ESCOLA DE ARTES, CIÊNCIAS E HUMANIDADES

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

SANDRA MONTEIRO DE ALBUQUERQUE

Estudo comparativo do comportamento da costura em tecido que retarda a chama, submetida
ao calor e à chama

São Paulo

2013

SANDRA MONTEIRO DE ALBUQUERQUE

Estudo comparativo do comportamento da costura em tecido que retarda a chama, submetida
ao calor e à chama

Dissertação apresentada à Escola de
Artes e Humanidades da Universidade
de São Paulo para obtenção do título de
Mestre

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

São Paulo

2013

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

CATALOGAÇÃO-NA-PUBLICAÇÃO

Biblioteca

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

Albuquerque, Sandra Monteiro de

Estudo comparativo do comportamento da costura em tecido que retarda a chama, submetida ao calor e à chama / Sandra Monteiro de Albuquerque ; orientadora Regina Aparecida Sanches. – São Paulo, 2013.

136 f. : il.

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

Versão corrigida.

1. Tecnologia têxtil. 2. Fios (Indústria têxtil). 3. Tecidos (Indústria têxtil). I. Sanches, Regina Aparecida, orient. II. Título.

CDD 22.ed. – 677

Dedico este trabalho a Deus e a minha família.

ALBUQUERQUE, Sandra Monteiro de

Estudo comparativo do comportamento da costura em tecido que retarda a chama, submetida ao calor e à chama

Dissertação apresentada à Escola de
Artes e Humanidades da Universidade
de São Paulo para obtenção do título de
Mestre

Aprovado em: 19 de março de 2013

Banca Examinadora

Prof. Dr. Alexandre Augusto Massote

Centro Universitário da FEI

Aprovada

Prof.^a Dr.^a Francisca Dantas Mendes

EACH Escola de Artes, Ciências e Humanidades da USP

Aprovada

AGRADECIMENTOS

À reitoria do Centro Universitário da Faculdade de Engenharia Industrial (FEI) e à Prof.^a Dr.^a Camilla Borelli Silva, coordenadora do curso de Engenharia Têxtil, do Centro Universitário da FEI, que viabilizou a realização da parte experimental deste trabalho nos laboratórios da instituição.

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

Ao Prof. Paulo Alfieri e à Prof.^a Toshiko Watanabe, pelas dicas e sugestões.

Ao Prof. Dr. Alexandre Massote e à Prof.^a Dr.^a Francisca Dantas Mendes, pelas considerações feitas no exame de qualificação que contribuíram muito para o aprimoramento desta dissertação.

À Prof.^a Maria Adelina Pereira, pelo incentivo ao tema.

À Sra. Tereza Quaresma Neres e Srta. Keila Fernandes Moreno, pela preparação do material experimental e apoio nos laboratórios.

Aos Srs. Alexandre Kruth e Wan Ming e à Sra. Marília Pellicano, pela concessão dos materiais utilizados neste estudo.

RESUMO

A necessária atenção que se dá à seleção do tecido base da vestimenta de proteção ao calor e ao fogo é, algumas vezes, negligenciada no momento da confecção do produto. Fatores como a terceirização do processo de costura pelas empresas e a inspeção de qualidade somente no seu final, podem dificultar tanto o acompanhamento do processo de confecção, quanto a observação das especificações das normas regulamentadoras, possibilitando produção de vestimentas ineficazes na sua função protetora. A inflamabilidade da costura de uma vestimenta de proteção ao calor e à chama pode sofrer a influência de fatores, independentes ou combinados, como a estrutura química e como a geometria da fibra as quais compõem a linha de costura, a estrutura da linha, a lubrificação da linha, a tensão do ponto, o tipo da costura e a inflamabilidade do tecido base. Este estudo tem como objetivo comparar o comportamento das costuras feitas com diferentes tipos de linhas, sobre tecido com característica retardante da chama, submetidas ao teste de inflamabilidade vertical.

Palavras-chave: costuras, vestimentas de proteção, inflamabilidade e linhas

ABSTRACT

The necessary attention to the selection of the base fabric of protective clothing to heat and fire is sometimes overlooked at the time of manufacturing the product. Factors such as outsourcing the sewing process and having quality inspections only at the end of the process, can hinder the supervision of the manufacturing and legislation specifications, causing the production of garments ineffective in its protective function. The flammability of the seam of a protection garment to heat and flame, can be influenced by both independent or combined factors, as the chemical structure and geometry of the fiber composing the sewing thread, the structure of line, line lubrication, stitching tension, the type of stitching and flammability of the base fabric. The goal of this study is to compare the behavior of the seams made with different types of threads on fabric with flame retardant characteristics, for vertical flammability testing.

Keywords: seams, protective clothing, flammability and sewing thread

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Estrutura da cadeia produtiva têxtil	29
Figura 2 - Fórmula estrutural da celulose	31
Figura 3- Corte transversal do tecido plano em diferentes ligamentos	34
Figura 4 - Representação da meia malha	34
Figura 5 - Etapas do processo de confecção	36
Figura 6 - Moldes que compõem a modelagem de uma calça	37
Figura 7 - Cortadora automática	38
Figura 8 - Tipos de costura	39
Figura 9 - Adequação da espessura da linha de costura ao diâmetro da agulha	45
Figura 10 - Tipos de pontas de agulha	45
Figura 11 - Tetraedro do fogo	47
Figura 12 - Formas de transmissão de calor	48
Figura 13 - Curso do fogo	48
Figura 14 - Aramida	53
Figura 15- Mecanismo dos retardantes de chamas	60

Figura 16 - Figuras utilizadas para identificar o tipo de risco	67
Figura 17 - Índice de proteção vs massa das folhas de tecido	68
Figura 18 - Representação da utilização das fibras têxteis em vestimentas de proteção ao calor e às chamas	72
Figura 19 - Aspecto dos tecidos	73
Figura 20 - Exemplo de peças de proteção confeccionadas em malha	73
Figura 21 - Representação do título no sistema tex.....	79
Figura 22 - Representação da estrutura da pesquisa experimental.....	82
Figura 23 - Suporte vertical	86
Figura 24 - Distribuição de referência.....	93
Figura 25 - Pontos e costuras utilizados no experimento	96
Figura 26 - Pontos e costuras utilizados no experimento	97
Figura 27 - Pontos do bordado	98
Figura 28 - Comparativo entre lado direito e avesso da costura	103
Figura 29 - Corpos de prova com a linha 1 após o teste de inflamabilidade.....	104
Figura 30 - Costura antes do ensaio	105

