fronteira do sistema (INCROPERA; DEWITT, 1998).

A 1ª Lei da Termodinâmica pode ser enunciada assim: "A variação de energia interna de um sistema é dada pela diferença entre o calor trocado com o meio exterior e o trabalho realizado no processo termodinâmico" (RAMALHO et al, 1999, p.166).

A primeira lei mostra que não se pode criar ou destruir a energia, enquanto a segunda lei estabelece que determinados processos não podem ocorrer. A primeira lei não distingue calor e trabalho, mas a segunda lei faz uma distinção muito entre eles. Observa-se que certos

processos não ocorrem naturalmente, parece haver uma direção natural para que eles aconteçam. Cita-se como exemplo uma gota de tinta colocada em um balde cheio de líquido espalhando-se naturalmente através dele. Será praticamente impossível que as moléculas do líquido se agrupem restaurando a gota inicial (SCHIMIDT et al, 2001).

A 2ª Lei da Termodinâmica pode ser enunciada assim: O calor não passa espontaneamente de um corpo frio para outro de temperatura mais alta (RAMALHO et al, 1999).

Entretanto existe uma diferença fundamental entre a transferência de calor e a termodinâmica. Embora a termodinâmica trate das interações do calor e o papel que ele desempenha na primeira e na segunda lei, ela não leva em conta nem o mecanismo de transferência nem os métodos de cálculo da taxa de transferência de calor.

A termodinâmica lida com estados de equilíbrio da matéria onde não existem gradientes de temperatura. Embora a termodinâmica possa ser usada para determinar a quantidade de energia requerida na forma de calor para um sistema passar de um estado de equilíbrio para outro, ela não pode quantificar a taxa (velocidade) na qual a transferência do calor ocorre. A transferência de calor procura fazer aquilo o que a termodinâmica é inerentemente incapaz de fazer (INCROPERA; DEWITT, 1998).

2.2 RELEVÂNCIA DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR

A transferência de calor é fundamental na vida dos bombeiros combatentes. Assim como o engenheiro mecânico enfrenta problemas de refrigeração de motores, de ventilação, ar condicionado, etc., o bombeiro não pode subjulgar a transferência de calor nos pequenos e grandes incêndios, principalmente aqueles em ambientes confinados, onde as temperaturas dos gases e do ambiente chegam aos surpreendentes 700°C, colocando em risco a vida dos mesmos.

Em nível idêntico, o engenheiro químico ou nuclear necessita da mesma ciência em estudo sobre evaporação, condensação ou nos trabalhos em refinarias e reatores, enquanto o eletricista e o eletrônico a utiliza no cálculo de transformadores, geradores e dissipadores de

calor na microeletrônica, e o engenheiro naval aplica em profundidade a transferência de calor em caldeiras, máquinas térmicas e outros equipamentos. Até mesmo o engenheiro civil e o arquiteto sentem a importância de, em seus projetos, prever o isolamento térmico adequado que garanta o conforto dos ambientes. Como visto, a transferência de calor é importante para a maioria de problemas industriais, ambientais e também no dia a dia do bombeiro combatente.

2.3 MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

A transferência de calor pode ser definida como a transferência de energia de uma região para outra como resultado de uma diferença de temperatura entre elas (INCROPERA; DEWITT, 1998). É necessário entender os mecanismos físicos que permitem a transferência de calor para poder quantificar a quantidade de energia transferida na unidade de tempo. Os mecanismos são a condução, que depende somente de um ΔT (diferença de temperatura), a convecção, que depende de um ΔT e transporte de massa, e a radiação.

2.4 CONDUÇÃO

A condução pode ser definida como o processo no qual a energia é transferida 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 direto. Este mecanismo pode ser visualizado como a transferência de energia de partículas mais energéticas para partículas menos energéticas de uma substância devido a interações entre elas (KREITH, 1998).

O mecanismo da condução pode ser entendido considerando, como exemplo, um gás submetido a uma diferença de temperatura. A Figura 5 mostra um gás entre duas placas a diferentes temperaturas:

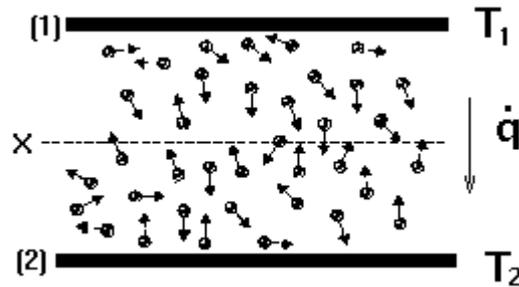


Figura 5 – Gás entre duas superfícies a temperaturas diferentes

Fonte: (INCROPERA; DEWITT, 1992, p. 02)

Explicando o que está acontecendo no exemplo citado acima, o gás ocupa o espaço entre duas superfícies [1] e [2] mantidas a diferentes temperaturas de modo que a temperatura no meio um [T_1] é maior que a temperatura no meio dois [T_2]. Como altas temperaturas estão associadas com energias moleculares maiores, as moléculas próximas à superfície são mais energéticas (movimentam-se mais rápido). O plano hipotético X é constantemente atravessado por moléculas de cima e de baixo. Entretanto, as moléculas de cima estão associadas a terem mais energia que as de baixo, devido a temperatura ser mais alta. Portanto, existe uma transferência líquida de energia do meio [1] para o meio [2] por condução (INCROPERA; DEWITT, 1998).

Para os líquidos o processo é basicamente o mesmo, embora as moléculas estejam menos espaçadas e as interações sejam mais fortes e mais frequentes. Para os sólidos existem basicamente dois processos (ambos bastante complexos). Sólido mau condutor de calor, onde a transferência de calor se dá pelas ondas de vibração da estrutura cristalina. E sólido bom condutor de calor, onde a transferência de calor se dá pelo movimento dos elétrons livres e vibração da estrutura cristalina (INCROPERA; DEWITT, 1998).

2.5 CONVECÇÃO

A convecção pode ser definida como o processo pelo qual energia é transferida das porções quentes para as porções frias de um fluido através da ação combinada de: condução de calor, armazenamento de energia e movimento de mistura (KREITH, 1998).

O mecanismo da convecção pode ser mais facilmente entendido considerando, por exemplo, um circuito impresso (chip) sendo refrigerado (ar ventilado), como mostra a Figura 6:

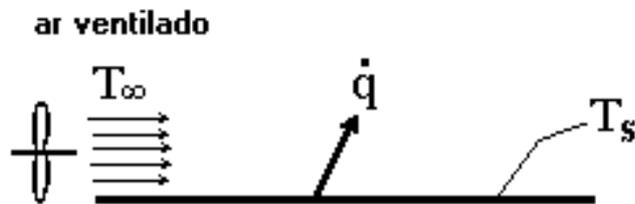


Figura 6 - Convecção de uma superfície para um fluido em movimento

Fonte: (INCROPERA; DEWITT, 1992, p. 02)

Explicando o caso acima, a velocidade da camada de ar próxima à superfície é muito baixa em razão das forças de atrito. Nesta região o calor é transferido por condução. Ocorrendo assim um armazenamento de energia pelas partículas presentes nesta região. Na medida que estas partículas passam para a região de alta velocidade, elas são carregadas pelo fluxo, transferindo calor para as partículas mais frias. Neste caso diz-se que a convecção foi forçada, pois o movimento de mistura foi induzido por um agente externo, no caso um ventilador.

Suponha-se que o ventilador seja retirado. Neste caso, as partículas que estão próximas à superfície continuam recebendo calor por condução e armazenando a energia. Estas partículas tem sua temperatura elevada e, portanto a densidade reduzida. Já que são mais leves elas sobem trocando calor com as partículas mais frias (e mais pesadas) que descem. Neste caso diz-se que a convecção é natural.

Percebe-se então que no primeiro caso a quantidade de calor transferida será maior pelo fato do ventilador ajudar consideravelmente o movimento dessas partículas. Poderia ter sido usado também uma combinação destes dois processos sendo assim chamada de convecção mista (INCROPERA; DEWITT, 1998).

Um exemplo bastante conhecido de convecção natural é o aquecimento de água em uma panela doméstica como mostrado na Figura 7. Para este caso, o movimento das moléculas de água pode ser observado visualmente.

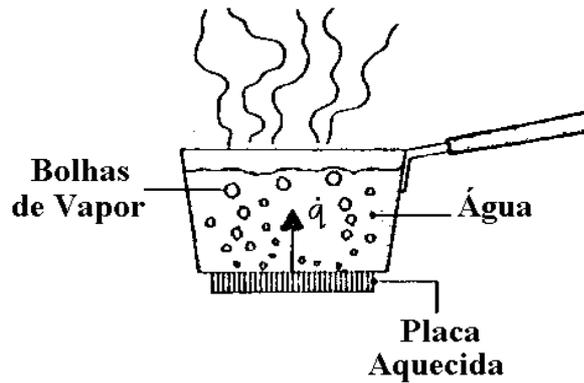


Figura 7 – Convecção natural

Fonte: (INCROPERA; DEWITT, 1992, p. 05)

2.6 RADIAÇÃO

A radiação pode ser definida como o processo pelo qual calor é transferido de uma superfície em alta temperatura para uma superfície em temperatura mais baixa quando tais superfícies estão separadas no espaço, ainda que exista vácuo entre elas. A energia assim transferida é chamada radiação térmica e é feita sob a forma de ondas eletromagnéticas (KREITH, 1998).

O exemplo mais evidente que se pode dar é o próprio calor que se recebe do sol. Neste caso, mesmo havendo vácuo entre a superfície do sol (cuja temperatura é aproximadamente 5500 °C) e a superfície da terra, a vida na terra depende desta energia recebida. Esta energia chega até nós na forma de ondas eletromagnéticas. As ondas eletromagnéticas são comuns a muitos outros fenômenos: raio-X, ondas de rádio e TV, microondas e outros tipos de radiações. Outra forma de transferência de calor por radiação é aquela na qual as chamas do fogo de um incêndio trocam calor com o combatente que está no ambiente em chamas, esta troca é chamada de troca de calor por radiação do tipo gás para superfície (KREITH, 1998).

As emissões de ondas eletromagnéticas podem ser atribuídas às variações das configurações eletrônicas dos constituintes de átomos e moléculas, e ocorrem devido a vários fenômenos. Porém, para a transferência de calor interessa apenas as ondas eletromagnéticas resultantes de uma diferença de temperatura (radiações térmicas) (KREITH, 1998).

Algumas características da radiação são que todos os corpos em temperatura acima do zero absoluto, ou zero Kelvin, emitem continuamente radiação térmica e outra é que as intensidades das emissões dependem somente da temperatura e da natureza da superfície emitente. A velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas da radiação térmica é a da velocidade da luz no meio. No caso do vácuo este valor é de 300.000 km/s (SCHIMIDT et al, 2001).

2.7 MECANISMOS COMBINADOS

Na maioria das situações práticas ocorrem ao mesmo tempo dois ou mais mecanismos de transferência de calor. Quando um dos mecanismos domina quantitativamente, soluções aproximadas podem ser obtidas desprezando-se os outros mecanismos, mantendo apenas o dominante. Entretanto, deve ficar entendido que variações nas condições do problema podem fazer com que um mecanismo desprezado se torne importante. Como exemplo pode-se citar uma garrafa térmica, onde ocorrem ao mesmo tempo vários mecanismos de transferência de calor. Neste caso, pode-se ter a atuação conjunta dos seguintes mecanismos esquematizados na Figura 8:

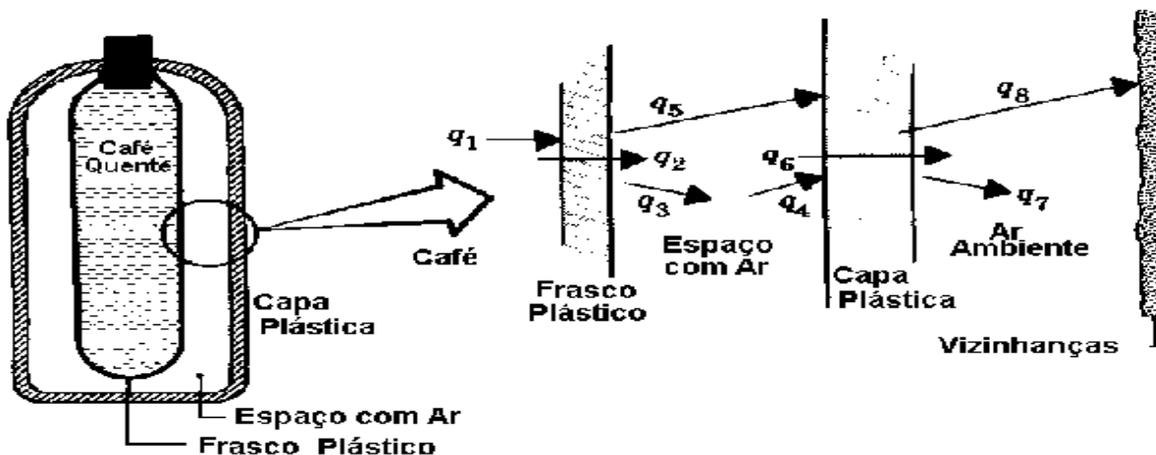


Figura 8 – Mecanismos de transferência de calor através da garrafa térmica

Fonte: (INCROPERA; DEWITT, 1992, p. 13)

- q₁ : convecção natural entre o café e a parede do frasco plástico
- q₂ : condução através da parede do frasco plástico
- q₃ : convecção natural do frasco para o ar
- q₄ : convecção natural do ar para a capa plástica
- q₅ : radiação entre as superfícies externa do frasco e interna da capa plástica
- q₆ : condução através da capa plástica
- q₇ : convecção natural da capa plástica para o ar ambiente
- q₈ : radiação entre a superfície externa da capa e as vizinhanças

O aumento da capacidade de retenção do calor nestes sistemas é conseguido com o uso de superfícies aluminizadas para o frasco e a capa de modo a reduzir a radiação e a evacuação do espaço com ar para reduzir a convecção natural (INCROPERA; DEWITT, 1998).

2.8 SISTEMAS DE UNIDADES

As dimensões fundamentais são quatro : tempo, comprimento, massa e temperatura. Unidades são meios de expressar numericamente as dimensões (KREITH, 1998). Apesar de ter sido adotado internacionalmente o sistema métrico de unidades denominado sistema internacional (S.I.), o sistema inglês e o sistema prático métrico ainda são amplamente utilizados em todo o mundo (KREITH, 1998). Na Tabela 1 estão as unidades fundamentais para os três sistemas citados:

Quadro 1 - Unidades dos sistemas de unidades mais comuns

SISTEMA	TEMPO, t	COMPRIMENTO,L	MASSA ,m	TEMPERATURA
S.I.	segundo,s	metro,m	quilograma,kg	Kelvin,k
INGLÊS	segundo,s	pé,ft	libra-massa,lbm	Fahrenheit,°F
MÉTRICO	segundo,s	metro,m	quilograma,kg	celsius,°C

Fonte: Do autor

Unidades derivadas mais importantes para a transferência de calor, mostradas na Tabela 2, são obtidas por meio de definições relacionadas a leis ou fenômenos físicos:

- Lei de Newton : Força é igual ao produto de massa por aceleração ($F = m.a$), então: 1 Newton (N) é a força que acelera a massa de 1 Kg a 1 m/s^2 .
- Trabalho (Energia) tem as dimensões do produto da força pela distância ($\tau = F.d$), então: 1 Joule (J) é a energia dispendida por uma força de 1 N em 1 m.
- Potência tem dimensão de trabalho na unidade de tempo ($P = \tau / t$), então: 1 Watt (W) é a potência dissipada por uma força de 1 J em 1 s (KREITH, 1998).

Quadro 2 - Unidades derivadas dos sistemas de unidades mais comuns

SISTEMA	FORÇA,F	ENERGIA,E	POTÊNCIA,P
S.I.	Newton,N	Joule,J	Watt,W
INGLÊS	libra-força,lbf	lbf-ft (Btu)	Btu/h
MÉTRICO	Kilograma-força,kgf	kgm (kcal)	kcal/h

Fonte: Do autor

As unidades mais usuais de energia (Btu e Kcal) são baseadas em fenômenos térmicos, e definidas como: 1 Btu é a energia requerida na forma de calor para elevar a temperatura de 1lbm de água de $67,5 \text{ }^\circ\text{F}$ a $68,5 \text{ }^\circ\text{F}$ e 1 Kcal é a energia requerida na forma de calor para elevar a temperatura de 1kg de água de $14,5 \text{ }^\circ\text{C}$ a $15,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Em relação à transferência de calor, as unidades geralmente utilizadas são: W, Btu/h e Kcal/h (KREITH, 1998).

2.9 LEI DE FOURIER

A lei de Fourier foi proposta por volta de 1811 para prever a taxa de transferência de calor por condução. Ela é fenomenológica, ou seja, foi desenvolvida a partir da observação dos fenômenos da natureza em experimentos. Imagina-se um experimento onde o fluxo de calor resultante é medido após a variação das condições experimentais. Considera-se, por exemplo, a transferência de calor através de uma barra de ferro com uma das extremidades aquecidas e com a área lateral isolada termicamente, como mostra a Figura 9 (INCROPERA; DEWITT, 1998):

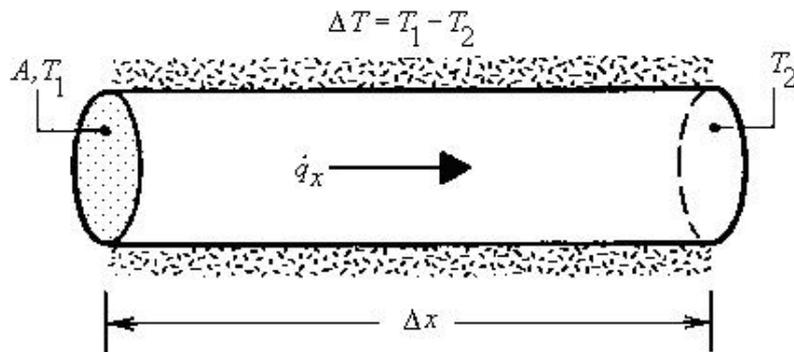


Figura 9 – Condução em regime permanente

Fonte: (INCROPERA; DEWITT, 1992, p. 22)

Com base em experiências, variando a área da seção da barra, a diferença de temperatura e a distância entre as extremidades, chega-se a seguinte relação de proporcionalidade:

$$\dot{q} \propto A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1)$$

A proporcionalidade pode se convertida para igualdade através de um coeficiente de proporcionalidade e a Lei de Fourier pode ser enunciada assim: A quantidade de calor transferida por condução, na unidade de tempo, em um material, é igual ao produto das seguintes quantidades:

$$\dot{q} = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \quad (2)$$

Onde:

- \dot{q} é fluxo de calor por condução (Kcal/h no sistema métrico);
- k é a condutividade térmica do material;
- A a área da seção através da qual o calor flui por condução, medida perpendicularmente à direção do fluxo (m^2);
- dT/dx o gradiente de temperatura na seção, isto é, a razão de variação da temperatura T , na direção do fluxo de calor ($^{\circ}C/h$) (INCROPERA; DEWITT, 1998).

A razão do sinal menos na equação de Fourier é que a direção do aumento da distância x deve ser a direção do fluxo de calor positivo (Figura 10). Como o calor flui do ponto de

temperatura mais alta para o de temperatura mais baixa (gradiente negativo), o fluxo só será positivo quando o gradiente for positivo (multiplicado por -1) (SCHIMIDT et al, 2001).