Figura 31 - Fotos da linha 1 após o ensaio	105
Figura 32 - Corpos de prova com a linha 2 após o teste de inflamabilidade.....	106
Figura 33 - Costura antes do ensaio	107
Figura 34 - Fotos das costuras feitas com a linha 2 após o ensaio	107
Figura 35 - Corpos de prova com a linha 3 após o ensaio de inflamabilidade.....	108
Figura 36 - Costura antes do ensaio	109
Figura 37 - Fotos das costuras feitas com a linha 3 após o ensaio	109
Figura 38 - Corpos de prova com a linha 4 e linha 5 (filamento texturizado) após o ensaio .	110
Figura 39 - Costura antes do ensaio	111
Figura 40 - Fotos das costuras feitas com a linha 4 e linha 5 (filamento texturizado).....	111
Figura 41 - Corpos de prova com a linha 2 nos <i>loopers</i> e linha 4 nas agulhas após o ensaio de inflamabilidade	112
Figura 42 - Costura antes do teste	113
Figura 43 - Fotos das costuras feitas com a linha 2 nos <i>loopers</i> e linha 4 nas agulhas.....	113
Figura 44 - Corpos de prova com ponto 401 e ponto 301	114
Figura 45 - Corpos de prova do tecido B com a linha 2 após o ensaio de inflamabilidade ..	115

Figura 46 - Corpos de prova do tecido C com a linha 2 após o ensaio de inflamabilidade ..	115
Figura 47 - Tecido B com a linha 4	116
Figura 48 - Tecido C com a linha 4 após o teste	116
Figura 49 - Bordado antes e depois do ensaio de inflamabilidade	117
Figura 50 - Corpos de prova do tecido B com todas as linhas	121
Figura 51 – Lado do avesso de uma camisa em tecido retardante da chama costurada com dois tipos diferentes de linhas: linha com fibra retardante da chama e linha sintética de filamento texturizado	123

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classes de pontos de costura	42
Quadro 2 - Classes de costura.....	44
Quadro 3- Atividades que necessitam de proteção ao calor e às chamas.....	64
Quadro 4 - Resumo das normativas para proteção de fogo repentino e arco elétrico	70
Quadro 5 - Linhas de costura.....	78
Quadro 6 - Resultados do ensaio de inflamabilidade com a linha 1.....	104
Quadro 7 - Resultados do ensaio de inflamabilidade com a linha 2.....	106
Quadro 8 - Resultados do ensaio de inflamabilidade com a linha 3.....	108
Quadro 9 - Resultados do ensaio de inflamabilidade com as linhas 4 e 5 combinadas.....	110
Quadro 10 - Resultados do ensaio de inflamabilidade com as linhas 2 e 4 combinadas.....	112
Quadro 11 - Resultados do ensaio de inflamabilidade com a linha 2 na fixação da faixa retrorrefletiva.....	114
Quadro 12 - Resultados do ensaio de inflamabilidade com a linha 4 na fixação da faixa retrorrefletiva.....	116
Quadro 13 - Resultados do teste de inflamabilidade com a linha 6 no bordado	117
Quadro 14 - Resumo dos resultados	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Temperatura de transição térmica das fibras têxteis	51
Tabela 2 - Quantidade de calor liberada pela combustão	51
Tabela 3 - Comparação das propriedades das aramidas	54
Tabela 4 - Comparação entre as propriedades das fibras	56
Tabela 5 - Nível de proteção vs gramatura do tecido de lã vs 300ml de metal fundido	62
Tabela 6 - Gasto em dólares por trabalhador em equipamento de segurança	74
Tabela 7 - Representação genérica de um planejamento de modo aleatório por níveis, utilizando “n” réplicas	88
Tabela 8 - Resumo da tabela ANOVA para análise dos resultados	91
Tabela 9 - Caracterização dos tecidos do experimento	100
Tabela 10 - Caracterização das linhas utilizadas no experimento	101
Tabela 11 - Resumo da tabela ANOVA para gramatura dos tecidos	102
Tabela 12 - Resumo da tabela ANOVA para título das linhas de costura.....	102
Tabela 13 - Resumo da tabela ANOVA para carga de ruptura da linha de costura	103
Tabela 14 - Redução na carga de ruptura do tecido	118

DEFINIÇÕES

Alongamento - a capacidade de um material têxtil alongar quando submetido a forças mecânicas.

ANOVA (Análise da Variância) - método estatístico para tomada de decisões baseadas nas causas de variação de um experimento.

Calor específico - representa a quantidade de energia necessária para elevar de 1°C a temperatura de 1g da substância considerada.

Calor latente - é a grandeza física que informa a quantidade de energia térmica (calor) que uma unidade de massa de uma substância deve perder ou receber para que ela mude de estado físico.

Condutividade térmica - grandeza física que mede a capacidade de uma substância conduzir o calor.

Corpos de prova - amostra representativa do material em estudo.

Denier - o título denier de um fio têxtil é o número que expressa o peso em gramas de 9mil metros desse fio.

Elastômero - é um polímero que apresenta propriedades "elásticas" e suporta grandes deformações antes da ruptura.

Extrusão - processo de produção onde um polímero em fusão é empurrado através de orifícios, formando filamentos contínuos.

Fio texturizado - fio formado de múltiplos filamentos que passam pelo processo industrial de texturização, cujo objetivo é aumentar o volume, proporcionar um toque mais macio e aumentar a elasticidade do fio.

Gramas força - unidade de força igual ao peso de uma massa de 1g.

Ignição - ação de arder, de inflamar.

Peso específico - definido como o peso por unidade de volume.

Pespono - ponto de costura para ornamentação.

Pirólise - decomposição do material pela ação de altas temperaturas. Ocorre uma ruptura da estrutura molecular original pela ação do calor em um ambiente com pouco ou nenhum oxigênio.

Radicais livres - espécies químicas com elétrons desemparelhados e, com raras exceções, instáveis e reativas.

Umidade Regain - quantidade de água absorvida pelo material seco sob condições especificadas de temperatura e umidade, comparada com a massa do material seco.

Tenacidade - capacidade de absorção de energia mecânica que um material pode absorver até a ruptura, por unidade de volume.