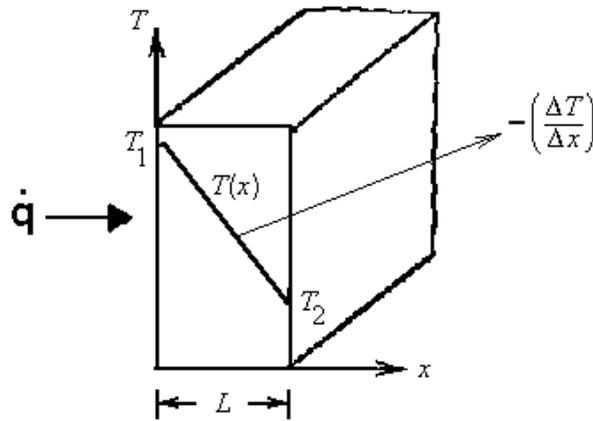


Figura 10 – Transferência de calor por condução unidimensional

Fonte: (INCROPERA; DEWITT, 1992, p. 03)

O fator de proporcionalidade \$k\$ que surge da equação de Fourier é a chamada condutividade térmica. Ela é uma propriedade de cada material e vem exprimir a maior ou menor facilidade que um material apresenta à condução de calor. Sua unidade é obtida da própria equação de Fourier (equação 2), como mostra a equação 3 abaixo:

$$\dot{q} = -k.A.\frac{dT}{dx} \Rightarrow k = -\frac{\dot{q}}{A.\frac{dT}{dx}} \left(\frac{\text{Kcal/h}}{\text{m}^2 \frac{\text{°C}}{\text{m}}} = \frac{\text{Kcal}}{\text{h.m.°C}} \right) \quad (3)$$

No sistema inglês a unidade final fica assim: $\frac{\text{Btu}}{\text{h.ft.°F}}$

No sistema internacional a unidade final fica assim: $\frac{\text{W}}{\text{m.K}}$

Os valores da condutividade térmica variam em extensa faixa dependendo da constituição química, estado físico e temperatura dos materiais. Quando o valor de \$k\$ é elevado o material é considerado bom condutor térmico e, caso contrário, isolante térmico. Com relação à temperatura, em alguns materiais como o alumínio e o cobre, o \$k\$ varia muito pouco com a temperatura, porém em outros, como alguns aços, o \$k\$ varia significativamente com a

temperatura. Nestes casos, adota-se como solução um valor médio de k em um intervalo de temperatura (INCROPERA; DEWITT, 1998). A variação da condutividade térmica (no S.I.) com a temperatura é mostrada na Figura 11 para alguns metais.

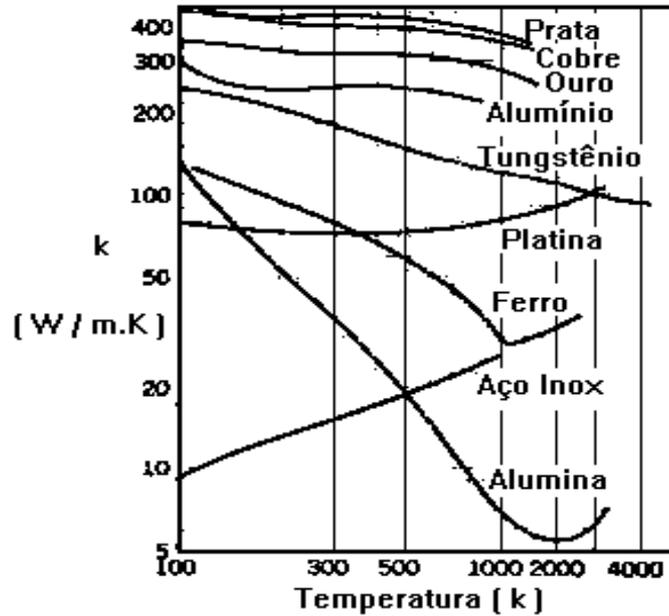


Figura 11 – Variação da condutividade térmica com a temperatura para alguns metais

Fonte: (INCROPERA; DEWITT, 1992, p. 24)

2.10 ANALOGIA ENTRE RESISTÊNCIA TÉRMICA E RESISTÊNCIA ELÉTRICA

Dois sistemas são análogos quando eles obedecem a equações semelhantes. Isto significa que a equação de descrição de um sistema pode ser transformada em uma equação para outro sistema pela simples troca dos símbolos das variáveis. Por exemplo, a equação 2 que fornece o fluxo de calor através de uma parede plana pode ser colocada na seguinte forma:

$$\dot{q} = \frac{\Delta T}{\frac{L}{k.A}} \quad (4)$$

O denominador e o numerador da equação 4 podem ser entendidos assim:

(ΔT) é a diferença entre a temperatura da face quente e da face fria, consiste no potencial que causa a transferência de calor;

$(L / k.A)$ é equivalente a uma resistência térmica (R) que a parede oferece à transferência de calor.

Portanto, o fluxo de calor através da parede pode ser expresso da seguinte forma:

$$\dot{q} = \frac{\Delta T}{R} \quad \text{onde, } \Delta T \text{ é o potencial térmico e} \quad (5)$$

R é a resistência térmica da parede

Se substituir na equação 5 o símbolo do potencial de temperatura ΔT pelo de potencial elétrico, isto é, a diferença de tensão ΔU , e o símbolo da resistência térmica R pelo da resistência elétrica R_e , obtém-se a equação 6 (lei de Ohm) para i , a intensidade de corrente elétrica:

$$i = \frac{\Delta U}{R_e} \quad (6)$$

Dada esta analogia, é comum a utilização de uma notação semelhante a usada em circuitos elétricos, quando se representa a resistência térmica de uma parede ou associações de paredes. Assim, uma parede de resistência R , submetida a um potencial ΔT e atravessada por um fluxo de calor \dot{q} , pode ser representada como mostra a Figura 12 (INCROPERA; DEWITT, 1998):

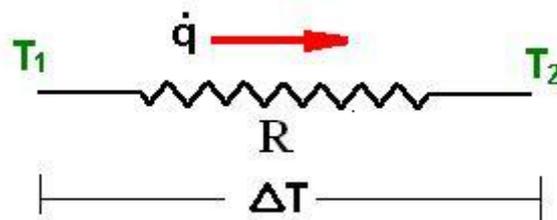


Figura 12 – Parede de resistência R atravessada por um fluxo de calor \dot{q}

Fonte: Do autor

2.11 LEI BÁSICA PARA CONVECÇÃO

O calor transferido por convecção, na unidade de tempo, entre uma superfície e um fluido, pode ser calculado através da seguinte relação proposta por Isaac Newton (KREITH, 1998):

$$\dot{q} = h.A.\Delta T \quad (7)$$

onde, \dot{q} = fluxo de calor transferido por convecção (kcal/h);

A = área de transferência de calor (m^2);

ΔT = diferença de temperatura entre a superfície (T_s) e a do fluido em um local bastante afastado da superfície (T_T);

h = coeficiente de transferência de calor por convecção ou coeficiente de película.

Vale ressaltar que esta equação é inadequada para explicar o mecanismo físico de transmissão de calor por convecção. A simplicidade da equação de Newton é ilusória, pois ela não explicita as dificuldades envolvidas no estudo da convecção, servindo apenas como uma definição do coeficiente de película (h). O coeficiente de película é, na realidade, uma função complexa do escoamento do fluido, das propriedades físicas do meio fluido e da geometria do sistema. Seu valor numérico não é, em geral, uniforme sobre a superfície. Por isto utiliza-se um valor médio para a superfície (KREITH, 1998). A partir da equação 7, podem ser obtidas as unidades do coeficiente de película. No sistema prático métrico, tem-se:

$$h = \frac{\dot{q}}{A.\Delta T} \quad \frac{Kcal / h}{m^2.^{\circ}C} = \frac{Kcal}{h.m^2.^{\circ}C}$$

Analogamente, nos sistemas Inglês e Internacional, tem-se:

$$\text{Sistema Inglês} \rightarrow \frac{Btu}{h.ft^2.^{\circ}F} \quad \text{Sistema Internacional} \rightarrow \frac{W}{m^2.K}$$

O Quadro 3 mostra, para diversos meios, ordens de grandeza do coeficiente de película em unidade do sistema prático métrico:

Quadro 3 - Ordens de grandeza do coeficiente de película (h)

Meio	W/m ² .K
Ar, convecção natural	5-25
Vapor, convecção forçada	25-250
Óleo, convecção forçada	50-1500
Água, convecção forçada	250-10000
Água convecção em ebulição	2500-50000
Vapor, em condensação	5000-100000

Fonte: (INCROPERA; DEWITT, 1992, p. 05)

2.12 CAMADA LIMITE

Quando um fluido escoar ao longo de uma superfície, seja o escoamento em regime laminar ou turbulento, as partículas na vizinhança da superfície são desaceleradas em virtude das forças viscosas (KREITH, 1998). A porção de fluido contida na região de variação substancial de velocidade, ilustrada na Figura 13, é denominada de camada limite hidrodinâmica.

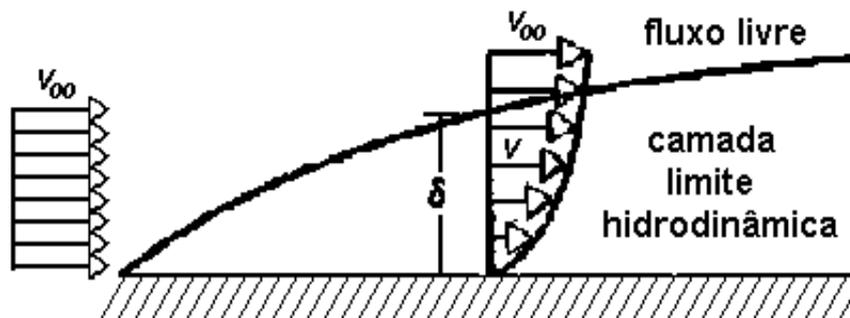


Figura 13 – Camada limite hidrodinâmica sobre uma chapa plana

Fonte: (INCROPERA; DEWITT, 1992, p. 144)

Considere-se agora o escoamento de um fluido ao longo de uma superfície quando existe uma diferença de temperatura entre o fluido e a superfície. Neste caso, O fluido contido na região

de variação substancial de temperatura é chamado de camada limite térmica (INCROPERA; DEWITT, 1998). Por exemplo, analisa-se a transferência de calor para o caso de um fluido escoando sobre uma superfície aquecida, como mostra a Figura 14.

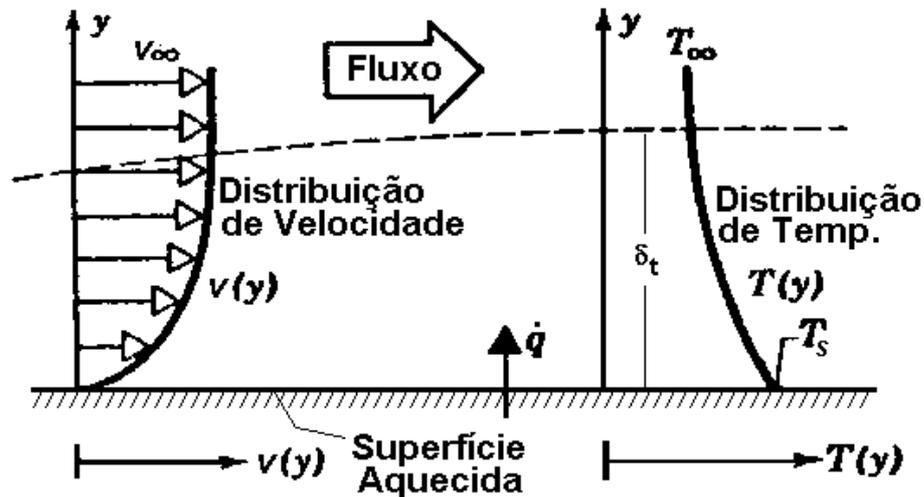


Figura 14 – Camada limite na transferência convectiva de calor
 Fonte: (INCROPERA; DEWITT, 1992, p. 04)

O mecanismo da convecção pode então ser entendido como a ação combinada de condução de calor na região de baixa velocidade onde existe um gradiente de temperatura e movimento de mistura na região de alta velocidade. Portanto:

- Região de baixa velocidade => a condução é mais importante;
- Região de alta velocidade => a mistura entre o fluido mais quente e o mais frio contribui substancialmente para a transferência de calor.

2.13 RESISTÊNCIA TÉRMICA NA CONVECÇÃO

Como observado anteriormente, a expressão para o fluxo de transferência de calor por convecção é:

$$\dot{q} = h.A.\Delta T \quad (8)$$

Um fluxo de calor também é uma relação entre um potencial térmico e uma resistência:

$$\dot{q} = \frac{\Delta T}{R} \quad (9)$$

Igualando-se as equações 9 e 10 obtém-se a expressão para a resistência térmica na convecção:

$$R = \frac{1}{h \cdot A} \quad (10)$$

2.14 MECANISMOS COMBINADOS - CONDUÇÃO E CONVECÇÃO

Considere-se uma parede plana situada entre dois fluidos a diferentes temperaturas. Se as temperaturas T_1 e T_4 dos fluidos são constantes será estabelecido um fluxo de calor único e constante através da parede (regime permanente) conforme figura 15. Um exemplo desta situação é o fluxo de calor gerado pela combustão dentro de um forno, que transpassa a parede por condução e se dissipa no ar atmosférico.

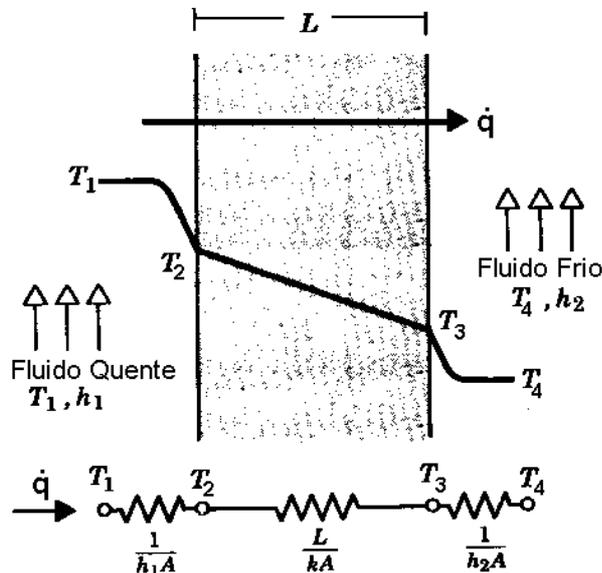


Figura 15 – Transferência de calor através de uma parede plana

Fonte: (INCROPERA; DEWITT, 1992, p. 38)

Utilizando a equação 8 e a equação para o fluxo de calor em uma parede plana $\dot{q} = \frac{k \cdot A}{L} \cdot \Delta T$,

pode-se obter as equações para o fluxo de calor (\dot{q}) transferido pelo forno:

$$\dot{q} = h_1 \cdot A \cdot (T_1 - T_2) \quad (11)$$

$$\dot{q} = \frac{k \cdot A}{L} (T_2 - T_3) \quad (12)$$

$$\dot{q} = h_2 \cdot A \cdot (T_3 - T_4) \quad (13)$$

Colocando as diferenças de temperatura nas equações 10 a 13 em evidência e somando membro a membro, obtem-se:

$$\begin{aligned} (T_1 - T_2) &= \frac{\dot{q}}{h_1 \cdot A} \\ (T_2 - T_3) &= \frac{\dot{q} \cdot L}{k \cdot A} \\ (T_3 - T_4) &= \frac{\dot{q}}{h_2 \cdot A} \\ \hline T_1 - T_2 + T_2 - T_3 + T_3 - T_4 &= \dot{q} \cdot \left(\frac{1}{h_1 \cdot A} + \frac{L}{k \cdot A} + \frac{1}{h_2 \cdot A} \right) \end{aligned}$$

Substituindo as expressões para as resistências térmicas à convecção e à condução em parede plana na equação acima, obtem-se o fluxo de calor cedido pelo forno:

$$\dot{q} = \frac{T_1 - T_4}{\frac{1}{h_1 \cdot A} + \frac{L}{k \cdot A} + \frac{1}{h_2 \cdot A}} = \frac{T_1 - T_4}{R_1 + R_2 + R_3} \Rightarrow \dot{q} = \frac{(\Delta T)_{total}}{R_t} \quad (14)$$

Logo, quando ocorre a ação combinada dos mecanismos de condução e convecção, a analogia com a eletricidade continua válida, sendo que a resistência total é igual à soma das resistências que estão em série, não importando se por convecção ou condução.

2.15 PRINCÍPIOS DA RADIAÇÃO TÉRMICA

Radiação térmica é o processo pelo qual o calor é transferido de um corpo, sem o auxílio de um meio material, em virtude das oscilações dos elétrons que constituem a matéria, oscilações essas sustentadas pela energia interna, portanto pela temperatura, da matéria. Associa-se a emissão de radiação térmica a excitação térmica no interior da matéria. Ao contrário dos outros dois mecanismos (condução e convecção) a radiação não necessita da existência de um meio interveniente (INCROPERA; DEWITT, 1998).

A radiação térmica ocorre perfeitamente no vácuo, não havendo, portanto, necessidade de um meio material para a colisão de partículas ou transferência de massa. Isto acontece porque a radiação térmica se propaga através de ondas eletromagnéticas. A radiação térmica é, portanto, um fenômeno ondulatório semelhante às ondas de rádio, radiações luminosas, raio-X, raios-g, etc, sendo diferente apenas no comprimento de onda (INCROPERA; DEWITT, 1998). Este conjunto de fenômenos de diferentes comprimentos de ondas, representado simplificadaamente na Figura 16, é conhecido como distribuição espectral da radiação eletromagnética.

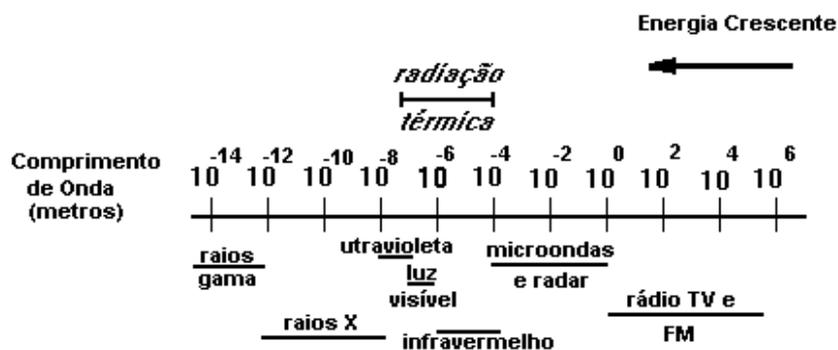


Figura 16 – Espectro de ondas eletromagnéticas

Fonte: (KREITH, 1998, p. 175)

A análise espectroscópica, que é uma técnica que emprega a absorção de radiação eletromagnética, infravermelha ou ultravioleta, revela que a intensidade das radiações térmicas é comandada pela temperatura da superfície emissora. A faixa de comprimentos de onda englobados pela radiação térmica fica aproximadamente entre 0,1 e 100 μm ($1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$). Essa faixa é subdividida em ultravioleta, visível e infravermelho. O sol, com temperatura de superfície da ordem de 6000 K, emite a maior parte de sua energia abaixo de 3 μm , enquanto que um filamento de lâmpada, a 1000 $^{\circ}\text{C}$, emite mais de 90 % de sua radiação entre 1 μm e 10 μm (KREITH, 1998).

Todo material com temperatura acima de 0 K (zero kelvin ou zero absoluto) emite ininterruptamente radiações térmicas. Poder de emissão (E) é a energia radiante total emitida por um corpo, por unidade de tempo e por unidade de área (Kcal/h.m^2).

2.16 CORPO NEGRO e CORPO CINZENTO

Corpo Negro, ou irradiador ideal, é um corpo que emite e absorve, a qualquer temperatura, a máxima quantidade possível de radiação em qualquer comprimento de onda. O irradiador ideal é um conceito teórico que estabelece um limite superior de radiação de acordo com a segunda lei da termodinâmica. É um conceito teórico padrão com o qual as características de radiação dos outros meios são comparadas (KREITH, 1998, p. 175).

Corpo Cinzento é o corpo cuja energia emitida ou absorvida é uma fração da energia emitida ou absorvida por um corpo negro (KREITH, 1998), sendo que esta fração é constante com o comprimento de onda. As características de radiação dos corpos cinzentos se aproximam das características dos corpos reais, como mostra esquematicamente a Figura 17.

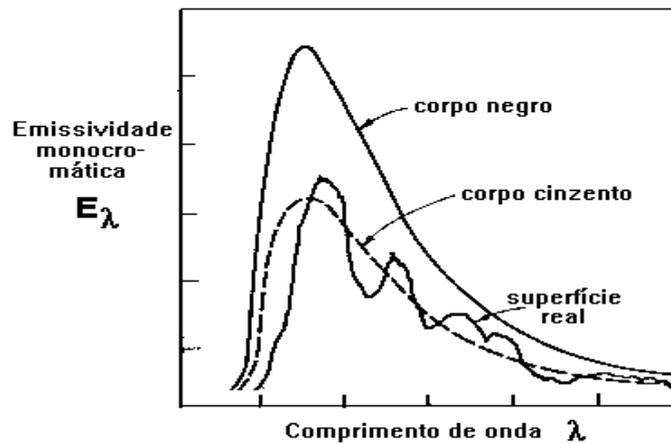


Figura 17 – Comparação do poder emissivo de corpo negro, cinzento e superfície real
 Fonte: (KREITH, 1998, p. 187)

Emissividade é a relação entre o poder de emissão de um corpo real e o poder de emissão de um corpo negro.

$$\boxed{\varepsilon = \frac{E_c}{E_n}} \quad (15)$$

Onde, E_c = poder de emissão de um corpo cinzento e E_n = poder de emissão de um corpo negro.

Para os corpos cinzentos a emissividade (ε) será sempre menor que 1, valor este usado para corpos negros.

2.17 LEI DE STEFAN-BOLTZMANN

A partir da determinação experimental de Stefan e da dedução matemática de Boltzmann, chega-se a conclusão que a quantidade total de energia emitida por unidade de área de um corpo negro e na unidade de tempo, ou seja, o seu poder de emissão (E_n), é proporcional a quarta potência da temperatura absoluta:

$$\boxed{E_n = \sigma.T^4} \quad (16)$$

Onde, $\sigma = 4,88 \times 10^{-8} \text{ Kcal/h.m}^2.K^4$ (constante de Stefan - Boltzmann) e T = temperatura absoluta (em graus Kelvin) (SCHIMIDT, et al, 2001).

Nos outros sistemas de unidades a constante de Stefan-Boltzmann fica assim:

- Sistema Inglês $\rightarrow \sigma = 0,173 \times 10^{-8} \text{ Btu/h.ft}^2 \cdot \text{R}^4$;
- Sistema Internacional $\rightarrow \sigma = 5,6697 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$.

2.18 EFEITO COMBINADO CONDUÇÃO - CONVECÇÃO - RADIAÇÃO

Suponha-se uma parede plana qualquer submetida a uma diferença de temperatura. Na face interna a temperatura é T_1 e na face externa tem-se uma temperatura T_2 maior que a temperatura do ar ambiente T_3 , como mostra a Figura 18. Neste caso, através da parede ocorre uma transferência de calor por condução até a superfície externa. A superfície transfere calor por convecção para o ambiente. Porém, existe também uma parcela de transferência de calor por radiação da superfície para as vizinhanças. Portanto, a transferência global é a soma das duas parcelas:

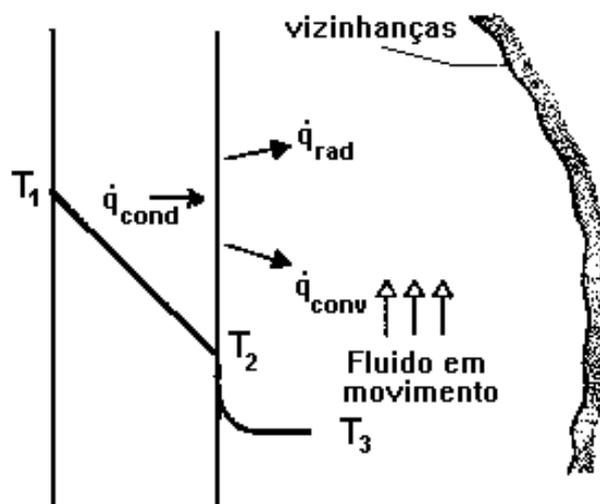


Figura 18 – Balanço de energia para se ter conservação de energia

Fonte: (INCROPERA; DEWITT, 1992, p. 38)

$$\dot{q}_{cond} = \dot{q}_{conv} + \dot{q}_{rad}$$

(18)

2.19 ISOLAMENTO TÉRMICO

O isolamento térmico consiste em proteger as superfícies aquecidas, como a parede de um forno, ou resfriadas, como a parede de um refrigerador, através da aplicação de materiais de baixa condutividade térmica (k). O principal objetivo do estudo dos isolantes térmicos é minimizar os fluxos de calor. No caso dos bombeiros, o objetivo é a busca do estado de conforto dos combatentes do fogo.

Geralmente os isolantes térmicos aprisionam ar ($k = 0,02 \text{ kcal/h.m.}^{\circ}\text{C}$, estacionados) em pequenas cavidades de um material sólido de modo a evitar sua movimentação (diminui a convecção). Por isto, materiais porosos com poros pequenos e paredes finas de materiais de baixo valor de k , dão bons isolantes térmicos.

2.19.1 Características de um Bom Isolante

- Baixo Valor de k - Quanto menor o k , menor será a espessura necessária para uma mesma capacidade isolante.
- Baixo Poder Higroscópico - A água que penetra nos poros, substitui o ar, aumentando o valor de k . Além disto, quando se tratar de isolamento de ambientes cuja temperatura seja inferior a 10°C , existe a possibilidade da água absorvida passar para o estado sólido com conseqüente aumento de volume, o que causará ruptura das paredes isolantes.
- Baixa Massa Específica - Em certas aplicações, um bom isolante deve ser leve de modo a não sobrecarregar desnecessariamente o aparelho isolado, principalmente no caso de aviões, barcos, automóveis, ou ainda no caso de forros ou outras partes de fábricas e edifícios onde o material terá de ficar suspenso.
- Resistência Mecânica Compatível com o Uso - De maneira geral, quanto maior a resistência mecânica do material isolante, maior será o número de casos que ele poderá resolver, além do que, apresentará menor fragilidade, o que é conveniente nos processos de transportes e no tocante à facilidade de montagem.

- Incombustibilidade, Estabilidade Química e uma série de outras características são necessárias, dependendo da aplicação a que o material isolante se destina.

2.19.2 Materiais Isolantes

A maioria dos isolantes usados industrialmente são feitos dos seguintes materiais: amianto, carbonato de magnésio, sílica diatomácea, vermiculita, lã de rocha, lã de vidro, cortiça, plásticos expandidos, aglomerados de fibras vegetais, silicato de cálcio.

O amianto é um mineral que possui uma estrutura fibrosa, do qual se obtém fibras individuais. Para ele ser de boa qualidade deve possuir fibras longas e finas e, além disto, ser infusível (que não se pode fundir), ter resistência e flexibilidade.

O carbonato de magnésio é obtido do mineral "dolomita", e deve sua baixa condutividade ao grande número de microscópicas células de ar que contém.

A sílica diatomácea consiste de pequenos animais marinhos cuja carapaça se depositou no fundo dos lagos e mares.

A vermiculita é uma "mica" que possui a propriedade de se dilatar em um só sentido durante o aquecimento. O ar aprisionado em bolsas entre as camadas de mica torna este material um bom isolante térmico.

A lã de rocha ou lã mineral, assim como a lã de vidro, são obtidas fundindo minerais de sílica em um forno e vertendo a massa fundida em um jato de vapor a grande velocidade. O produto resultante, parecido com a lã, é quimicamente inerte e incombustível, e apresenta baixa condutividade térmica devido aos espaços com ar entre as fibras.

A cortiça é proveniente da casca de uma árvore e apresenta uma estrutura celular com ar encerrado entre as células.

Os plásticos expandidos são essencialmente o poliestireno e o poliuretano, que são produzidos destas matérias plásticas, as quais durante a fabricação sofrem uma expansão com formação de bolhas internas microscópicas.

2.19.3 Formas dos Isolantes

Os isolantes térmicos podem ser adquiridos em diversas formas, dependendo da constituição e da finalidade à qual se destinam. Alguns exemplos encontrados são:

- Calhas - Aplicados sobre paredes cilíndricas e fabricados a partir de cortiça, plásticos expandidos, fibra de vidro impregnadas de resinas fenólicas, etc.

- Mantas - Aplicados no isolamento de superfícies planas, curvas ou irregulares, como é o caso de fornos, tubulações de grande diâmetro, etc.

- Placas - Normalmente aplicados no isolamento de superfícies planas, como é o caso de câmaras frigoríficas, estufas, fogões, etc.

- Flocos - Geralmente aplicados para isolar locais de difícil acesso ou ainda na fabricação de mantas costuradas com telas metálicas e fabricados a partir de lãs de vidro e de rocha.

- Cordas - Aplicados no isolamento de registros, válvulas, juntas, cabeçotes, etc, principalmente em locais sujeitos a desmontagem para manutenção periódica.

- Pulverizados ou Granulados - Aplicados no isolamento de superfícies com configurações irregulares ou ainda no preenchimento de vãos de difícil acesso.

2.19.4 Aplicação dos Isolantes

Os isolantes podem ser usados na isolação de equipamentos ou dependências cuja temperatura deve ser mantida abaixo da temperatura ambiente local. Pode-se citar como exemplos: câmaras frigoríficas, refrigeradores, trocadores de calor usando fluidos a baixa temperatura,

etc. Neste caos, têm como principal problema a migração de vapores. O fenômeno da migração de vapores em isolamento de superfícies resfriadas é resultante de uma depressão interna causada pelas baixas temperaturas.

Os isolantes também são usados no isolamento de equipamentos ou dependências cuja temperatura deve ser mantida superior à temperatura ambiente local. Como exemplo, pode-se citar: estufas, fornos, tubulações de vapor, trocadores de calor usando fluidos a altas temperaturas. Nestas aplicações, eles apresentam como principal problema as dilatações provocadas pelas altas temperaturas. Neste caso, não existe o problema da migração de vapores, porém devem ser escolhidos materiais que passam suportar as temperaturas de trabalho.

3 EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL (EPI)

3.1 CONCEITO

O EPI, Equipamento de Proteção Individual, é definido na Norma Regulamentadora 6 (NR-6), da Portaria N° 3.214, de 8 de junho de 1978, do Ministério do Trabalho, como todo o dispositivo de uso individual destinado à proteção dos riscos que ameaçam a segurança e a saúde do trabalhador. De acordo com o Manual de Proteção Individual do Corpo de Bombeiros, o EPI é “todo o meio, recurso ou dispositivo de uso pessoal, destinado a preservar a integridade física do Bombeiro no exercício das missões de combate ao fogo”.

Tem-se de considerar que, o serviço prestado pelas guarnições de bombeiros, de modo geral, difere dos demais trabalhadores civis. Os bombeiros normalmente são chamados para agir em ambientes hostis e de consideráveis riscos a vida. Vale ressaltar, que dificilmente será encontrada uma condição de trabalho sem risco para os combatentes. Esse risco profissional está claramente escrito na Norma Regulamentadora 9 (NR-9) do Ministério do Trabalho, que o define como: “todo agente físico, químico ou biológico existente nos ambientes de trabalho e capazes de causar danos à saúde do trabalhador em função de sua natureza, concentração ou intensidade e tempo de exposição”, considera também: “os agentes mecânicos e outras condições de insegurança existentes no ambiente de trabalho que provocam lesões à integridade física do homem”.

Afinal, os equipamentos de proteção individual visam à proteção de praticamente todas as partes do corpo humano e de suas funções vitais. Alguns desses equipamentos são específicos, como os óculos de segurança, botas e luvas. Outros são de proteção global, como por exemplo o capacete usado atualmente pelo Corpo de Bombeiros de Santa Catarina, chamado capacete “Gallet”, que além de proteger a cabeça contra quedas de objetos, protege a região do pescoço contra queimaduras e os olhos da calor advinda de um incêndio ou de objetos que possam perfurá-los (GOMES JUNIOR, 1997)

3.2 TIPOS DE RISCOS

A atividade exercida pelo Bombeiro deve ser considerada quanto aos riscos existentes no seu ambiente de trabalho, podendo assim ser esses riscos de caráter:

- Físico – Envolve em seu ambiente fatores de radiação, variações de temperatura, ruídos, iluminação, variando em função das características da atividade e do local de trabalho, podendo causar danos à saúde e até mesmo acidentes;

- Químico - São os agentes químicos, que presentes no local de trabalho em suas variadas formas (sólido, líquido ou gasoso) podem, em contato com o organismo humano, causar intoxicação e morte;

- Biológico - São os microorganismos que eventualmente estão presentes no ambiente de trabalho, tais como bactérias, fungos, vírus, parasitas, animais peçonhentos entre outros. Em sua grande maioria esses microorganismos ou animais são responsáveis por doenças e podem causar problemas como, por exemplo, a decomposição dos alimentos que são ingeridos pelos trabalhadores. Podem ainda serem as causas do agravamento das condições de saúde preexistentes nos trabalhadores;

- Mecânico - caracterizam-se por serem causas de doenças ocupacionais, onde, muitas vezes, são geradoras de efeitos agravantes de atitudes e hábitos profissionais negativos ou repetitivos como a LER, Lesão por Esforço Repetitivo. Os efeitos que geram são normalmente sentidos nos órgãos internos, ligamentos e até mesmo nos ossos.

Outros riscos que podem causar condições de insegurança, capazes de originar lesões ao trabalhador, são aqueles ligados a parte física do ambiente de trabalho, como: pisos molhados, áreas em construção sem sinalização e a má disposição física do mobiliário (GOMES JUNIOR, 1997)

3.3 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O EPI

O uso do EPI é muito importante no serviço de bombeiros, pois, ao contrário de outras profissões, os locais nos quais os combatentes agem são os mais variados e inesperados.

Conseqüentemente, é importante que seja mostrado o que seria básico como equipamento de proteção individual no combate a incêndios, sendo isto estabelecido internacionalmente através de manuais e livros especializados, como as publicações da NFPA e da IFSTA, as quais servem de referência mundial.

A cabeça, onde fica localizada a maior parte dos órgãos sensoriais e também o cérebro, deve ser protegida por um capacete. No CBMSC, foi adotado um capacete de origem francesa, modelo “Gallet” que além da proteção fornecida ao crânio protege também a face, nuca, região auricular e olhos contra a radiação de calor e outros perigos. Além desta proteção usa-se também a balaclava que é uma capa que envolve a cabeça e o pescoço confeccionada com o tecido da dupont NOMEX como proteção antichama.

O EPI do combatente do fogo compõe-se também de uma jaqueta e de uma calça constituídas do mesmo material, retardante às chamas, prática de ser vestida ou removida, sendo ambas as peças de fácil limpeza e manutenção.

Para a proteção dos pés, as botas apresentam-se resistentes ao calor, à agressão de produtos químicos, descargas elétricas e também a eventuais abrasões.

As mãos serão protegidas por luvas, assim como as botas, devem ser resistentes ao calor, à agressão de produtos químicos, descargas elétricas e às abrasões.

De acordo com as normas internacionais NFPA e IFSTA, todo bombeiro exposto a atmosferas perigosas de incêndio e outras emergências em que existam perigos potenciais devem estar equipados com aparelhos autônomos de proteção respiratórias. A proteção respiratória é de importância fundamental, sendo que na maioria dos incêndios devido à existência de materiais diversificados, há um desprendimento de gases tóxicos oriundos destes, tornando o ambiente em chamas totalmente agressivo ao organismo humano, o que coloca o EPR como peça fundamental no combate a incêndios (GOMES JUNIOR, 1997)

3.4 O USO DA ROUPA DE PROTEÇÃO NO COMBATE A INCÊNDIOS

O uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI), por parte dos Bombeiros no atendimento de ocorrências, tem alterado o perfil dos atendimentos. Especificamente nas ocorrências de incêndios em edificações, o uso de conjuntos de aproximação permitiu o emprego de uma tática mais agressiva no controle às chamas. Entretanto, o seu uso é recente. No Estado Catarinense somente em 1998 o Corpo de Bombeiros Militar, adquiriu os seus primeiros conjuntos. Foram 200 conjuntos compostos de capacete, balaclava, roupas, luvas e botas. Até então, o EPI utilizado no atendimento das ocorrências de incêndio se limitava às capas 7/8 em algumas OBM's. Na sua maioria, os Bombeiros realizavam a extinção do incêndio usando a vestimenta do dia-a-dia que eram macacões de brim 100% algodão, luvas de vaqueta, botinas de couro e capacetes de fibra de vidro, chamados de “quebra telha”.

Essa vestimenta não conferia uma proteção adequada para o bombeiro enfrentar as chamas e o calor irradiado de um incêndio, fazendo com que a tática de combate ficasse restringida a um ataque defensivo, fora da edificação. Em um incêndio o bombeiro está sujeito a alguns perigos e ameaças, situação que pode provocar lesões ou danos nas pessoas, propriedades ou sistemas, como chamas, calor, vapor, quedas de partes da estrutura, telhas, líquidos aquecidos, objetos pontiagudos, gases tóxicos provenientes da combustão, entre outros dependendo da característica da edificação e da sua ocupação.

Como forma de enfrentar esses perigos e ameaças, o Bombeiro necessita diminuir a sua vulnerabilidade, ou seja, determinar o quanto pessoas e propriedades podem ser afetadas por um perigo ou ameaça, a fim de tornar o risco aceitável (compatível com a atividade que está se desenvolvendo), tornando a operação segura. O conjunto de aproximação para combate a incêndio estrutural, também chamado de roupa para combate a incêndio, é uma roupa que é usada sobreposta ao uniforme diário do Bombeiro, com o objetivo de lhe proteger das chamas, calor irradiado e vapores quentes. É confeccionada com tecidos ignífugos, que dificultam a combustão do material, usando processos de costuras especiais. Embora se saiba que muitos equipamentos são importados e alguns não estão adaptados para o biótipo dos homens, tem-se que concordar que se trata de peças nas quais garantem eficiente proteção (LOSSO, [2006?]).

3.5 IMPLICAÇÕES LEGAIS DO NÃO USO DO EPI

Não vestir o equipamento de proteção individual, seja pela sua inexistência, por não estar disponível ao homem no seu cotidiano, ou mesmo pelo não uso em função de vontade própria, implica em conseqüências diretas como ferimentos ou queimaduras relativos ao serviço no qual os bombeiros atuam diariamente, e indiretas como punições administrativas e outras do ramo do Direito no campo jurídico. Esta situação administrativa ou jurídica é amplamente estendida ao Bombeiro, mesmo sendo ele funcionário do Estado. O Governo, em casos de medidas judiciais levadas por acidentes de trabalho, será obrigado a indenizar e cuidar do funcionário.