Tensão de tração de ruptura - força necessária por unidade de área para romper um material.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE QUADROS.....	13
LISTA DE TABELAS.....	10
DEFINIÇÕES	11
1 INTRODUÇÃO	20
1.1 Objetivo do trabalho	21
1.2 Justificativa	21
1.3 Organização do trabalho.....	23
2 REVISÃO DA LITERATURA	25
2.1 Vestimenta de proteção	26
2.2 Têxteis técnicos.....	27
2.3 Material têxtil.....	28
2.3.1 As fibras.....	30
2.3.1.1 Fibras naturais: algodão e lã	30
2.3.1.2 Fibras químicas: <i>rayon</i> viscose, acetato, poliamida.....	32
2.3.2 Os fios.....	33
2.3.3 Os tecidos	33
2.3.4 O acabamento têxtil	34
2.3.5 A confecção	35
2.3.5.1 Criação de produto	36

2.3.5.2	Desenvolvimento de produto	37
2.3.5.3	Corte.....	38
2.3.5.4	Costura	39
2.3.5.5	Acabamento	46
2.4	Comportamento do fogo e do calor frente aos materiais	46
2.4.1	Fundamentos.....	46
2.4.2	Transferência de calor	47
2.4.3	Queima de um polímero	48
2.5	Fatores que afetam a inflamabilidade nos produtos têxteis.....	50
2.5.1	Fibras resistentes ao calor e à chama.....	52
2.5.2	Tecidos resistentes ao calor	56
2.5.3	Acabamento têxtil e resistência ao calor	57
2.5.3.1	Descrição do modo como agem os antichamas	58
2.6	Vestuário de proteção.....	61
2.6.1	Calor condutivo na vestimenta de proteção.....	62
2.6.2	Calor convectivo na vestimenta de proteção	62
2.6.3	Calor radiante na vestimenta de proteção.....	63
2.6.4	Variações no vestuário de proteção	64
2.6.5	Tipos de riscos térmicos	66
2.6.6	Efeito das características do tecido no vestuário de proteção	67
2.6.7	Medições e quantificações.....	68
2.6.8	Legislação	69
2.6.9	Normas e ensaios aplicáveis.....	71

3	MERCADO TÊXTIL E CONFECCÃO PARA VESTIMENTA DE PROTEÇÃO	72
----------	---	-----------

4	MATERIAIS E METODOLOGIA	76
4.1	Materiais	76
4.1.1	Tecidos	76
4.1.2	Linhas de costura	76
4.1.3	Aviamentos	79
4.2	Metodologia	80
4.2.1	Caracterização dos tecidos.....	83
4.2.2	Caracterização das linhas de costura	84
4.2.3	Ensaio na costura	85
5	PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTO ESTATÍSTICO	88
5.1	Planejamento de modo aleatório por níveis	88
5.1.1	Teste de hipóteses	90
5.1.2	Análise de variância.....	90
6	ESTUDO COMPARATIVO	94
7	RESULTADOS.....	100
7.1	Análise estatística.....	101
7.1.1	Análise da variância para os ensaios de gramatura de tecidos.	101
7.1.2	Análise da variância para os ensaios de título das linhas de costura.	102
7.1.3	Análise da variância para os ensaios de determinação da carga de ruptura da linha de costura.....	102
7.2	Costuras	103
7.2.1	Linha 1: 100% poliéster filamento liso.....	104
7.2.2	Linha 2: no mínimo 80% de meta-aramida	106
7.2.3	Linha 3: 65% poliéster e 35% algodão	108

7.2.4	Combinação da linha 4: 100% poliéster fiado e linha 5: 100% poliéster filamento texturizado.....	110
7.2.5	Combinação da linha 2: no mínimo 80% meta-aramida e linha 4: 100% poliéster fiado	112
7.3	Costura de fixação da faixa retrorrefletiva	114
7.3.1	Linha 4: 100% poliéster fiado	116
7.4	Bordado	117
7.4.1	Linha 6: 100% poliéster filamento trilobal.....	117
7.5	Comparação no ensaio de tração.....	117
7.6	Resumo dos resultados	119
8	CONCLUSÕES	120
8.1	Considerações finais	122
8.2	Sugestões para trabalhos futuros	124
	REFERÊNCIAS	125
	ANEXO.....	131

1 INTRODUÇÃO

Documentos da Idade da Pedra Polida (c. 2,5 milhões a 10 mil a.C.) evidenciam que o homem de então já usava um traje que consistiria numa proteção sumária, igual à tanga ainda hoje utilizada por alguns povos selvagens; no inverno, era acrescida de peles de animais. Portanto, as primeiras vestimentas de proteção já aparecem no período pré-histórico do homem. Com o tempo, as vestes deixaram de servir apenas de proteção e passaram a ser utilizadas como adorno e também como uma forma de diferenciar as classes sociais.

Entretanto, em certas circunstâncias da Antiguidade, o uso como vestimenta de proteção é evidenciado nos tempos de guerra. Assim sendo, detalhes no vestuário com essa finalidade são incorporados à vestimenta tradicional. Então, capacetes e protetores de pernas e braços fazem parte da vestimenta de proteção em certas ocasiões de tempos antigos.

Na Idade Média, por exemplo, o combatente medieval, para se proteger, utilizava uma malha de aço tecida de pequenos aros que dificultavam a penetração de objetos pontiagudos, como as flechas.

Durante a peste negra (1347-1350) – doença epidêmica que matou um terço da população da Europa – roupas de proteção foram utilizadas pelos médicos que prescreviam a distância.

As roupas evoluíram com o tempo e as necessidades de proteção também. Com efeito, a evolução de certas atividades científicas e tecnológicas expõem o ser humano a novos riscos no trabalho: contaminação nuclear, contaminação química, contaminação bacteriológica, entre outras. O avanço da medicina aponta para perigos à saúde do homem, não considerados até pouco tempo atrás: o buraco na camada de ozônio, a exposição aos raios ultravioleta, o lixo contaminante e outros malefícios de uma sociedade altamente tecnológica, industrializada e consumista que podem comprometer a saúde e a segurança de qualquer cidadão.

Nesse entendimento, essas características marcam a realidade do mundo contemporâneo e, em razão disso, motivaram a elaboração do presente estudo que tem um objetivo específico como se pode ver a seguir.

1.1 Objetivo do trabalho

O objetivo deste trabalho é comparar o comportamento das costuras feitas com linhas de estruturas e de composições têxteis distintas, feitas em tecidos que retardam a chama, quando submetidas ao teste de inflamabilidade de chama vertical.

1.2 Justificativa

A saúde e a segurança dos trabalhadores são sistemáticas preocupações de governo, empregadores e empregados. Tudo, em última análise, para contribuir para o bem-estar e integridade do homem. Nesse sentido, pesquisas nesta área colaboram para prevenir acidentes de trabalho, bem como para reduzir despesas decorrentes de possíveis acidentes.

As indústrias petroquímica, metalomecânica e fundições são alguns exemplos de locais onde existe risco de acidente ao trabalhador devido ao calor e às chamas. Nesses ambientes, e depois de tomadas todas as medidas coletivas e administrativas de proteção ao trabalhador, se o risco de acidentes persistir, adota-se a proteção através de Equipamento de Proteção Individual (EPI). A propósito, é sabido que a ação de controlar os riscos envolve eliminar o risco – ação prioritária –, isolar o risco ou sinalizar o risco. Este estudo, por conseguinte, pretende enfatizar a importância da vestimenta de proteção como um dos tipos de EPI, uma vez que protege a integridade física do trabalhador em caso de acidente, uma vez que o risco não pode ser eliminado coletivamente.