A omissão do empregador, aqui o Estado, na adoção de medidas tendentes à prevenção de acidentes, pode ocasionar, de acordo com a gravidade ou repetição dos fatos, conseqüências jurídicas diversas, particularmente no campo do Direito Civil, sendo responsabilizado pela indenização, além das decorrentes do seguro obrigatório etc. É sabido que não existe possibilidade de se alegar o desconhecimento da lei. Há, no Brasil, a manifestação legal que visa proteger todos os trabalhadores no que tange à segurança. Os homens do fogo são também trabalhadores e, como tais, desenvolvem uma atividade de alto risco e insalubridade em seu grau máximo.

O uso do equipamento de proteção individual é obrigação legal. A Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), em seu artigo 166, diz que:

[...] a empresa é obrigada a fornecer aos empregados, gratuitamente, equipamento de proteção individual e em perfeito estado de funcionamento, sempre que as medidas de ordem geral não ofereçam completa proteção contra os riscos de acidentes e danos à saúde dos empregados.

O acidente do trabalho é aquele que ocorre pelo exercício do trabalho, a serviço da empresa, provocando lesão corporal, perturbação funcional ou mesmo doença que cause morte, perda, redução permanente ou temporária da capacidade para o trabalho. Isto diz respeito também à causa que, não sendo única, tenha contribuído para o resultado, podendo ocorrer no local do trabalho, a serviço da empresa, nos intervalos ou mesmo a caminho, que é o acidente sofrido no deslocamento entre a residência e o quartel e vice-versa. É interessante observar a NR6, que trata de equipamentos de proteção individual, estabelecendo em seu item 6.2 a obrigatoriedade do empregador em fornecer equipamento de proteção individual adequado ao risco e em perfeito estado de conservação e funcionamento. Ainda neste item 6.2, letra “c” é previsto o uso do EPI em atendimento às situações de emergência, no caso, a profissão de Bombeiro Militar (GOMES JUNIOR, 1997).

3.6 FIBRAS ARAMIDA

No Brasil, as fibras Aramidadas estão representadas pelas fibras NOMEX e KEVLAR. Estas fibras são produzidas pela “Dupont - Enginering Fibres” e recebem o nome de aramidadas porque pertencem a uma família de polímeros com determinadas propriedades em comum. As Aramidadas são constituídas por moléculas que contêm

anéis aromáticos de Benzeno e grupos de amidos. Na verdade, as Aramidas são macromoléculas lineares sintéticas, cujas cadeias estão constituídas por repetição de grupos aromáticos ligados a grupos de amida, estando com 85% dos grupos amidas ligados diretamente a anéis aromáticos. Os anéis aromáticos e as ligações de cadeia do amido, são particularmente fortes e resistentes às reações químicas. São essas cadeias que produzem um excelente grau de resistência ao calor. A Aramida NOMEX não se funde, carboniza-se somente quando exposta a altas temperaturas por um longo período. A Aramida KEVLAR tem excelentes propriedades de resistência à tensão e ao calor.

As características principais das aramidas são as seguintes:

- Incombustibilidade: As aramidas não entram em combustão, ou seja, elas não pegam fogo quando estão em altas temperaturas elas carbonizam sem a produção de chamas;
- Resistência ao Calor: As aramidas possuem uma excelente resistência ao calor, a carbonização do tecido NOMEX dá-se aos 370 °C e o KEVLAR a 480 °C;
- Resistência a Produtos Químicos: Apresenta ótima resistência a ácidos e bases;
- Pouco Tóxico: Os tecidos possuem uma baixa toxicidade, ou seja, libera uma pequena quantidade de gases tóxicos quando expostos às temperaturas de carbonização;
- Propriedades permanentes das Fibras: não sofrem qualquer perda ou diminuição de suas propriedades quando do uso prolongado ou após as lavagens;
- Resistência à Força de Tensão: são ótimas, em especial as fibras de KEVLAR, que, além da alta força específica, possuem um baixo peso específico;
- Resistência à Absorção: em especial, as fibras NOMEX possuem essas qualidades de resistência e absorção, além de excelentes propriedades têxteis que dão qualidade ao tecido (MASSARINI, 2000).

3.6.1 As Fibras NOMEX

As fibras NOMEX foram desenvolvidas há cerca de trinta anos. O seu objetivo de criação teve por principal meta a proteção, principalmente, contra o fogo. As fibras oferecem um alto nível de isolamento térmico e

somente começam a carbonizar quando a temperatura atingir os 380°C. A proteção que o NOMEX proporciona vem de sua estrutura molecular.

Muitas fibras, naturais ou manufaturadas, suportam até certo ponto o fogo na sua superfície, porém, podem progressivamente deteriorar-se e gerarem gases tóxicos. Mas além de suportar muito mais a exposição ao calor, as fibras NOMEX geram menos gases tóxicos que as outras fibras e tecidos neste processo. O NOMEX, sob a forte ação do calor, carboniza-se, mas uma vez tirada a fonte de calor, as chamas extinguem-se. Constitui-se, portanto, numa fibra com excelentes propriedades ignífugas.

Além das características inerentes às aramidas, as fibras NOMEX apresentam ainda:

- Excelentes condições de tingimento e a coloração do meio levam a um alto nível de solidez à luz;
- Excelentes propriedades têxteis e de resistência à abrasão;
- Disponibilidade em fibras curtas, filamentos contínuos, o que garante a sua aplicabilidade em vários tipos de tecidos, malhas e linhas de costura;
- Está eficazmente comprovada em vários testes de laboratórios feitos no primeiro mundo.

Nos países desenvolvidos tecnologicamente onde a segurança do trabalho obedece a normas criteriosas e rígidas, a proteção individual do homem é um fator importante e inquestionável. A busca e adoção de um melhor produto é constante, e é determinada pela ciência. Em muitos desses locais está sendo utilizado o NOMEX com grande sucesso (MASSARINI, 2000).

3.6.2 As Fibras KEVLAR

KEVLAR é uma fibra orgânica da família da poliamida aromática com propriedades distintas. Esta fibra possui uma combinação de alta força, dureza e estabilidade térmica. Foi desenvolvida em 1965 quando o poliéster dominava o planeta em termos de fibras artificiais. Para alcançar a máxima tenacidade e força, as moléculas de polímeros tiveram que ser configuradas com máxima extensão e em estado cristalino quase perfeito.

A fibra de KEVLAR, bem mais resistente que o NOMEX, também tem como função a proteção. Carboniza-se a uma temperatura altíssima e é bastante resistente à tensão. Devido a sua estrutura molecular, possui grande resistência ao encolhimento, no entanto, não possui boas qualidades para a tecelagem por problemas de tingimento e flexibilidade das fibras.

Além das propriedades das aramidas, as fibras KEVLAR possuem também:

- Alta resistência a tensão;
- Baixo peso específico, ou seja, fibra muito leve (MASSARINI, 2000);

3.7 A COMPOSIÇÃO IDEAL DAS FIBRAS

Observou-se que as fibras de NOMEX e KEVLAR possuem excelentes propriedades térmicas.

A Empresa Dupont desenvolveu várias combinações com os tecidos NOMEX e KEVLAR, com o objetivo de unir as duas qualidades de uma fibra à outra e desta forma relacionar os quesitos necessários a uma vestimenta de bombeiro, que são:

- Proteção contra calor e às chamas;
- Conforto, em relação ao peso da roupa;
- Resistência às lavagens e às altas temperaturas;
- Impermeável devido aos líquidos inflamáveis ou corrosivos;
- Resistência química;

Devido a essas qualidades e da necessidade, desenvolveu-se o “NOMEX Delta C” que é composto por uma mistura de NOMEX (93%), com KEVLAR (5%) e de outra fibra anti-estática (2%). Este produto foi desenvolvido para atuar especificamente nas atividades de bombeiros, apresentando um excelente desempenho com o peso e uma boa resistência térmica (MASSARINI, 2000).

3.8 RESISTÊNCIA AO ROMPIMENTO

Um tecido que rasga com facilidade é considerado um produto de baixa qualidade, exceto nas situações em que é importante o seu rompimento. No caso específico do uniforme usado no dia a dia do bombeiro, o rasgo é um

grande inconveniente e poderá ocorrer quando os fios se romperem individualmente ou em grupos pequenos. Por isso é importante a resistência destes e, neste ponto, as fibras NOMEX E KEVLAR apresentam grandes qualidades evidenciadas sobre as demais fibras e fios.

O rasgo ocorre quando o tecido é submetido a uma força que faz com que os fios se juntem em grupos. Este agrupamento de fios é facilitado se os fios forem lisos e puderem escorregar uns sobre os outros. Fios contínuos possibilitam pouco atrito e são lisos. Já os fios retorcidos proporcionam mais atrito e os fios NOMEX E KEVLAR proporcionam este atrito mais ainda, porque são fios retorcidos duplamente, por isso são mais resistentes ao rasgo (ver figura 19), (MASSARINI, 2000).

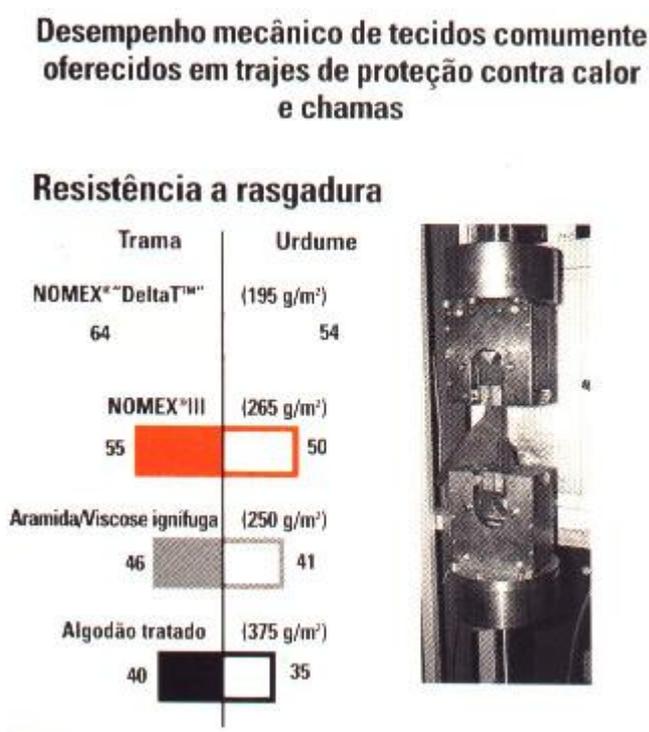


Figura 19 – Figura mostrando a resistência do NOMEX à rasgadura
Fonte: Dupont, [200?]

3.9 RESISTÊNCIA À ABRASÃO

O estudo do comportamento do tecido é feito a partir de resultados obtidos em ensaios laboratoriais. O problema do uso e desgaste dos tecidos é muito complexo, pelo que se torna mais conveniente abordar o assunto, introduzindo alguns conceitos e termos utilizados.

O termo “vida útil de um tecido” encontra-se relacionado com a capacidade do mesmo servir ou não para o fim no qual foi projetado. De maneira geral, o uso do tecido é o resultado de um número de fatores que reduzem a sua vida útil. Alguns dos mais importantes agentes do uso é a flexão, a extensão, o rasgo, a abrasão e a lavagem.

O uniforme tem a sua durabilidade vinculada diretamente à sua boa apresentação, sem imperfeições, deformações, rasgos ou abrasão demasiada. Assim, pode-se dizer que em condições normais, quanto mais alta for a resistência do tecido à abrasão mais longa será a vida útil do uniforme. As aramidas possuem algumas propriedades que as distinguem das demais, e uma delas é a alta resistência principalmente do KEVLAR, que transportou parte dessas qualidades ao “NOMEX Delta C”. Testes comprovam que os tecidos NOMEX E KEVLAR resistem mais à abrasão que os tecidos de algodão tratado, conforme figura 19 (MASSARINI, 2000).

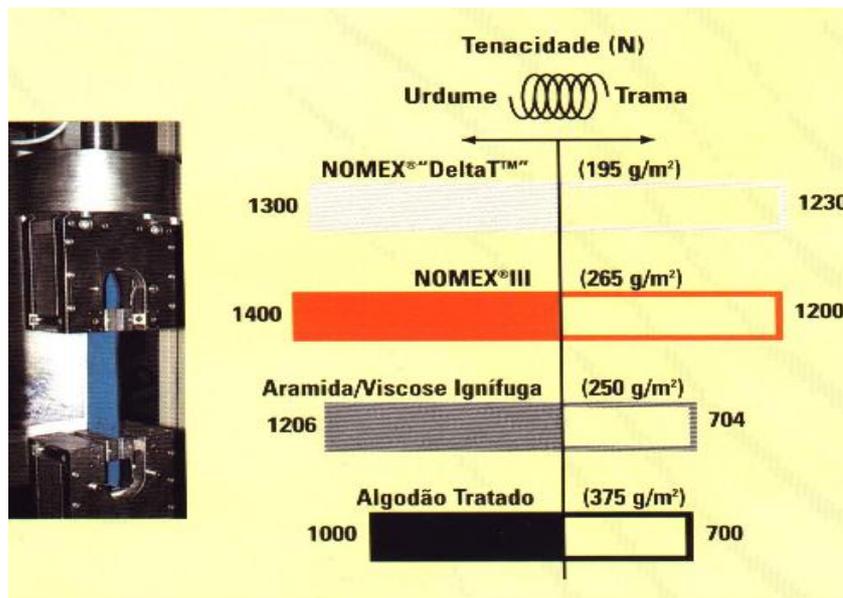


Figura 20 – Figura de resistência a abrasão do NOMEX
 Fonte: Dupont, [200?]

3.10 PERMEABILIDADE COM O AR

Conforme a maneira que os fios e os tecidos são construídos, pode haver uma maior ou menor retenção de ar em seu interior. A distribuição dos espaços ou bolhas de ar influencia num elevado número de propriedades dos tecidos, tais como o isolamento térmico e a proteção contra o vento e a chuva. O NOMEX e o KEVLAR, no caso, fazem quase que um isolamento térmico ideal, já que se está falando de combate ao fogo e exposição direta às chamas e calor. Quanto mais isolado ficar o combatente, mais protegido ele também ficará. Outro fator da impermeabilidade é que não permita a entrada de ar impedindo assim a entrada de poeira, sujeiras ou produtos químicos.

3.11 PERMEABILIDADE COM LÍQUIDOS

Existem tecidos que têm a função de impedir a entrada de água, outros têm a função de não deixar a água, alguns

devem absorver a água rapidamente. O tecido do EPI para combate a incêndios, não deve permitir a permeabilidade com os líquidos, pelo fato dos Bombeiros lidarem diretamente com líquidos inflamáveis, corrosivos ou que tragam algum dano direto ao combatente. Devido a esta impermeabilidade a água também se torna de difícil penetração nos tecidos NOMEX e KEVLAR, mas isso não quer dizer que a roupa não deva ser molhada durante um combate às chamas.

3.12 INFLAMABILIDADE

Tecidos resistentes às chamas são indiscutivelmente necessários para compor um uniforme de Bombeiro. Os riscos aos incêndios são elevados. Os homens do Corpo de Bombeiros, a qualquer momento, seja ele da prontidão ou da administração poderão ser acionados para atuar nos incêndios.

A resistência dos tecidos ao fogo encontra-se principalmente relacionada com o tipo de fibra utilizada. No entanto, abordou-se pontos sobre tratamentos com produtos químicos que podem tornar um tecido antichama, mas vários estudiosos alegam que esta característica não é permanente, e com o tempo, o tecido começa a perder essa proteção. A importância das fibras quanto a esta qualidade é fundamental. As fibras NOMEX E KEVLAR têm a característica, inerente à fibra, de serem antichama. Elas carbonizam a 400 °C, e esta característica faz com que o tecido se torne ideal para o serviço de combate a incêndios (MASSARINI, 2000).

3.13 PROPRIEDADES TÉRMICAS

A transmissão de calor através de um tecido tem relação com a quantidade de ar existente no tecido e sua distribuição na estrutura, e com a condutibilidade térmica das fibras. Essa transmissão pode ocorrer não só por condução, através do tecido, mas também por radiação, através dos espaços de ar existentes nas fibras.

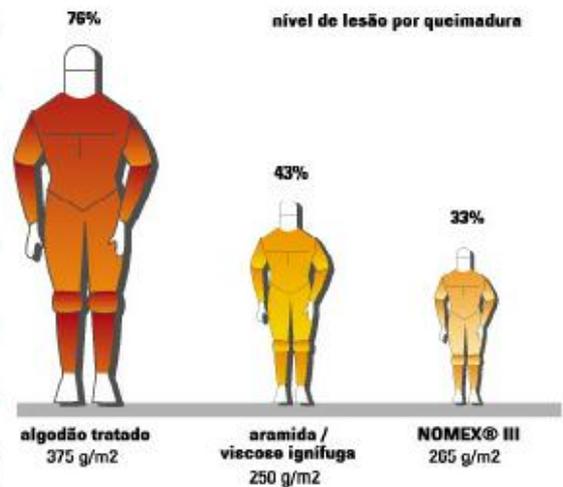
A condutibilidade térmica dos tecidos encontra-se relacionada também com sua espessura. A resistência térmica de um tecido é a razão entre a diferença de temperatura das duas faces do tecido e a taxa de transferência do calor por unidade de superfície numa direção normal às faces. A condutibilidade térmica é a quantidade de calor que passa através de uma unidade de superfície do tecido. As fibras NOMEX e KEVLAR apresentam um ótimo desempenho frente às questões relativas à condução térmica, conforme figura 21 (MASSARINI, 2000).

Desempenho comparativo de proteção térmica (método TPP)

	t (2)	TPP	FFF
NOMEX® III 265 g/m ²	6.6	13.25	5.0
NOMEX® delta A™ 265 g/m ²	6.6	13.25	5.0
NOMEX® delta C™ 220 g/m ²	5.5	11.0	5.0
NOMEX® delta T™ 195 g/m ²	6.0	11.9	6.1
algodão tratado 375 g/m ²	6.4	12.75	3.4

o dispositivo do teste TPP (DPT em português) registra o tempo necessário para ocorrer dor, e o tempo t(2) para a queimadura de 2º grau, a um determinado fluxo de calor. O valor TPP é o produto do fluxo de calor multiplicado pelo tempo para ocorrer a queimadura de 2º grau. O fator FFF é o valor TPP dividido pelo peso do tecido e, portanto, uma medida da eficiência da proteção de um tecido.

Desempenho de proteção de peças oferecidas para o vestuário de proteção contra calor e chamas (Thermo-Man®)



Parâmetros dos testes: exposição de 4,5 segundos, sem roupas de baixo, sendo que todas as roupas têm o mesmo corte e modelo.

Figura 21 – Proteção térmica do NOMEX

Fonte: Dupont, [200?]

4 EXPERIÊNCIA EM LABORATÓRIO

4.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Foram utilizadas canetas, papéis e máquina fotográfica para fazer a anotação e registro dos dados das experiências. Utilizou-se também os seguintes materiais e pessoas:

- 1 Mufla (Forno)
- 6 Termopares
- 6 Conectores
- 3 Termômetros Digitais
- 1 Alicate Universal
- 1 Chave Philips
- 1 Estilete
- 1 Par de Luvas Térmicas
- 1 Cronômetro Digital
- 1 Grampeador
- 1 Bécher 500 mL
- 1 Peça recortado da Roupa de Combate a Incêndios 16x13 cm e 0,4 cm de espessura
- 1 Peça recortado da Roupa de Combate a Incêndios 16x11 cm e 0,4 cm de espessura
- 8 Ajudantes

4.1.1 MUFLA (FORNO)

O forno tipo Mufla, conforme fotos 1 e 2 é usado para proporcionar ambientes de alta temperatura em laboratórios, principalmente os de química. Consiste basicamente de uma câmara metálica com revestimento interno constituído de material refratário e equipado com resistências capazes de proporcionar internamente temperaturas até 1200°C. Possui dois termômetros digitais no qual um deles mede a temperatura da resistência e o outro mede a temperatura interna do forno.



Foto 1 – Mufla
Fonte: Do autor



Foto 2 – Mufla vista lateral
Fonte: Do autor

4.1.2 TERMOPAR

Termopares, conforme foto 3 são os sensores de temperatura mais empregados. Um termopar consiste em dois pedaços de fios diferentes unidos em uma das extremidades. A extremidade do termopar que tem os dois fios unidos emite um sinal elétrico em corrente contínua da ordem de micro-Volt. A amplitude do sinal é proporcional diferença de temperatura entre as extremidades dos fios. Com um simples voltímetro é possível medir a tensão gerada pelo termopar e convertê-lo em valor de temperatura. Sua simplicidade, flexibilidade e confiabilidade são as suas principais características, por isso a sua utilização. Seus princípios de funcionamento já eram conhecidos desde o século passado, mas só recentemente tornou-se claro o que é o potencial termoelétrico.

As aplicações para os termopares são as mais variadas possíveis, tendo como principal aplicação a diferença da máxima temperatura admitida entre um valor especificado e o obtido. Para fazer a medição de temperaturas acima de 500 °C, a única escolha quando se fala em termômetros de contato são os termopares.



Foto 3 – Termopar

Fonte: Do autor

4.1.3 ESTILETE

Objeto usado para cortar papel e plásticos mais flexíveis. Possui uma lâmina de ligas metálicas altamente cortante sendo esta envolta por uma proteção de plástico, ver foto 4.



Foto 4 – Estilete

Foto: Do autor

4.1.4 CHAVE PHILIPS

“Chave de parafuso que tem a ponta afilada, em forma de cruzeta, e se adapta na reentrância da cabeça dos parafusos Philips” (AURÉLIO, 2004). Usado para fixar parafusos ou desparafusá-los. Possui uma parte plástica regida com pequenos vãos que servem para apoiar melhor os dedos e facilitar o manuseio, ver foto 5.



Foto 5 – Chave philips

Fonte: Do autor

4.1.5 ALICATE UNIVERSAL

O alicate universal, conforme foto 6 possui algumas finalidades específicas para uso como cortar fios e arames de cobre, latão, alumínio, aço entre outros. Também serve para segurar com mais firmeza superfícies de forma oca, chata, quadrada ou poligonal através de suas mandíbulas planas e ovais. Prensa terminais utilizando as partes internas do cabo.



Foto 6 – Alicates universais

Fonte: Do autor

4.1.6 CRONÔMETRO

Objeto utilizado para marcar com precisão o tempo de duração de algum fenômeno ou atividade. Possui 3 botões fundamentais, o que inicia a contagem do tempo, outro que pára o tempo e um terceiro que zera novamente o cronômetro. Detém um visor digital que facilita a visualização do tempo marcado, conforme foto 7.



Foto 7 – Cronômetro

Fonte: Do autor

4.1.7 GRAMPEADOR

Peça metálica de pequeno porte com a função de grampear papéis ou outros objetos que tenham pouca rigidez como tecidos e plásticos, como mostra a figura 22.



Figura 22 – Grampeador

Fonte: www.helios-carbex.com.br

4.1.8 LUVAS TÉRMICAS

Usadas para proteger as mãos de temperaturas muito quentes ou muito frias. Servem para manipular formas, assadeiras ou outros objetos que estejam nos fornos. Evitam também acidentes como queimaduras, como mostra a figura 23.



Figura 23 – Luvas térmicas

Fonte: www.kccequipamentos.com.br

4.1.9 CAMADAS DA ROUPA DE PROTEÇÃO

1ª. Camada (Foto 8): Tecido atua como camada externa com alto índice de resistência mecânica, Rip Stop, composto de 40% de fibra meta-aramida e 60% de fibra para-aramida, na cor preta, 100% antichama, com gramatura não inferior a 220 g/m². Deverá ter tratamento contra raios ultravioleta (UV) e tratamento repelente à líquidos.



Foto 8 – Primeira camada da roupa de proteção de combate a incêndios

Fonte: Do autor.

2ª. Camada (Foto 9): Camada intermediária dupla com peso mínimo de 130g/m^2 que atua como barreira de umidade (vapor e líquidos). Formada por filme de PTFE (politetrafluoretileno) Ignífugo ou PU (poliuretano) ignífugo, que mantém a impermeabilidade e estanqueidade de fora para dentro, respiração de dentro para fora, não permitindo a passagem de vapores ou líquidos perigosos. Esse filme de PTFE deverá ser fixado a uma barreira térmica de não tecido formado por uma mistura básica de aramida e melamina, que agregada à barreira de umidade ajuda a reduzir a tensão do calor facilitando o fluxo de calor e vapor. Resistência a uma coluna de água não inferior a 200 mm.



Foto 9 – Segunda camada da roupa de proteção de combate a incêndios

Fonte: Do autor.

3ª e 4ª Camadas (Fotos 10 e 11 respectivamente):: Camadas internas duplas que atuam como barreira de calor e forro interno para contato com o corpo do bombeiro, seu peso não poderá ser inferior a 300 g/m^2 nem superior a 400 g/m^2 , a 3ª camada é formada por feltro de manta agulhada de 100% meta-aramida com 2 mm de espessura no mínimo. Deverá ser unida a 4ª camada que é um tecido de forro para contato com o corpo do bombeiro, este forro deverá ser de tecido plano e composto de 100% meta-aramida, as costuras de união da 3ª e 4ª camadas deverão ser na forma senoidal ou trapezoidal não havendo espaçamento maior que 80 mm entre as mesmas para manter a estabilidade das duas camadas (LOSSO, [2006?]).



Foto 10 – Terceira camada da roupa de proteção de combate a incêndios
Fonte: Do autor



Foto 11 – Quarta camada da roupa de proteção de combate a incêndios
Fonte: Do autor

Copo de vidro, cilíndrico, com uma escala em mL, como mostra a figura 24, utilizado em laboratórios, principalmente de química, para fazer experimentos ou simplesmente medir a quantidade dos líquidos.



Figura 24 – Bécher
Fonte: www.fcf.usp.br

4.1.11 TERMÔMETRO

Usado para apresentar os valores das temperaturas na escala que preferir: Celsius, Fahrenheit ou Kelvin. Possui duas entradas para os termopares, sendo possível fazer a leitura de duas temperaturas ao mesmo tempo, independente de onde os termopares estiverem, conforme foto 12.



Foto 12 – Termômetro

Fonte: Do autor

4.1.12 CONECTOR

Utilizado para conectar o termopar ao termômetro. Onde o termopar é fixado ao conector pelo aperto dos parafusos philips e com os plugs do conector fixa-se o mesmo ao termômetro. O conector pode ser visualizado como mostra a foto 13.



Foto 13 – Conector

Fonte: Do autor

4.2 PROCEDIMENTO

O experimento visa reproduzir a variação de temperatura nas camadas de tecido da roupa de combate a incêndios em um determinado tempo, sendo esta medição feita em três situações distintas: com a roupa seca, com ela parcialmente molhada (somente a parte externa da roupa) e com ela totalmente molhada (todas as camadas). Para isto, elaborou-se os procedimentos a seguir:

4.2.1 Montagem do Palco

Primeiramente montou-se o palco com os três termômetros, sendo que cada um deles recebeu dois termopares. Os termopares foram descascados com a ajuda de um alicate universal e um estilete, onde dentro do isolamento externo existem os dois fios de materiais diferentes, cada um com um isolamento individual. Esses isolamentos individuais também são descascados e os fios são conectados no conector com o auxílio da chave Philips. Os conectores são então inseridos nos termômetros, como mostra as fotos 14 e 15. Cada termopar foi colocado em uma camada distinta do recorte da roupa. Vale frisar que o tecido foi cortado em um pedaço que coubesse dentro da mufla, senão, seria inviável fazer tal experimento, mesmo sabendo que o experimento ideal seria medir a temperatura de um corpo com a mesma massa de um ser humano dentro da roupa.

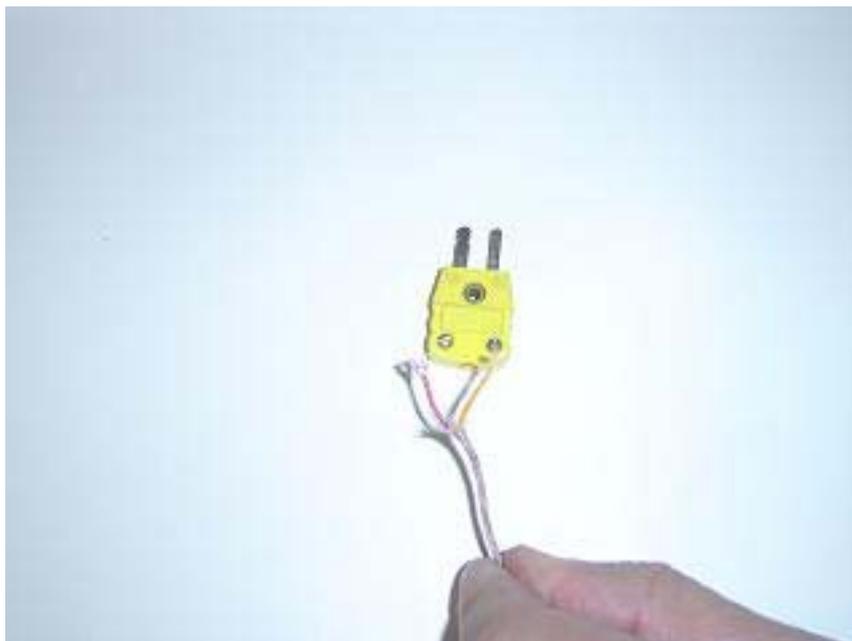


Foto 14 – Termopar sendo conectado ao conector

Fonte: Do autor



Foto 15 – Conector conectado no termômetro

Fonte: Do autor

Após colocar os termopares, 6 ajudantes possuíam uma caneta e um pedaço de papel cada para marcar as temperaturas de um determinado termopar, chamados de T1, T2,... até T6. O T1 ficou na parte mais interior da roupa abaixo da quarta camada, o T2 ficou abaixo da terceira camada (forro de lã) e acima da quarta, o T3 abaixo da segunda camada (forro térmico) e acima da terceira, o T4 abaixo da primeira camada (forro mais externo) e acima da segunda, o T5 ficou logo acima da primeira camada na parte externa e o T6 foi colocado dentro da mufla para medir a temperatura interna do forno (foto 16). O sétimo ajudante ficou responsável por marcar o tempo e gritar de três em três segundos para que cada ajudante responsável pelo seu termopar marcasse

a temperatura que estava indicando naquele momento no seu termômetro. O oitavo e último ajudante ficou junto à mufla manuseando a mesma, inserindo e retirando o pedaço de roupa na qual estavam os termopares. A mufla foi ajustada a uma temperatura de 400°C.

Foram realizadas duas medições com cada situação, ou seja:, seco, parcialmente molhado (molhado somente por fora) e totalmente molhado. Destas duas medições de cada situação, foi feito uma média das temperaturas e com esta média gerou-se o gráfico (temperatura x tempo) de cada termopar. O primeiro teste foi feito com o pedaço de roupa que media 16x11 cm e 0,4 cm de espessura. E a segunda medição foi feita com o pedaço de roupa que media 16x13 cm e 0,4 cm de espessura, que é um pedaço um pouco maior.

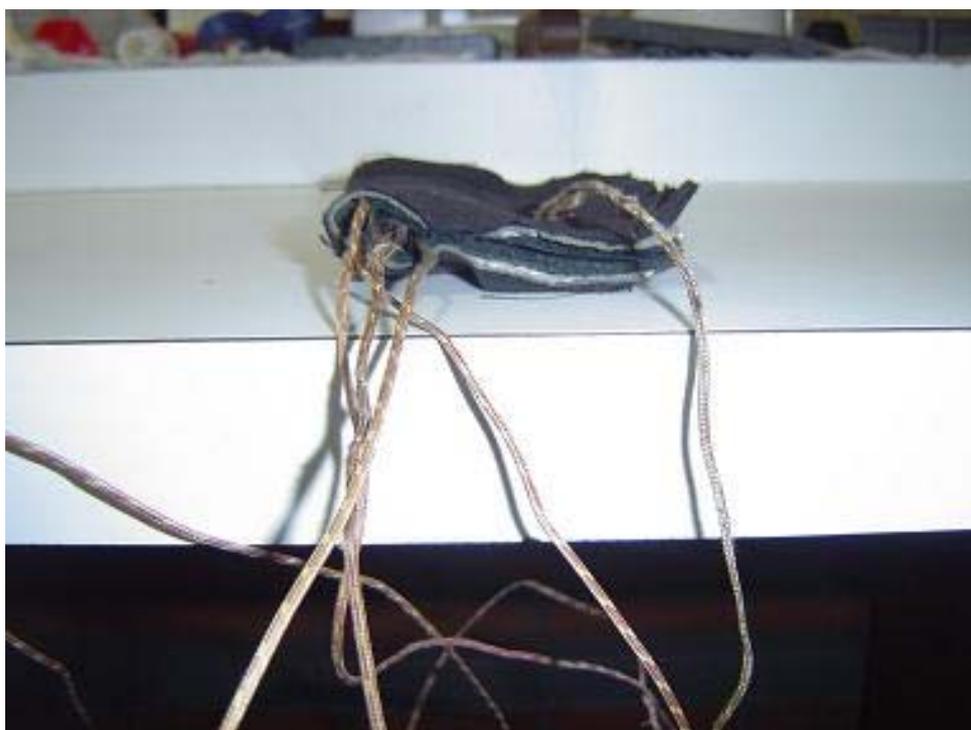


Foto 16 – Disposição dos termopares na roupa

Fonte: Do autor
4.2.2 Roupa Seca

Para a roupa seca obteve-se os seguintes resultados para cada termopar:

Tabela 1 – Temperatura termopar T1 para roupa seca

1ª Experiência - Roupa seca			
Tempo (s)	T - 1 (°C)	T - 1 (°C)	Média
0	25	26	25,5
3	39	34	36,5
6	58	38	48
9	71	45	58
12	80	50	65

15	86	56	71
18	90	62	76
21	92	69	80,5
24	93	73	83
27	94	77	85,5
30	95	81	88
33	95	85	90
36	95	88	91,5
39	96	90	93
42	97	92	94,5
45	102	101	101,5
48	105	104	104,5

Fonte: Do autor

Tabela 2 – Temperatura termopar T2 para roupa seca

1ª Experiência - Roupa seca			
Tempo (s)	T - 2 (°C)	T - 2 (°C)	Média
0	30,4	30	30,2
3	30,7	34	32,35
6	32,2	38	35,1
9	38,2	42	40,1
12	43,1	47	45,05
15	50,3	51	50,65
18	57,2	57	57,1
21	62,5	63	62,75
24	70,1	67	68,55
27	78,2	76	77,1
30	82,2	83	82,6
33	85,7	93	89,35
36	89,4	99	94,2
39	92,2	108	100,1

42	96	116	106
45	100,5	124	112,25
48	100,7	128	114,35

Fonte: Do autor

Tabela 3 – Temperatura termopar T3 para roupa seca

1ª Experiência - Roupa seca			
Tempo (s)	T - 3 (°C)	T - 3 (°C)	Média
0	26	27	26,5
3	51	60	55,5
6	59	67	63
9	65	74	69,5
12	74	89	81,5
15	96	105	100,5
18	113	126	119,5
21	134	144	139
24	154	158	156
27	172	174	173
30	185	185	185
33	197	195	196
36	208	210	209
39	221	222	221,5
42	231	229	230
45	241	240	240,5
48	251	247	249

Fonte: Do autor

Tabela 4 – Temperatura termopar T4 para roupa seca

1ª Experiência - Roupa seca			
Tempo (s)	T - 4 (°C)	T - 4 (°C)	Média
0	26	26	26
3	62	65	63,5
6	78	77	77,5
9	100	118	109
12	130	141	135,5
15	148	155	151,5
18	172	170	171
21	187	182	184,5
24	205	197	201
27	221	210	215,5
30	234	218	226
33	244	230	237
36	252	236	244
39	264	245	254,5
42	269	250	259,5
45	277	257	267
48	284	265	274,5

Fonte: Do autor

Tabela 5 – Temperatura termopar T5 para roupa seca

1ª Experiência - Roupa seca			
Tempo (s)	T - 5 (°C)	T - 5 (°C)	Média
0	25	26	25,5
3	52	50	51
6	73	74	73,5
9	87	96	91,5
12	100	116	108
15	117	134	125,5
18	132	155	143,5
21	146	168	157
24	156	184	170
27	169	198	183,5
30	180	208	194
33	187	219	203
36	194	226	210
39	203	235	219
42	210	240	225
45	217	257	237
48	220	253	236,5

Fonte: Do autor

Tabela 6 – Temperatura termopar T6 para roupa seca

1ª Experiência - Roupa seca			
Tempo (s)	T - 6 (°C)	T - 6 (°C)	Média
0	25	24	24,5
3	122	126	124
6	153	134	143,5
9	178	149	163,5
12	193	170	181,5
15	205	185	195
18	210	197	203,5
21	230	202	216
24	237	225	231
27	241	234	237,5
30	250	243	246,5
33	253	251	252
36	257	256	256,5
39	260	261	260,5
42	266	267	266,5
45	267	272	269,5
48	269	276	272,5

Fonte: Do autor

Percebe-se que a temperatura inicial de cada termopar é praticamente a mesma variando de 25°C a 30°C, dependendo da posição do termopar na camada da roupa. No passar dos 48 segundos a temperatura eleva-se a quase 300°C, sendo que a camada mais interna T1 foi a que sofreu a menor variação por estar mais protegida. Essa variação é perceptível observando da camada mais externa T5 para a mais interna T1, quanto mais interna for a camada, menor é a sua variação de temperatura no decorrer do tempo.