De acordo com a Associação Nacional da Indústria de Material de Segurança e Proteção ao Trabalho (ANIMASEG), existe no mercado brasileiro de EPIs uma real oportunidade de crescimento. No item vestimentas de proteção, o Brasil precisaria dobrar o

consumo atual para ficar perto da média de gastos com Equipamento de Proteção Individual de países como Japão, Estados Unidos e Canadá.

Cumprir destacar que, em entrevista com fabricantes desse tipo de vestimentas, apurou-se que o processo de costura é muitas vezes terceirizado em oficinas externas, sem acompanhamento presencial permanente. Dessa constatação, por conseguinte, pode-se deduzir que a qualidade do produto é verificada apenas no retorno das peças prontas, antes do armazenamento.

Acrescente-se ainda que a terceirização do processo de costura no Brasil é uma prática bastante adotada pelas empresas. Segundo dados do Instituto de Estudos e Marketing Industrial (IEMI), cerca de 70% das confecções brasileiras possuem até dezenove funcionários e, basicamente, prestam serviços às empresas de confecções maiores.

A esse respeito, Silva (2002), afirma que, com o intuito de solucionar dificuldades e manter-se no mercado, as médias e grandes empresas transferiram sua deficiência produtiva, principalmente a da costura, para empresas menores (facção) mediante terceirização.

Nessas circunstâncias, verifica-se que, muitas vezes, aspectos importantes ligados à montagem das roupas são negligenciados no momento da fabricação por falta de conhecimento; negligência que pode comprometer o desempenho da proteção desejada, colocando em risco o trabalhador.

Segundo Jakes (1974), muitos fatores podem contribuir – independentes ou combinados – para a inflamabilidade da costura. Alguns exemplos: estrutura química da fibra, geometria da fibra e da linha de costura, tensão da linha, lubrificação da linha, tipo da costura, inflamabilidade do tecido de base, entre outros.

1.3 Organização do trabalho

O presente trabalho está organizado em oito capítulos na seguinte ordem: uma introdução, a revisão da literatura, o mercado têxtil da vestimenta, o experimento estatístico, o estudo comparativo, os resultados e as conclusões.

O primeiro, apresenta um breve histórico sobre as origens da vestimenta de proteção, define o objetivo do estudo e o valida com as justificativas.

O segundo capítulo, com base na literatura existente, apresenta dados sobre a responsabilidade têxtil na propagação do fogo, conceitua os têxteis técnicos e suas aplicações em segurança, descreve o material têxtil, o comportamento dos materiais sob a ação do calor e fogo, aponta os fatores que afetam a inflamabilidade nos produtos têxteis e mostra o mecanismo de proteção adotado nas vestimentas, de acordo com o tipo de risco a que são submetidas.

O capítulo três apresenta um breve cenário do atual mercado têxtil e de confecção para vestimenta de proteção, com destaque para os diferentes materiais com que é confeccionada a vestimenta.

O capítulo quatro descreve os materiais – os tecidos, as linhas de costura e os aviamentos – e a metodologia da pesquisa.

O capítulo cinco traz o planejamento estatístico do estudo, ou seja, de modo aleatório, planeja as hipóteses e analisa a variância. Em seguida compara as médias individuais dos tratamentos a que foram submetidos os materiais.

O sexto capítulo descreve os procedimentos adotados no experimento, comparando o comportamento de costuras feitas com linhas e tecidos de diferentes tipos.

O capítulo sete, por evidente, traz os resultados dos testes, em termos estatísticos, respectivamente em relação ao carácter do tecido e da linha.

O oitavo capítulo apresenta as conclusões e traz sugestões para trabalhos futuros, levando-se em conta que o presente estudo deve ser considerado um ponto de partida para atender às necessidades do mercado no que diz respeito à saúde e segurança do trabalhador e também à redução de gastos financeiros resultantes de algum possível acidente.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A reação aos incêndios que podem surgir dos materiais contidos nos espaços ocupados por pessoas, sejam os mobiliários (estofamentos, cortinas, objetos de decoração, etc.), sejam os agregados aos elementos construtivos (revestimentos de paredes, tetos, pisos e fachadas), destaca-se como um dos principais fatores responsáveis pelo crescimento do fogo, pela propagação das chamas e pelo desenvolvimento de fumaça e gases tóxicos, contribuindo para que o sinistro atinja fases críticas e gere pânico e até mesmo mortes (SEITO *et al.*, 2008).

As estatísticas têm demonstrado que 20% dos incêndios em residências são causados, em primeiro lugar, pela queima de material têxtil. Como agravante, mostram também que mais de 50% das mortes são causadas por esses incêndios (HORROCKS; PRICE, 2001).

Cada ano cresce o número de feridos e vítimas fatais de acidentes domésticos com fogo, associados à inflamabilidade dos tecidos (KADOLPH ; LANGFORD, 1998).

Após tratamentos o mesmo material têxtil visto pelas estatísticas como responsável pela propagação do fogo, está sendo utilizado na proteção do homem com bons resultados. Novas tecnologias, misturas de fibras, pesquisas de acabamentos químicos com propriedades ignífugas permitiram o desenvolvimento de diversos têxteis técnicos retardantes de chama. Esses têxteis foram concebidos para reduzir o risco de propagação de incêndio em tapetes, cortinas, colchões, etc. e para serem utilizados na confecção de roupas para proteger o homem quando expostos a riscos inerentes a certos processos industriais.

É oportuno esclarecer que os subitens que seguem foram escolhidos como objeto de análise do presente estudo.

– Vestimenta de proteção é o produto final que envolve o processo da costura.

- Têxteis técnicos são os tecidos fabricados com função específica.
- Material têxtil são os materiais que dão origem aos têxteis técnicos.
- Comportamento do fogo e do calor frente aos materiais trata da química do fogo e a transmissão do calor.
- Fatores que afetam a inflamabilidade nos produtos têxteis são informações relacionadas com os materiais que compõem o vestuário de proteção.
- Vestuário de proteção: neste subitem serão detalhadas as necessidades de proteção que variam em função de cada tipo de transferência de calor.

2.1 Vestimenta de proteção

Nota-se que cada vez mais o governo e as empresas se preocupam com o bem-estar físico do ser humano em geral e do trabalhador em particular. Nessa direção caminha a indústria têxtil empenhada no desenvolvimento de soluções tecnológicas para atender as novas necessidades.