4.2.3 Roupa Molhada Externamente ou Parcialmente Molhada

Para a roupa molhada externamente o tempo de verificação foi maior porque alguns termopares demoraram um pouco mais a chegar aos 100 °C, que é a temperatura de evaporação da água. Para molhar somente as duas primeiras camadas, sendo a primeira totalmente molhada e a segunda somente por fora, foi utilizado um Béquer de 500 mL cheio de água, derramando assim a água sucintamente sobre o tecido. Obteve-se então os seguintes resultados para cada termopar:

Tabela 7 – Temperatura termopar T1 para roupa molhada externamente

2ª Experiência - Roupa molhada externamente			
Tempo (s)	T - 1 (°C)	T - 1 (°C)	Média
0	30	30	30
3	32	32	32
6	34	34	34
9	39	39	39
12	46	46	46
15	55	55	55
18	63	63	63
21	68	68	68
24	76	77	76,5
27	80	80	80
30	85	85	85
33	88	88	88
36	90	90	90
39	92	92	92
42	97	95	96
45	98	96	97
48	97	95	96
51	97	95	96
54	97	95	96
57	97	95	96
60	99	95	97
63	98	95	96,5
66	97	94	95,5
69	98	94	96
72	98	95	96,5
75	98	95	96,5
78	97	95	96
81	97	95	96
84	98	96	97
87	97	96	96,5
90	98	95	96,5
93	97	96	96,5
96	98	96	97
99	98	96	97
102	98	96	97
105	97	97	97
108	98	97	97,5
111	99	97	98
114	98	96	97

Fonte: Do autor

Tabela 8 – Temperatura termopar T2 para roupa molhada externamente

2ª Experiência - Roupa molhada externamente			
Tempo (s)	T - 2 (°C)	T - 2 (°C)	Média
0	21	22	21,5
3	21	22	21,5
6	25	24	24,5
9	33	33	33
12	46	51	48,5
15	60	62	61
18	73	71	72
21	82	77	79,5
24	85	80	82,5
27	94	81	87,5
30	94	83	88,5
33	95	85	90
36	94	86	90
39	95	87	91
42	95	89	92
45	94	90	92
48	94	90	92
51	95	90	92,5
54	95	90	92,5
57	94	89	91,5
60	94	89	91,5
63	93	89	91
66	95	89	92
69	94	89	91,5
72	94	90	92
75	95	90	92,5
78	94	91	92,5
81	93	91	92
84	95	90	92,5
87	95	90	92,5
90	93	91	92
93	93	91	92
96	93	90	91,5
99	93	90	91,5
102	93	91	92
105	94	90	92
108	93	91	92
111	93	91	92
114	94	90	92

Fonte: Do autor

Tabela 9 – Temperatura termopar T3 para roupa molhada externamente

2ª Experiência - Roupa molhada externamente			
Tempo (s)	T - 3 (°C)	T - 3 (°C)	Média
0	23	25	24
3	30	26	28
6	53	34	43,5
9	69	39	54
12	75	51	63
15	80	54	67
18	84	59	71,5
21	89	63	76
24	92	68	80
27	93	73	83
30	95	77	86
33	96	82	89
36	96	86	91
39	97	88	92,5
42	97	91	94
45	97	92	94,5
48	97	94	95,5
51	97	94	95,5
54	97	95	96
57	97	96	96,5
60	97	97	97
63	97	100	98,5
66	97	105	101
69	97	108	102,5
72	97	112	104,5
75	97	116	106,5
78	97	x	97
81	97	x	97
84	97	x	97
87	97	x	97
90	97	x	97
93	97	x	97
96	97	x	97
99	98	x	98
102	98	x	98
105	98	x	98
108	98	x	98
111	97	x	97
114	98	x	98

Fonte: Do autor

Tabela 10 – Temperatura termopar T4 para roupa molhada externamente

2ª Experiência - Roupa molhada externamente			
Tempo (s)	T - 4 (°C)	T - 4 (°C)	Média
0	21	22	21,5
3	77	25	51
6	84	70	77
9	86	85	85,5
12	89	88	88,5
15	94	93	93,5
18	95	94	94,5
21	96	95	95,5
24	96	95	95,5
27	96	94	95
30	96	95	95,5
33	96	96	96
36	96	97	96,5
39	96	95	95,5
42	95	96	95,5
45	96	95	95,5
48	96	95	95,5
51	96	94	95
54	96	93	94,5
57	95	93	94
60	93	93	93
63	91	93	92
66	91	93	92
69	91	92	91,5
72	90	92	91
75	88	91	89,5
78	89	90	89,5
81	93	89	91
84	100	90	95
87	115	90	102,5

Fonte: Do autor

Tabela 11 – Temperatura termopar T5 para roupa molhada externamente

2ª Experiência - Roupa molhada externamente			
Tempo (s)	T - 5 (°C)	T - 5 (°C)	Média
0	23	22	22,5
3	45	45	45
6	61	62	61,5
9	68	68	68
12	73	70	71,5
15	75	74	74,5
18	79	79	79
21	80	82	81
24	82	79	80,5
27	83	78	80,5
30	83	82	82,5
33	84	85	84,5
36	86	85	85,5
39	87	85	86
42	88	85	86,5
45	91	87	89
48	93	89	91
51	95	92	93,5
54	99	93	96
57	111	95	103
60	115	99	107
63	127	104	115,5
66	137	110	123,5
69	150	123	136,5
72	161	132	146,5
75	171	145	158

Fonte: Do autor

Tabela 12 – Temperatura termopar T6 para roupa molhada externamente

2ª Experiência - Roupa molhada externamente
--

Tempo (s)	T - 6 (°C)	T - 6 (°C)	Média
0	23	23	23
3	87	129	108
6	102	152	127
9	114	171	142,5
12	126	190	158
15	139	199	169
18	146	205	175,5
21	154	217	185,5
24	165	224	194,5
27	172	225	198,5
30	177	225	201
33	182	228	205
36	184	232	208
39	185	232	208,5
42	186	233	209,5
45	188	234	211
48	190	235	212,5
51	192	236	214
54	194	237	215,5
57	196	238	217
60	198	239	218,5
63	199	239	219
66	200	240	220
69	201	242	221,5
72	202	246	224
75	203	250	226,5

Fonte: Do autor

Devido ao acúmulo de água nas camadas 1 e 2, que estão situadas mais externamente em relação às outras camadas, percebe-se uma variação menor das temperaturas com o passar do tempo. Alguns termopares além de demorarem em variar a temperatura, não chegaram a marcar 100°C em todo período de anotação.

4.2.4 Roupas Totalmente Molhadas

Na roupa totalmente molhada, todas as camadas da roupa foram molhadas. Encheu-se o béquer de 500 mL e mergulhou-se todo pedaço de tecido deixando-o encharcado de água. Obteve-se as seguintes anotações de temperatura para cada termopar:

Tabela 13 – Temperatura termopar T1 para roupa totalmente molhada

3ª Experiência - Roupa Molhada			
Tempo (s)	T - 1 (°C)	T - 1 (°C)	Média
0	26	27	26,5
3	28	28	28
6	28	28	28
9	24	28	26
12	29	28	28,5
15	31	30	30,5
18	34	31	32,5
21	37	32	34,5
24	41	34	37,5

27	48	36	42
30	50	38	44
33	56	40	48
36	59	42	50,5
39	60	44	52
42	64	45	54,5
45	68	47	57,5
48	72	49	60,5
51	74	52	63
54	76	53	64,5
57	78	54	66
60	81	57	69
63	82	58	70
66	84	60	72
69	86	62	74
72	87	63	75
75	90	65	77,5
78	91	67	79
81	91	69	80
84	92	71	81,5
87	93	72	82,5
90	93	74	83,5
93	94	76	85
96	95	78	86,5
99	95	80	87,5
102	95	80	87,5
105	96	83	89,5
108	97	84	90,5
111	96	84	90
114	97	85	91

Fonte: Do autor

Tabela 14 – Temperatura termopar T2 para roupa totalmente molhada

3ª Experiência - Roupa Molhada			
Tempo (s)	T - 2 (°C)	T - 2 (°C)	Média
0	27	27	27
3	35	28	31,5
6	30	28	29
9	36	28	32
12	41	29	35
15	48	29	38,5
18	53	30	41,5
21	60	31	45,5
24	64	33	48,5

27	65	36	50,5
30	68	38	53
33	70	41	55,5
36	74	44	59
39	80	46	63
42	81	48	64,5
45	83	51	67
48	85	54	69,5
51	87	56	71,5
54	89	58	73,5
57	91	60	75,5
60	92	62	77
63	92	64	78
66	93	65	79
69	94	67	80,5
72	94	68	81
75	94	69	81,5
78	94	70	82
81	94	72	83
84	94	72	83
87	95	74	84,5
90	95	75	85
93	95	76	85,5
96	95	77	86
99	95	78	86,5
102	95	79	87
105	95	80	87,5
108	95	81	88
111	96	82	89
114	96	82	89

Fonte: Do autor

Tabela 15 – Temperatura termopar T3 para roupa totalmente molhada

3ª Experiência - Roupa Molhada			
Tempo (s)	T - 3 (°C)	T - 3 (°C)	Média
0	25	27	26
3	68	27	47,5
6	82	28	55
9	85	29	57
12	87	30	58,5
15	88	33	60,5
18	90	35	62,5
21	91	37	64
24	92	39	65,5

27	93	41	67
30	94	42	68
33	95	44	69,5
36	96	45	70,5
39	96	47	71,5
42	97	48	72,5
45	98	49	73,5
48	98	50	74
51	98	51	74,5
54	97	53	75
57	97	54	75,5
60	97	55	76
63	97	56	76,5
66	97	58	77,5
69	97	60	78,5
72	97	61	79
75	97	63	80
78	97	65	81
81	97	66	81,5
84	98	67	82,5
87	98	69	83,5
90	98	70	84
93	98	72	85
96	98	73	85,5
99	98	75	86,5
102	98	76	87
105	98	77	87,5
108	98	78	88
111	98	79	88,5
114	98	80	89

Fonte: Do autor

Tabela 16 – Temperatura termopar T4 para roupa totalmente molhada

3ª Experiência - Roupa Molhada			
Tempo (s)	T - 4 (°C)	T - 4 (°C)	Média
0	26	25	25,5
3	62	33	47,5
6	68	42	55
9	72	46	59
12	77	50	63,5
15	83	56	69,5
18	87	60	73,5
21	92	62	77
24	94	66	80

27	95	69	82
30	98	71	84,5
33	98	73	85,5
36	98	76	87
39	99	79	89
42	99	81	90
45	99	84	91,5
48	99	85	92
51	99	86	92,5
54	99	88	93,5
57	99	89	94
60	99	88	93,5
63	99	90	94,5
66	99	90	94,5
69	99	91	95
72	99	90	94,5
75	99	91	95
78	99	91	95
81	99	91	95
84	99	91	95
87	99	91	95
90	99	92	95,5
93	99	92	95,5
96	99	92	95,5
99	99	93	96
102	99	92	95,5
105	99	92	95,5
108	99	93	96
111	99	93	96
114	99	93	96

Fonte: Do autor

Tabela 17 – Temperatura termopar T5 para roupa totalmente molhada

3ª Experiência - Roupa Molhada			
Tempo (s)	T - 5 (°C)	T - 5 (°C)	Média
0	23	24	23,5
3	35	38	36,5
6	39	49	44
9	42	53	47,5
12	46	53	49,5
15	48	55	51,5
18	50	60	55
21	52	65	58,5
24	55	65	60

27	54	66	60
30	54	67	60,5
33	56	71	63,5
36	57	73	65
39	57	74	65,5
42	58	75	66,5
45	60	75	67,5
48	61	76	68,5
51	62	78	70
54	63	78	70,5
57	65	78	71,5
60	66	78	72
63	67	78	72,5
66	60	79	69,5
69	69	79	74
72	69	79	74
75	70	80	75
78	72	80	76
81	73	80	76,5
84	73	80	76,5
87	73	81	77
90	75	80	77,5
93	76	80	78
96	76	80	78
99	77	80	78,5
102	78	80	79
105	79	81	80
108	80	80	80
111	81	80	80,5
114	83	80	81,5

Fonte: Do autor

Tabela 18 – Temperatura termopar T6 para roupa totalmente molhada

3ª Experiência - Roupa Molhada			
Tempo (s)	T - 6 (°C)	T - 6 (°C)	Média
0	23	24	23,5
3	167	214	190,5
6	202	271	236,5
9	231	295	263
12	252	317	284,5
15	263	325	294
18	271	333	302
21	280	341	310,5
24	293	352	322,5

27	305	358	331,5
30	310	362	336
33	313	376	344,5
36	317	370	343,5
39	318	375	346,5
42	320	378	349
45	321	380	350,5
48	323	380	351,5
51	324	380	352
54	325	381	353
57	326	382	354
60	327	381	354
63	327	381	354
66	328	381	354,5
69	328	375	351,5
72	328	373	350,5
75	328	371	349,5
78	329	371	350
81	328	371	349,5
84	328	371	349,5
87	328	370	349
90	327	370	348,5
93	328	373	350,5
96	328	375	351,5
99	329	376	352,5
102	334	378	356
105	337	380	358,5
108	338	382	360
111	340	382	361
114	344	383	363,5

Fonte: Do autor

Com todas as camadas sendo molhadas, a temperatura, em relação aos outros casos já medidos (roupa seca e roupa molhada externamente) demorou consideravelmente para sofrer alterações.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

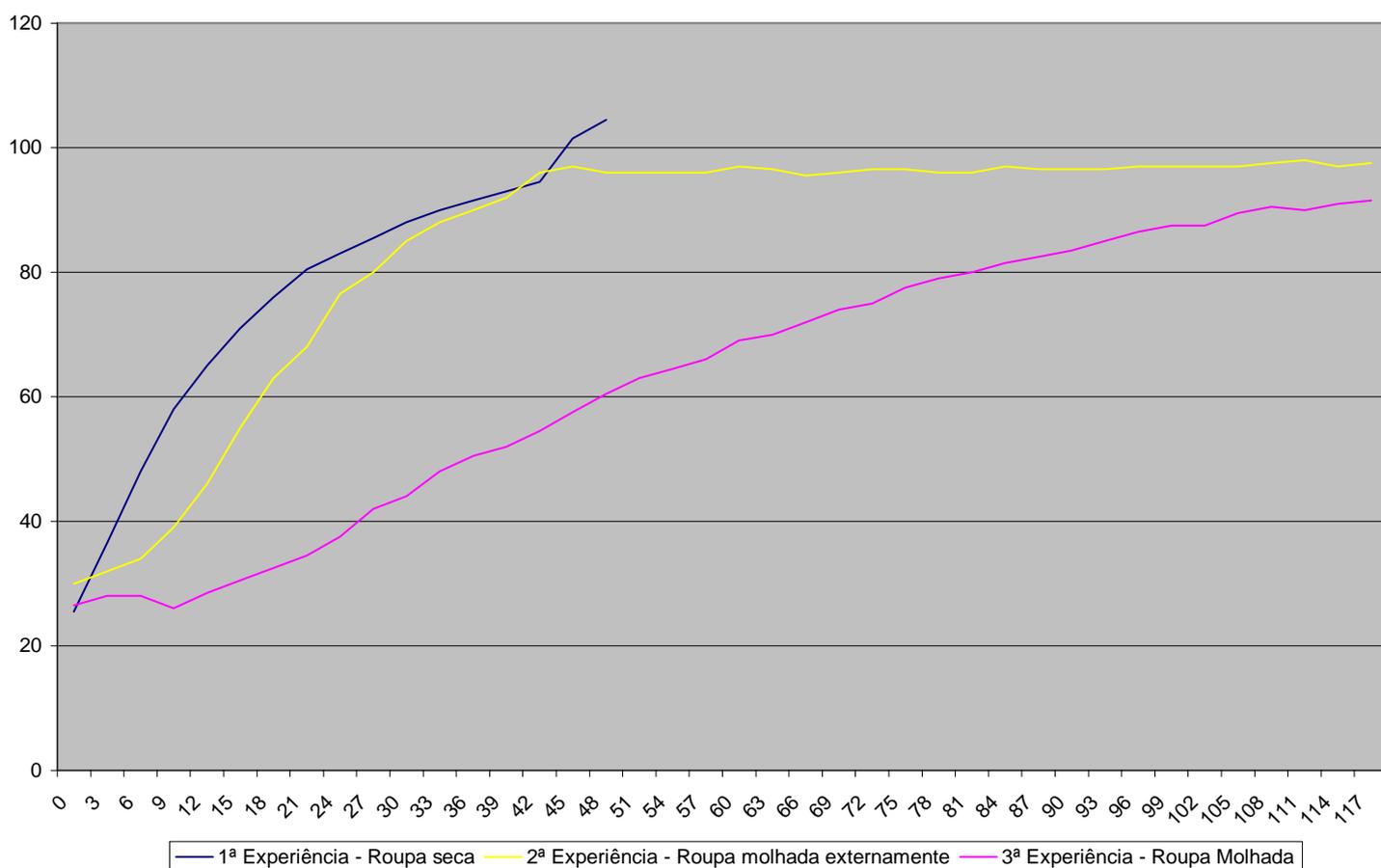
Os resultados serão discutidos conforme os gráficos montados, onde o eixo das abscissas (X) equivale ao tempo em segundos (s) e o eixo das ordenadas (Y) equivale à temperatura em graus Celsius (°C).

5.1 TERMOPAR T1

O Gráfico 1 mostra as variações das temperaturas do termopar 1 para os casos testados. Tomando-se como temperatura para comparação o valor de 60°C, que é uma temperatura, mesmo sendo quente, suportável para o corpo humano, observa-se que a linha rosa, equivalente à roupa totalmente molhada, demora 66 segundos para atingir. A linha amarela, que equivale à roupa molhada somente por fora, chega aos 60°C em 18 segundos. Já a linha azul, que corresponde à roupa seca, chegou a 60°C em 12 segundos. Quanto mais molhada a roupa, maior o tempo necessário para atingir o nível de 60°C. Isso ocorre porque a presença da água faz com que parte do calor que penetra na roupa seja absorvida pela água para aumentar sua temperatura. Com isso resta menos energia para elevar a temperatura na face interna da roupa. Na roupa seca, todo o calor que penetra na roupa vai direto para o corpo do combatente. Pode-se dizer que as propriedades da água estão diretamente relacionadas no

auxílio do isolamento térmico e no próprio conformo térmico do combatente, pois o mesmo sentirá menos os efeitos do calor oriundos das chamas quando a roupa estiver molhada.

Gráfico 1 – Variação da temperatura x tempo no termopar T1



Fonte: Do autor

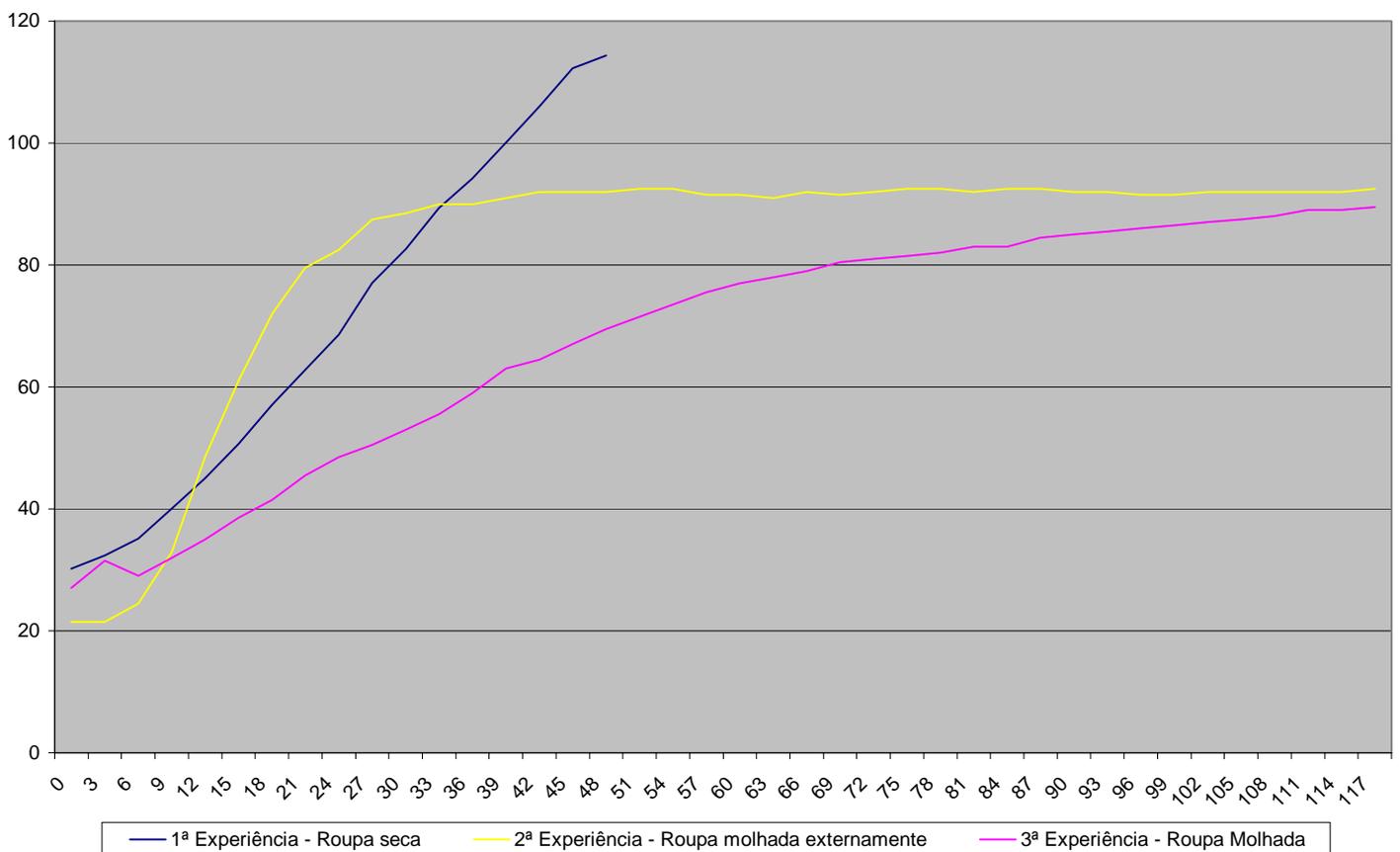
5.2 TERMOPAR T2

O gráfico para o termopar T2 (Gráfico 2) comportou-se um pouco diferente por que as temperaturas iniciais não

eram as mesmas do termopar T1. Observa-se que inicialmente a roupa molhada somente por fora, representada pela linha amarela, comportou-se um pouco melhor que as demais situações. Mas logo aos 9 segundos a roupa totalmente molhada, representada pela linha rosa, passou a sofrer menor variação temperatura. Igualmente ao gráfico anterior a roupa seca, representada pela linha azul, chega aos 100°C primeiro que as demais.

Pode-se observar também tanto no Gráfico 2 como no Gráfico 1 que a temperatura das roupas molhadas nunca passam de 100°C, ao contrário da roupa seca que continua subindo indefinidamente. Isso ocorre porque enquanto existir água na roupa, essa nunca pode passar de 100°C, que é a temperatura de ebulição à pressão atmosférica.

Gráfico 2 – Variação da temperatura x tempo no termopar T2

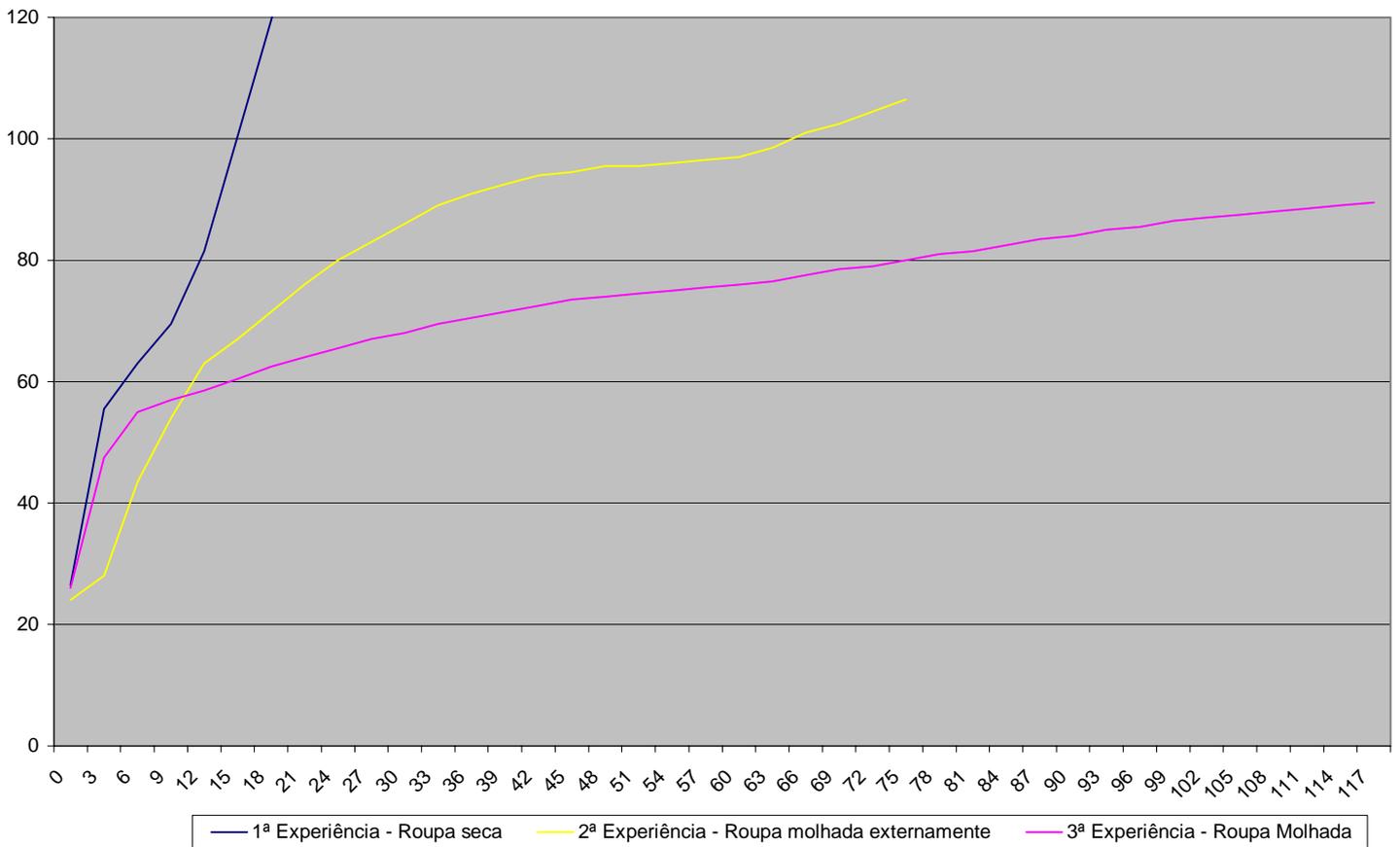


Fonte: Do autor

5.3 TERMOPAR T3

O gráfico para o termopar T3 comportou-se um pouco diferente também. Observa-se que inicialmente a roupa molhada somente por fora, representada pela linha amarela, comportou-se um pouco melhor que as demais situações novamente. Mas logo aos 12 segundos a roupa totalmente molhada, representada pela linha rosa, passou a sofrer menor variação temperatura. Igualmente aos gráficos anteriores, a roupa seca, representada pela linha azul, chega aos 100°C primeiro que as demais em 15 segundos.

Gráfico 3 – Variação da temperatura x tempo no termopar T3

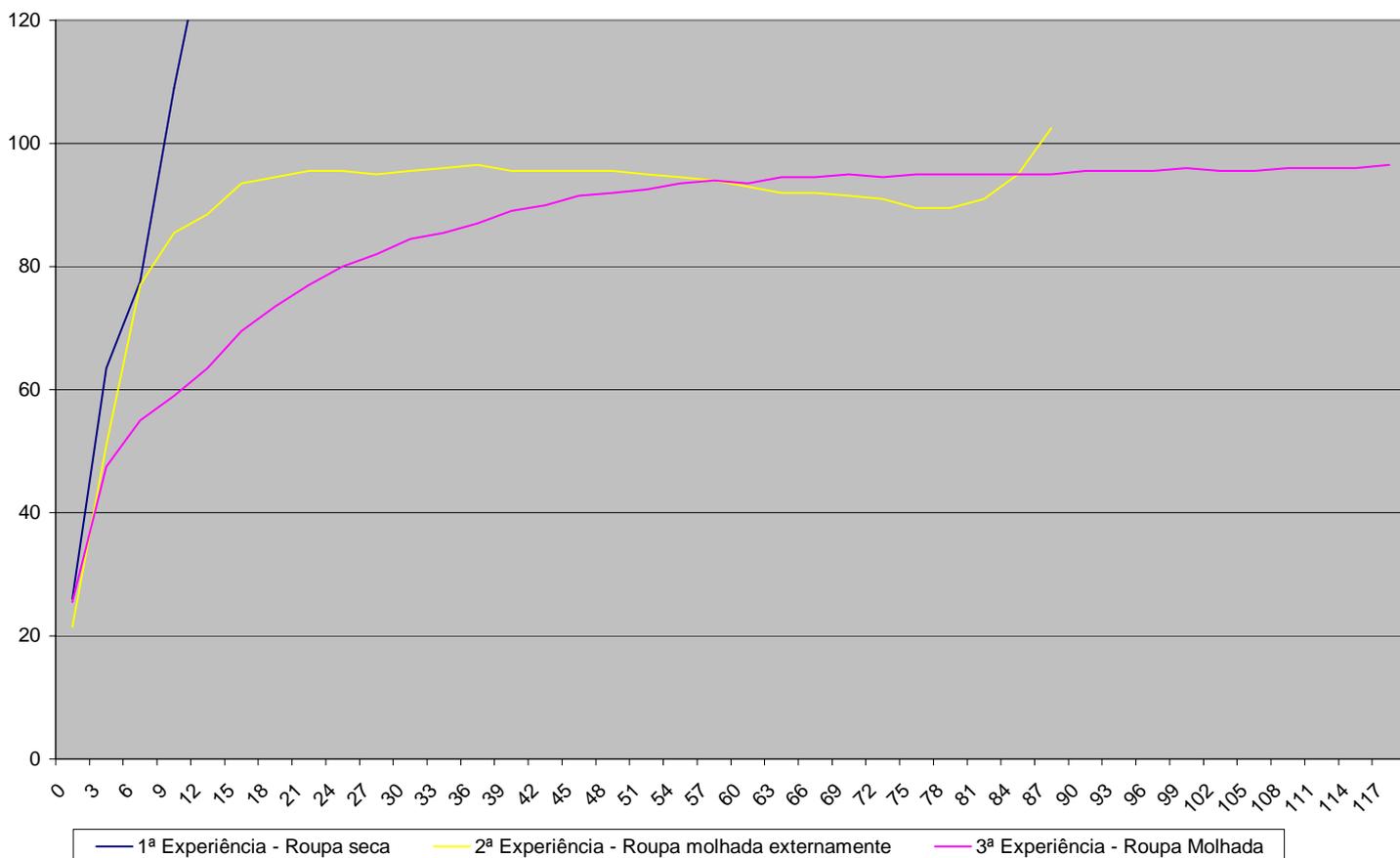


Fonte: Do autor

5.4 TERMOPAR T4

O termopar T4 comportou-se da mesma maneira que o termopar T1, onde a linha rosa, que representa a roupa totalmente molhada, apresentou a menor variação de temperatura com o passar do tempo desde o tempo inicial. A roupa totalmente molhada chega aos 60°C num tempo duas vezes maior que a roupa parcialmente molhada, descrita no gráfico com a cor amarela. Enquanto a roupa totalmente molhada chega aos 60°C em 12 segundos a roupa parcialmente molhada chega em 6 segundos e a roupa seca, representada pela cor azul, chega aos 60° em 3 segundos.

Gráfico 4 – Variação da temperatura x tempo no termopar T4

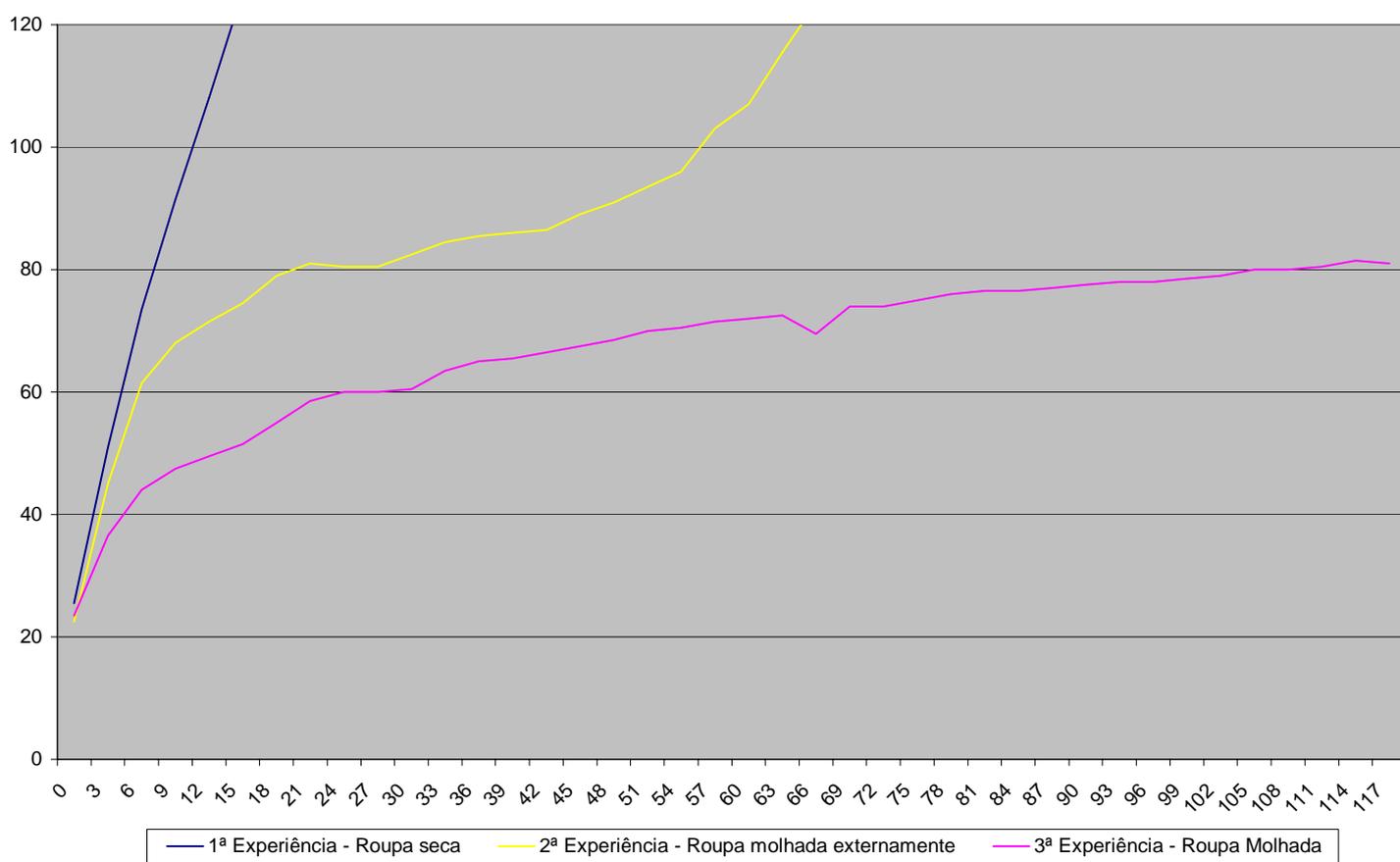


Fonte: Do autor

5.5 TERMOPAR T5

Novamente o termopar T5 comportou-se da mesma maneira que o termopar T1, onde a linha rosa, que representa a roupa totalmente molhada, apresentou a menor variação de temperatura com o passar do tempo desde o tempo inicial. A roupa totalmente molhada chega aos 60°C em 24 segundos, um tempo 4 vezes maior que a roupa parcialmente molhada (linha amarela) e praticamente 5 vezes maior que a roupa seca (linha azul).

Gráfico 5 – Variação da temperatura x tempo no termopar T5

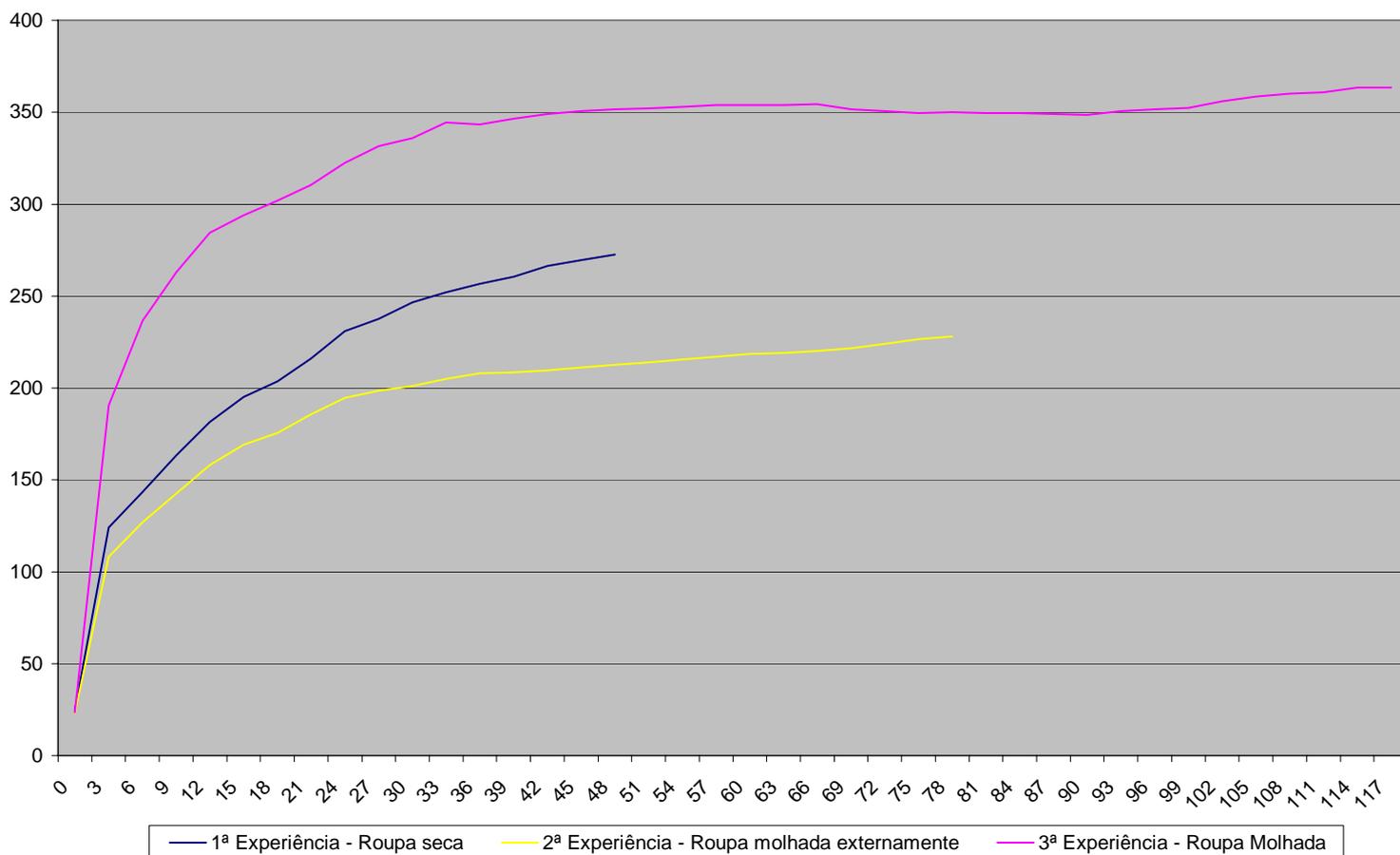


Fonte: Do autor

5.6 TERMOPAR T6

O gráfico do termopar T6 mostra a variação da temperatura interna do forno. Essa variação no gráfico depende diretamente de como o termopar ficou disposto dentro do forno. Ele pode ter ficado encostado na roupa, encostado nas paredes internas do forno ou seus sensores ficados dispostos no ar, sem tocar em parte alguma do forno ou do pedaço do tecido, por isso esta variação de temperatura nas situações apresentadas e todas terem passado dos 100°C rapidamente, já que o forno estava a 400°C.