Os estudos de Araújo, Figueiro e Hong (2000) mostram que, nas últimas décadas têm-se obtido grandes avanços, no que se refere à concepção e desenvolvimento da vestimenta de proteção. Além do aumento da proteção ao risco propriamente dito, eles afirmam que a isso soma-se a preocupação com o conforto do usuário e a durabilidade do produto. Os tecidos segundo esses autores, podem proteger um os mais perigos como: calor extremo, fogo, frio extremo, produtos químicos (líquidos ou gasosos), ambientes com bactérias e vírus, contaminação, danos mecânicos (inclusive proteção balística), danos elétricos, radiação, variações de pressão e vácuo, visibilidade, incluindo camuflagem.

Nesse sentido, importa então enfatizar que o tipo da fibra, o ligamento do tecido, a gramatura, o acabamento do tecido utilizado em tais vestimentas estão intimamente ligados à função específica da proteção, podendo variar para cada aplicação no ambiente de trabalho.

2.2 Têxteis técnicos

De acordo com Pereira (2003), têxteis técnicos são materiais constituídos de matérias-primas em forma de fibras, fios, filamentos, etc., nos mais diferentes arranjos (flocos, fios, tecidos e não tecidos) com aplicações que necessitem de desempenho bem determinado, visando praticidade, segurança, economia e durabilidade. Não são considerados têxteis técnicos os materiais utilizados em moda, cama, mesa e banho.

No mundo contemporâneo, é variada a abrangência de uso e aplicações dos produtos têxteis, desde os destinados ao uso doméstico (têxteis para decoração, móveis, etc.), passando pelo amplo campo dos vestuários chegando, de um lado, ligado aos grandes fenômenos sociais e culturais da moda, e do outro, atingindo o vestuário profissional ou esportivo. Este último tipo inclui o especializado segmento dos tecidos técnicos, com sua grande influência nas inovações tecnológicas, com um crescimento exponencial em suas aplicações e em sua demanda tecnológica global.

As principais utilizações finais dos artigos têxteis são: o vestuário, os produtos para a casa e decoração e os têxteis técnicos (WULFHORST *et al.*, 2006).

Ainda segundo Wulforth *et al.* (2006), os têxteis técnicos são agrupados em doze áreas principais de aplicação, tal como definido pela *Messe Frankfurt*¹ em 1997: *Agrotech*: agricultura, horticultura, silvicultura e pesca; *Buildtech*: construção e arquitetura; *Clothtech*: componentes funcionais para calçado e vestuário; *Geotech*: geotêxteis e engenharia civil; *Homotech*: produtos usados em casa, incluindo componentes para mobília e pavimentação; *Indutech*: filtros e outros produtos usados na indústria; *Medtech*: higiene e medicina;

¹ A *Messe Frankfurt* – em português, Feira de Frankfurt – organiza algumas das maiores e mais importantes feiras internacionais nas áreas Têxtil & Tecnologia Têxtil.

Mobiltech: construção de transportes, equipamento e mobiliário; *Oekotech*: proteção do meio ambiente, reciclagem, remoção e tratamento de lixo; *Packtech*: acondicionamento e armazenamento; *Protech*: proteção pessoal e de bens; *Sporttech*: roupas de esporte, lazer para *outdoor*, equipamento e calçados especiais etc.

Dentro da cadeia têxtil é possível identificar três processos de fabricação de tecidos: os tecidos planos, as malhas e os não tecidos². Os tecidos planos têm aplicações finais no vestuário (sobretudo no vestuário exterior), artigos para o lar e nos têxteis técnicos. As malhas têm como principais produtos finais o vestuário (interior e exterior) e os têxteis técnicos. Os não tecidos apresentam uma maior expressão nos têxteis técnicos.

Têxteis técnicos com o intuito de proteção são tecidos desenvolvidos para confecção de vestimentas ou outro produto protetor. Sua função é proteger o usuário de efeitos nocivos do ambiente que possam resultar em danos ou morte (ARAÚJO; FANGUEIRO e HONG, 2000).

2.3 Material têxtil

Para compreender as características de um material têxtil é importante saber que elas são resultados da interação das propriedades das fibras que formam os fios, e dos fios que, por sua vez, formam as superfícies planas: tecidos ou malhas e dos acabamentos, químicos e/ou físicos, aplicados sobre os tecidos ou malhas.

A Figura 1 mostra a estrutura da cadeia produtiva têxtil.

² Não tecido= neologismo criado a partir de uma inovação tecnológica para produzir algo semelhante ao tecido convencional. Por exemplo o TNT – nome popular do não tecido de trinitrotolueno.

Figura 1- Estrutura da cadeia produtiva têxtil
Fonte: Adaptado de IEMI – **Brasil Têxtil**, 2011

2.3.1 As fibras

De acordo com a *American Society for Testing and Materials* (ASTM-D123-93, 2006), fibra têxtil é um termo genérico usado para designar todos os materiais que formam um elemento básico têxtil; é caracterizado por ter um comprimento cem vezes maior que seu diâmetro.

Para todo e qualquer produto têxtil, os materiais básicos são as fibras. Dessa maneira, esses tipos de estrutura são as primeiras a contribuir para as propriedades que os produtos finais irão representar.

A origem das fibras pode ser utilizada como critério de classificação. Fibras de origem natural são as produzidas na natureza e pela natureza com a forma que as torna aptas ao processamento têxtil. Exemplo: seda, lã, algodão, linho, amianto.

Fibras de origem não natural, produzidas por processos industriais. Por exemplo: viscose, acetato, acrílica, elastano, aramida (ARAÚJO; CASTRO, 2000).

2.3.1.1 Fibras naturais: algodão e lã

O algodão é usado como fibra têxtil há mais de sete mil anos. Pode-se dizer que está ligado à origem mais remota do vestuário e à evolução da produção de artigos têxteis (ARAÚJO; CASTRO, 2000).

A fibra de algodão representa a metade do consumo mundial de fibras. Isso se deve tanto às suas propriedades inatas quanto por razões econômicas.

Esse tipo de fibra é constituída por longas cadeias de celulose contendo carbono, hidrogênio e oxigênio, também conhecido por polissacarídeos. O comprimento das cadeias determina a resistência da fibra. As moléculas lineares combinadas em microfibrilas são mantidas juntas por forças intermoleculares fortes para formar a fibra de algodão. As suas

propriedades físicas e estéticas, combinadas com a sua procedência natural e biodegradabilidade, são razões para seu apelo universal e sua popularidade (MIRAFTAB, 2000). A Figura 2 mostra a cadeia da celulose.

Figura 2 - Fórmula estrutural da celulose
Fonte: Hipertexto del área de la biología, 2012

Uma das mais notáveis propriedades do algodão é a sua capacidade de absorver água (cerca de 50% do seu peso), facilidade de tingimento e lavagem no meio aquoso (ARAÚJO; CASTRO 2000).