Gráfico 6 – Variação da temperatura x tempo no termopar T6

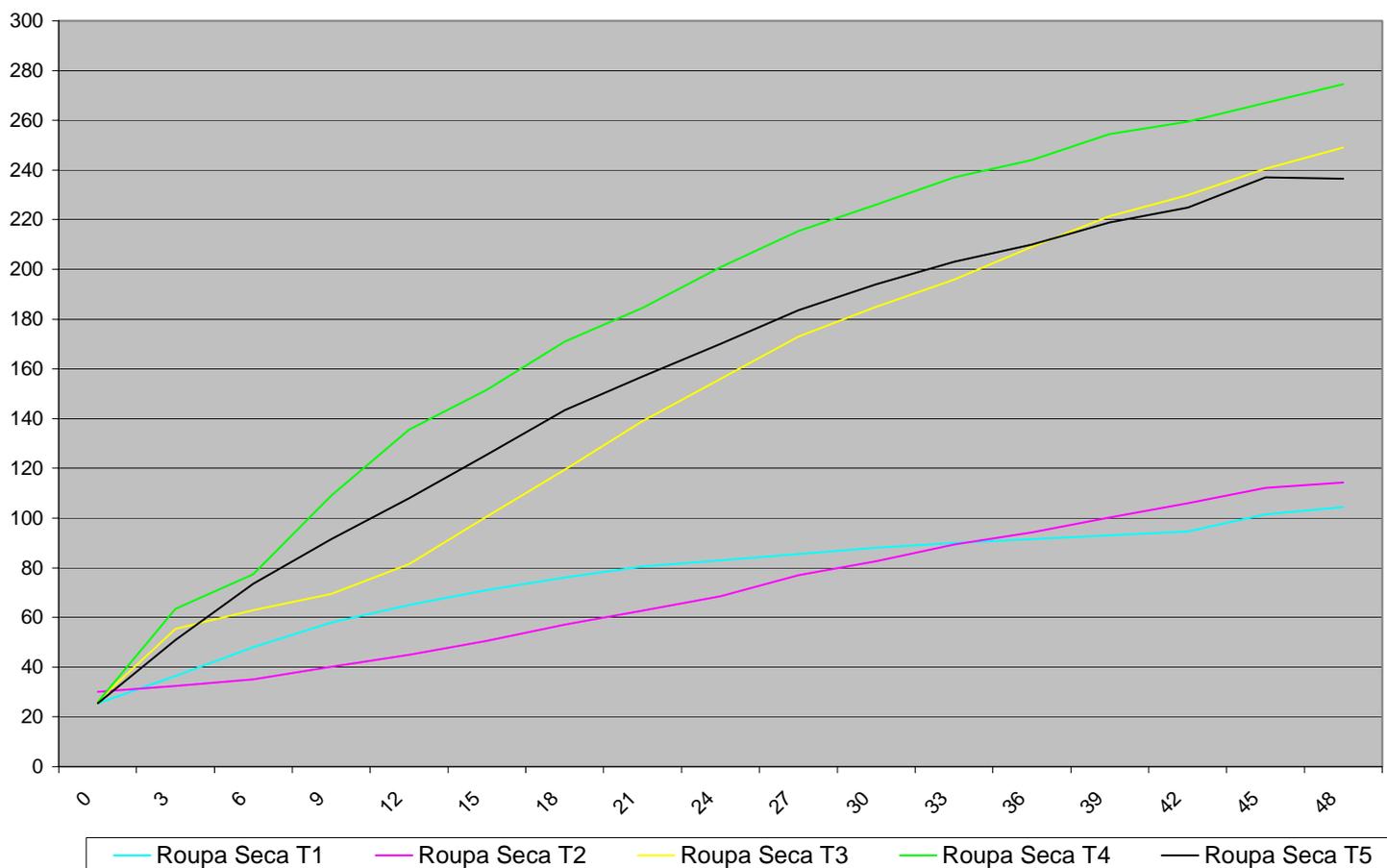


Fonte: Do autor

5.7 TERMOPARES NA ROUPA SECA

Os termopares T1 ao T5 que estavam dispostos nas camadas da roupa geraram o Gráfico 7 para a roupa seca. Observa-se neste gráfico a formação de dois grupos, onde o primeiro grupo é formado pelos termopares T1 e T2 indicados respectivamente pelas cores azul e rosa. O segundo grupo é formado pelos outros 3 termopares (T3 (linhas amarela), T4(verde) e T5 (preta)). A formação destes grupos foi devido a camada térmica da roupa (3ª Camada) na qual os termopares T1 e T2 apresentavam-se abaixo desta camada sofrendo assim uma variação menor da temperatura e os outros 3 termopares ficaram acima da camada apresentando uma maior variação da temperatura, comprovando a função da 3ª Camada que é amenizar o fluxo de calor de fora para dentro da roupa.

Gráfico 7 – Variação da temperatura x tempo na roupa seca

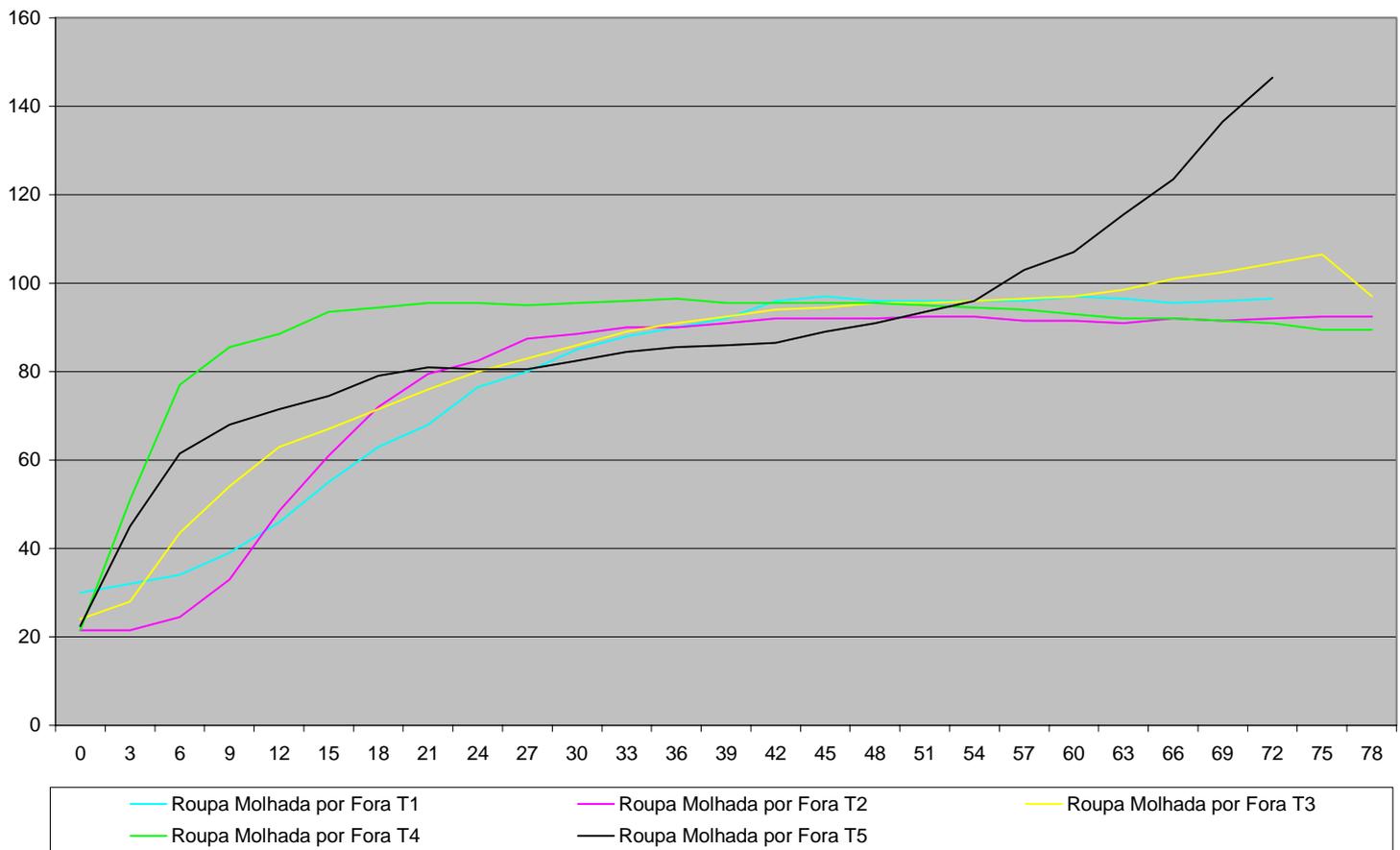


Fonte: Do autor

5.8 TERMOPARES NA ROUPA PARCIALMENTE MOLHADA

Os termopares T1 ao T5, da roupa molhada somente por fora, resultaram como variação de temperatura pelo tempo o Gráfico 8. A condução térmica da água é verificada como mostra o início do gráfico, onde a temperatura nos segundos iniciais eleva-se rapidamente e depois estabiliza-se. Percebe-se também que mesmo a temperatura sofrendo esta elevação ela é menor do que com a roupa seca no mesmo intervalo de tempo. Outro fator importante é a não elevação da temperatura acima dos 100°C devido ao acúmulo de água nas camadas, o que não ocorre com a roupa seca que eleva sua temperatura acima de 100°C em todas as camadas.

Gráfico 8 – Variação da temperatura x tempo na roupa parcialmente molhada

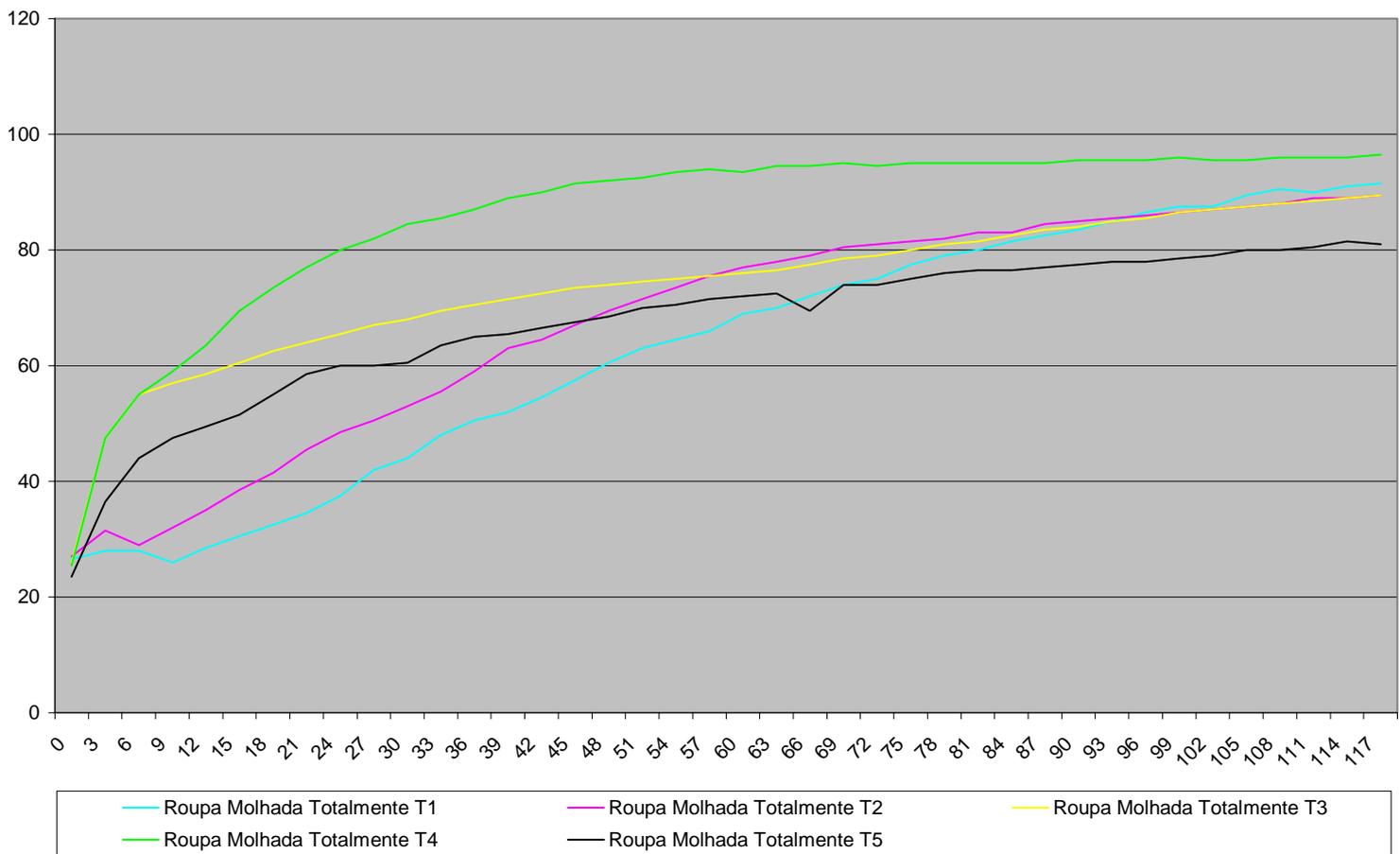


Fonte: Do autor

5.9 TERMOPARES NA ROUPA TOTALMENTE MOLHADA

Igualmente às outras situações, na roupa totalmente molhada os termopares T1 ao T5 geraram, devido as variações de suas temperaturas pelo tempo, o Gráfico 9. A água além de conduzir melhor o calor também tem um poder de absorção deste calor bastante elevada, sendo esse poder de absorção maior que o de condução do calor, por isso as temperaturas, quando em roupa totalmente molhada, sofrem uma variação menor como mostra o Gráfico 9 em relação aos Gráficos 7 e 8.

Gráfico 9 – Variação da temperatura x tempo na roupa totalmente molhada



Fonte: Do autor

6 CONCLUSÃO

A transmissão deste calor através das roupas de combate a incêndios sempre gerou polêmica entre os próprios bombeiros. Com este trabalho, que teve como objetivo o estudo da transferência de calor através desta roupa, a discussão de molhar-se ou não a roupa antes de entrar em um ambiente em chamas deve ser feita com base nos resultados aqui obtidos.

As medições feitas em laboratório mostram que molhar a roupa totalmente retarda consideravelmente o avanço do calor pelas camadas da roupa. Sabe-se que a água também absorve calor e demora um certo tempo para chegar aos 100°C, quando então evapora-se totalmente. Por causa destes fenômenos a água retarda a transferência do calor através da roupa. Enquanto manter água retida nos tecidos a temperatura não irá sofrer grandes variações.

Conforme visto nos gráficos usando somente a roupa seca, a temperatura mais interna, aquela no qual o bombeiro estará sentindo se estiver frente ao fogo, chega rapidamente aos 100°C, enquanto com a roupa molhada totalmente, todos os termopares, dificilmente marcaram os 100°C ou até mesmo não chegaram a esta temperatura. Vale ressaltar que a mufla estava configurada com uma temperatura interna de 400°C, que é considerada pelos bombeiros uma temperatura extremamente alta.

No entanto, é importante salientar que as condições de teste neste trabalho não são exatamente iguais à situação real de um combatente de incêndio. Tanto as dimensões do ambiente aquecido (forno) quanto as dimensões da roupa testada são bem menores que uma situação real. Isso faz com que os tempos de aquecimento medidos não necessariamente sejam os encontrados numa situação real. Porém, em termos qualitativos, pode-se afirmar que quanto mais molhada estiver a roupa, maior será o tempo para que a temperatura na camada mais interna da roupa, que está em contato com a pele do combatente, atinja níveis nocivos ao mesmo. Isto é explicado devido a capacidade de absorção de calor da água ser maior do que sua capacidade de condução térmica.

Sendo o combate a incêndio o carro chefe da profissão de bombeiro e o que causa maiores problemas tanto para os combatentes como para a sociedade, com alguns exemplos recentes, como o incêndio do Mercado Público de Florianópolis, da empresa Cottonbaby de São José e da loja dos Supermercados Rosa de Florianópolis, este trabalho sugere como forma de ensinamento aos demais bombeiros do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina que seja molhado totalmente a roupa de combate a incêndios (EPI) antes de entrar em qualquer ambiente em chamas como forma de aumentar a segurança e o conforto térmico dos homens do fogo.

REFERÊNCIAS

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1992.

_____. _____. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1998.

RAMALHO JUNIOR, F.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. T. **Os fundamentos da física**. 7. ed. rev. e ampl. São Paulo: Moderna, 1999.

KREITH, Frank. **Princípios da transmissão de calor**. São Paulo: Edgard Blücher, 1977.

SCHMIDT, F.W.; HENDERSON, R.E.; WOLGEMUTH, C.H. **Introdução às ciências térmicas: termodinâmica, mecânica dos fluidos e transferência de calor**. São Paulo: Edgard Blücher, 2001.

GOMES JUNIOR, Aix. **Equipamentos de proteção individual, porque usá-los?**. 1997. 48 f. Monografia (Curso Superior de Polícia) – Centro de Aperfeiçoamento e Estudos Superiores, São Paulo, 1997.

MASSARINI, Carlos E.. **“Uniforme básico para bombeiros” Mudar para preservar**. 2000. 118 f. Monografia (Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais) – Centro de Aperfeiçoamento e Estudos Superiores, São Paulo, 2000.

LOSSO, Diogo B.. **O uso de EPI em incêndios**. [2006?]. Florianópolis. Digitado.

_____. **Roupa Combate a Incêndio Rip Stop CBMSC**. [2006?]. Florianópolis. Digitado.

BRASIL. **Consolidação das leis do trabalho**. 28. ed. São Paulo: LTr, 2001.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Novo dicionário eletrônico aurélio versão 5.0**. [S.I.]: Positivo, 2004. CD-ROM.

DUPONT. **Manual sobre as fibras nomex**. [S.l.: s.n.], 2000. CD-ROM.

BIBLIOGRAFIAS

LAKATOS, Eva Maria e MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. Porto Alegre: Atlas, 2005.

Poteção Incêndio: EPIs para bombeiros. **Proteção**, São Paulo: Proteção, p. 6-9, mar. 2005.

CARDOSO, Maria. Temperatura máxima. **Proteção**, São Paulo: Proteção, n. 184, p. 32-54, abr. 2007.

TAVARES, Ingrid. Qual a maior temperatura que o corpo pode agüentar?. **Super Interessante**, São Paulo: Abril, n. 225, p. 42, abr. 2006.