Lã é a descrição genérica do pelo de diversas raças de ovelhas domesticadas (*ovis aries*). Todavia também é comumente usada como nome genérico de todos os pelos de animais, incluindo o chamado pelos finos como, por exemplo, o pelo de cabra caxemira e angorá (*mohair*) – bem como as raças cruzadas de ambos –, de camelo, alpaca e vicunha, do coelho angorá e de muitos outros, incluindo o pelo do yak³ (HOCKER, 2002).

A lã, apesar da sua pouca disponibilidade e alto custo, é a segunda mais importante fibra natural. É constituída de proteína: uma mistura de aminoácidos quimicamente ligados que são também os componentes naturais de todos os organismos vivos. A queratina ou a proteína na fibra de lã, tem uma estrutura de cadeia helicoidal com forte ligação de hidrogênio inter e intra cadeia, que se crê ser responsável por muitas das suas características singulares (MIRAFTAB, 2000).

A região geográfica, as condições climáticas e a raça dos animais contribuem para que as fibras de lã tenham propriedades variadas.

³Yak é um bovino de pelo longo encontrado na região do Himalaia, Ásia Central, Mongólia e Rússia.

A elasticidade da lã e a sua capacidade de reter o ar têm um efeito de conforto e aconchego, que faz dessa fibra um material ideal para produzir artigos de isolamento térmico.

2.3.1.2 Fibras químicas: *rayon* viscose, acetato, poliamida

Com o passar do tempo, novas características e comportamentos foram exigidos das fibras têxteis. O vestuário, os têxteis utilizados para decoração, as necessidades da indústria de modo geral impulsionaram a investigação e a produção de novas fibras, que podem ser utilizadas em misturas com outras fibras ou não. Os ganhos com o emprego das fibras químicas foram maior estabilidade dimensional, maior resistência à tração, alta estabilidade térmica, entre outros.

Para facilitar o estudo das fibras químicas, elas foram divididas em artificiais e sintéticas. As fibras artificiais são produzidas a partir de polímeros naturais como a celulose. As principais matérias-primas são: o algodão e a polpa da madeira. *Rayon* viscose é a fibra artificial mais utilizada para o vestuário (ALFIERI, 2000).

As fibras sintéticas são obtidas mediante polímeros fabricados pelo homem. O princípio básico da sua produção é a policondensação, pela qual as moléculas de duas substâncias iniciais se combinam por reação química para formar uma molécula grande; da polimerização que é a justaposição de moléculas grandes semelhantes, obtém-se uma macromolécula de cadeia comprida (ARAÚJO; CASTRO, 2000).

Nylon é o nome comercial da poliamida, primeira fibra sintética produzida pelo homem, neste caso, a partir do petróleo. Esse fato estabeleceu as bases para as descobertas que se seguiram de todo um novo mundo de fibras sintéticas onde se destaca o acrílico, o poliéster, o elastano, a aramida, entre outros (FIBERSOURCE, 2012).

2.3.2 Os fios

As fibras têxteis são transformadas em fios por meio de um conjunto de operações chamado fiação. Os processos de fiação variam de acordo com as características das fibras. Basicamente, a fiação consiste na paralelização das fibras, na regularização da massa fibrosa e na torção (ARAÚJO; CASTRO, 2000).

As fibras sintéticas são produzidas pela extrusão da matéria-prima, o polímero, através de ffeiras. Dessas ffeiras saem filamentos contínuos que, se cortados, dão origem às fibras. Essas podem ser fiadas sozinhas ou misturadas com outras fibras, dando origem a fios mistos de poliéster com algodão, acrílico com lã, poliéster com viscose, etc. Os filamentos contínuos dispostos paralelamente também formam fios, chamados de fios multifilamentos. De acordo com a aplicação final, esses filamentos podem passar por um processo de texturização, que modifica a aparência, dá volume e elasticidade ao fio. A texturização frisa, encrespa o filamento liso, o que confere ao tecido produzido com esse fio, um toque mais macio e maior permeabilidade ao ar. Muito utilizado nos tecidos de malha (ALFIERI, 2000).

2.3.3 Os tecidos

É pelo entrelaçamento dos fios que o tecido é feito. O modo como o fio é entrelaçado contribui para a sua aparência e desempenho nas suas diversas aplicações.

No tecido plano o entrelaçamento é feito basicamente entre os fios de trama (sentido da largura); os de urdume (sentido do comprimento) num ângulo de 90 graus. Essa operação é feita em teares. A maneira como os fios são entrelaçados define o ligamento ou a padronagem do tecido (ALFIERI, 2000).

Na Figura 3 estão representados alguns tecidos e o nome dos seus ligamentos.

Figura 3- Corte transversal do tecido plano em diferentes ligamentos
Fonte: Alfieri, 2000

No tecido de malha, o fio é entrelaçado nele mesmo, sendo que o processo é feito em máquinas de malharia específicas que variam de acordo com o efeito desejado ao tecido de malha. Esse artigo, em comparação com o tecido plano, possui muito mais elasticidade (ALFIERI, 2000).

A figura 4 mostra como o fio é entrelaçado na meia malha ou *jersey*.

Figura 4 - Representação da meia malha
Fonte: Alfieri, 2000

2.3.4 O acabamento têxtil

Acabamento é qualquer processo realizado na fibra, no fio ou no tecido, antes ou depois da sua fabricação; tem por finalidade mudar a aparência, alterar o toque ou aprimorar o

seu desempenho. Cabe enfatizar que todo acabamento adiciona custo no produto final e tempo de produção (KADOLPH e LANGFORD, 1998).

Os acabamentos são classificados de acordo com o tempo de duração que o seu efeito permanece. Desse modo temos: o acabamento permanente, que resiste por toda a vida do produto; o acabamento durável com longa duração, mas não por toda a vida do produto; o acabamento temporário, cujo efeito é facilmente perdido como, por exemplo, após as primeiras lavagens; o acabamento renovável, no qual o processo pode ser reaplicado; exemplo: repelentes a água em estofados (KADOLPH e LANGFORD, 1998).

Ainda como exemplos de acabamento, destacam-se a mercerização, o amaciamento, a impermeabilização, o retardante de chamas, o antiestática, o antiamarrotamento, entre outros.

2.3.5 A confecção

A indústria da confecção é o último elo da cadeia têxtil; é composta pelos segmentos de vestuário e de artigos confeccionados. O segmento de vestuário compreende as classes de roupa íntima, de dormir, de esporte, de praia, de gala, social, de lazer, infantil e das classes de roupas especiais, como as de segurança, profissionais e de proteção. Já o segmento de artigos confeccionados é composto pela fabricação de meias, modeladores, acessórios para vestuário, artigos de cama, mesa, banho, copa, cozinha e limpeza, artigos de decoração e artigos industriais e de uso técnico (IPT, 2001).

O processo produtivo da confecção pode ser dividido em etapas, conforme representado na Figura 5.

Figura 5 - Etapas do processo de confecção
Fonte: Autor

2.3.5.1 Criação de produto

É nessa etapa que se cria o modelo e se faz a escolha dos tecidos para um determinado produto para vestuário. Nesse ponto, levam-se em conta as características e as propriedades do tecido para obter os resultados esperados. Para isso, é importante conhecer com profundidade, as necessidades e as expectativas daqueles que vão consumir o vestuário (JOHNSON; MOORE, 2001).

Adequar as propriedades dos tecidos de proteção ao custo esperado, ao conforto necessário e à estética é uma tarefa para profissionais da área têxtil, pois como será abordado mais adiante, para cada tipo de risco existe uma série de requisitos que devem ser verificados e testados para assegurar a proteção efetiva da roupa.

2.3.5.2 Desenvolvimento de produto

De acordo com Solinger (1990), para a elaboração de uma boa modelagem, é necessário um conhecimento dos princípios geométricos. O modelista deve ser capaz de visualizar o resultado final antes do desenvolvimento da peça propriamente dita. A forma dos moldes, seu tamanho e suas curvas, são responsáveis pela vestibilidade do produto.

Na Figura 6 observa-se um exemplo dos moldes com as suas graduações, que compõem a modelagem de uma calça modelo tradicional com cinco bolsos.

Figura 6 - Moldes que compõem a modelagem de uma calça
Fonte: Audaces, 2012

Depois de a modelagem ter sido desenvolvida para o tecido especificado, corta-se e costura-se uma amostra (também chamada de protótipo ou peça piloto). Essa peça é vestida por uma pessoa com as medidas de corpo, dentro do padrão da empresa e são verificados alguns itens como o conforto ao vestir, a facilidade em vestir e desvestir e a aparência geral da peça no corpo. Após a aprovação dessa amostra, são feitas as graduações de todos os moldes que compõem a peça, nos demais tamanhos comercializados (ARAÚJO; CASTRO 1996).

Quando se trata de modelagem utilizada na vestimenta de proteção, deve-se levar em consideração o conforto do trabalhador bem como é preciso estar atento à maneira como o trabalhador executa a sua tarefa. Alguns pontos importantes não podem deixar de ser considerados: é possível vestir e tirar a vestimenta de proteção sem dificuldade? Os fechos e os ajustadores são operados sem dificuldade? Movimentos simples como, por exemplo, subir escadas, levantar ambas as mãos acima da cabeça, curvar-se para pegar pequenos objetos, podem ser realizados sem dificuldade?

2.3.5.3 Corte

Na etapa do corte, o tecido é disposto sobre a mesa de corte em camadas, denominado enfesto. Um papel com o encaixe dos moldes nos tamanhos requisitados é colocado em cima do enfesto. Com a faca de corte própria para enfestos, o cortador corta essas camadas de tecido seguindo o risco do papel de encaixe.

Como opção para o corte manual, com faca vertical conduzida pelo operador, pode-se utilizar o sistema de corte automático. O enfesto é feito na mesa ao lado da cortadora automática. Através de uma esteira, o enfesto é levado até a cortadora automática. O movimento da máquina segue o desenho do encaixe dos moldes feito previamente e salvo no sistema computadorizado (ARAÚJO; CASTRO 1996).

Na Figura 7, um modelo de cortadora automática.

Figura 7 - Cortadora automática
Fonte: Audaces, 2012

2.3.5.4 Costura

A costura é a aplicação de uma sequência de pontos de costura em uma ou várias camadas de material com o objetivo de unir, reforçar ou ornamentar.

“A indústria de confecção utiliza a junção das partes componentes dos artigos, por meio de costuras formadas por pontos. [...]. O ponto é uma unidade de formação resultante da repetição da passagem da agulha no tecido e da passagem da linha no laço, com intervalos de espaço uniformes” (ARAÚJO; CASTRO, 2000).

A costura leva em conta os seguintes procedimentos: classificação dos pontos, classe de costura e agulhas.

Na Figura 8, a representação de alguns de tipos de costura.

Figura 8 - Tipos de costura
Fonte: Gutermann, 1993

Ferreira (2009) esclarece que a função da máquina de costura é produzir uma cadeia de laçadas de linha interligadas numa seção do tecido. A unidade de formação é o ponto de costura que se obtém pela passagem – em intervalos de espaço definidos e uniformes – da agulha pelo tecido e consequente passagem de um (vários) fio(s) por laço(s).

Segundo Laing e Webster (1998), uma comunicação e notação padronizada para as denominações de pontos e tipos costura são fundamentais para pesquisadores, *designers* de produtos, fabricantes, compradores de varejo e lojas, organizações nacionais e governamentais (por exemplo: Forças Armadas e polícia) e pessoas envolvidas com a segurança e vestuário de proteção.

Classificação dos pontos de costura

A expressão ponto de costura é definida como uma unidade de configuração resultante de um ou mais fios entrelaçados dentro do material dele, através dele ou sobre ele (LAING;WEBSTER,1998).

As diferentes maneiras com que as linhas se entrelaçam dão origem aos vários tipos de pontos. Segundo a Norma Brasileira NBR 13483, esses pontos são classificados em seis classes, de 100 a 600.

O Quadro 1 ilustra um exemplo de cada classe de ponto.

Pontos	Observações	Exemplos
Classe 100	ponto com um fio	<p>101</p>
Classe 200	ponto executado a mão	<p>202</p>
Classe 300	ponto fixo	<p>301</p>
Classe 400	ponto corrente	<p>401</p>

Pontos	Observações	Exemplos
Classe 500	ponto overloque
Classe 600	ponto com recobrimento

Quadro 1 - Classes de pontos de costura
Fonte: Adaptado NBR 13483

Classe de costura

A identificação das costuras é padronizada de acordo com Norma Brasileira - NBR 9397. As costuras são divididas em oito classes, segundo o número de componentes da costura. Conforme esse padrão o primeiro algarismo indica a classe da costura (de um a oito); o segundo e o terceiro algarismos mostram as diferenças na configuração do material; o quarto e quinto algarismos apontam o local de penetração e/ou passagem da agulha.

O Quadro 2 traz um exemplo de cada classe de costura.

Costura	Observações	Exemplos
Classe 1	no mínimo dois componentes, ambos limitados no mesmo lado	<p>1.06</p>
Classe 2	no mínimo dois componentes, um dos quais limitado num lado e o segundo no outro lado	<p>2.02</p>
Classe 3	no mínimo dois componentes, um dos quais é limitado pelo segundo que contorna a borda	<p>3.05</p>
Classe 4	no mínimo dois componentes, um é limitado de um lado e o outro do outro	<p>4.05</p>
Classe 5	no mínimo um componente, ilimitado nos dois lados	<p>5.04</p>

Costura	Observações	Exemplos
Classe 6	apenas um componente, limitado de um lado
Classe 7	no mínimo dois componentes, um é limitado num lado e todos os outros limitados nos dois lados
Classe 8	no mínimo um componente limitado nos dois lados e o outro também

Quadro 2 - Classes de costura
Fonte: Adaptado NBR 9397

Agulhas

A agulha é uma das menores peças que integram uma máquina de costura. Não obstante, é uma das mais importantes. Atualmente, as agulhas com essa finalidade são fabricadas em diversos tamanhos, diferentes formatos e vários acabamentos, de acordo com os fins a que se destinam (ARAÚJO; CASTRO, 2000).

A escolha da agulha (em relação a sua espessura, por exemplo) precisa ser compatível com o peso do tecido a ser trabalhado. O diâmetro deve aumentar de acordo com o aumento da gramatura do tecido. A agulha deve penetrar no tecido sem dificuldade (deslizar) e sem causar dano à estrutura do tecido. Por sua vez, a linha utilizada deve ter o título adequado ao diâmetro da agulha para assegurar que o buraco feito por ela na penetração do tecido e na formação do ponto, fique totalmente preenchido pela linha.

Na Figura 9 observa-se a adequação da espessura da linha ao diâmetro da agulha.

Figura 9 - Adequação da espessura da linha de costura ao diâmetro da agulha
Fonte: Gutermann, 1994

A ponta da agulha é de importância capital na qualidade da costura. De acordo com a sua forma, as pontas facilitam a penetração e a laçada do ponto. Na Figura 10 observam-se os diferentes tipos de pontas.

Figura 10 - Tipos de pontas de agulha
Fonte: Adaptado *Organ Needle*, 2009

A ponta bola é indicada para tecidos mais elásticos. Nesse caso, a agulha penetra no material, abrindo espaço entre os fios sem rompê-los.

2.3.5.5 Acabamento

Nas confecções as tarefas desempenhadas na etapa de acabamento podem variar de uma empresa para outra, de acordo com os produtos que confecciona e a com organização da empresa. As tarefas mais comumente encontradas nessa etapa são: limpeza de fios; inspeção de qualidade de peça pronta; colocação de aviamentos como botões, rebites, ilhoses, cordões, fivelas, “pedrarias” prensadas, etc.; passadoria; colocação de etiquetas; código de barra; acondicionamento em cabides; embalagem.

No caso de vestimenta de proteção ao fogo e ao calor, a limpeza de fios é um item a ser observado com muita atenção, pois uma ponta de linha exposta ao fogo pode contribuir para a sua propagação.

2.4 Comportamento do fogo e do calor frente aos materiais

2.4.1 Fundamentos

Young (2008) ensina que o fogo é o resultado de uma reação química que desprende luz e calor por causa da queima de materiais diversos e calor, se refere a uma transferência de energia de um corpo ou sistema para outro, em virtude de uma diferença de temperatura existente entre eles.

Os elementos que dão origem ao fogo são: combustível (material sólido, líquido ou gasoso); comburente (é o elemento ativador do fogo - oxigênio); calor (é uma forma de energia, faz o fogo propagar) e reação em cadeia. Os materiais combustíveis, após iniciarem a combustão, geram mais calor; este calor provocará o desprendimento de mais gases ou vapores combustíveis, desenvolvendo uma transformação chamada reação em cadeia (SEITO *et al.*, 2008).

Esse fenômeno é comumente representado na forma de um tetraedro, conforme mostra a Figura 11.

Figura 11 - Tetraedro do fogo
Fonte: *Wikimedia*, 2012

2.4.2 Transferência de calor

De acordo com Young (2008), a transferência de calor se processa por condução, convecção ou por radiação.

Calor condutivo é a transferência de energia entre os objetos que estão em contato físico. Ocorre principalmente em meios sólidos. Acontece em razão do contato das partículas (átomos, elétrons e moléculas) que formam os corpos. O calor flui do ponto mais quente para o mais frio.

Calor convectivo é a transferência de energia entre um objeto e seu meio ambiente, devido ao movimento circular do fluido. Fenômeno que ocorre apenas nos fluidos, gases e líquidos, e se dá em razão da diferença de densidade do fluido. A convecção é caracterizada pelo movimento dos fluidos que estão recebendo calor. As partes mais quentes tendem a subir por ficarem mais leves, e as partes frias, mais pesadas, tendem a descer.

Calor radiante é a transferência de energia de um corpo por meio da emissão ou absorção de radiação eletromagnética. Essa forma de transmissão de calor acontece sem

contato físico entre os corpos. Ocorre por meio de ondas eletromagnéticas. É denominada energia radiante, e não necessita de um meio material para se propagar.

A Figura 12 ilustra as formas de transferência de calor.

Figura 12 - Formas de transmissão de calor
Fonte: *Wikimedia*, 2012

2.4.3 Queima de um polímero

O processo da queima de um polímero segundo Gallo e Agnelli (1998) pode ser dividido, em cinco etapas: aquecimento; pirólise; ignição; combustão e propagação; extinção.

O curso do fogo através das etapas da queima está representado na Figura 13.

Figura 13 - Curso do fogo
Fonte: Gallo e Agnelli, 1998

No aquecimento, o calor é fornecido ao material que, progressivamente, tem a temperatura elevada. Os principais fatores envolvidos nessa etapa são: calor específico, condutividade térmica e calor latente envolvido em eventuais mudanças de fase (YOUNG, 2008).

Na pirólise, segundo Gallo e Agnelli (1998), o material polimérico atinge sua temperatura de decomposição (essa temperatura varia de acordo com o polímero) e começa a liberar uma ou mais das seguintes substâncias: gases combustíveis, gases não combustíveis, gases corrosivos, líquidos, partículas sólidas, radicais livres. Então, a fumaça surge a partir das diferentes combinações dessas substâncias.

A ignição ocorre na medida em que os materiais difundidos na pirólise encontram-se com o oxigênio. Para que isso aconteça, a concentração de gases combustíveis e de oxigênio devem atingir níveis que permitam esta ignição por intermédio de uma fonte externa de calor. A temperatura desse fenômeno é denominada ponto de fulgor. Um dos principais fatores que influenciam essa etapa além da temperatura de ignição do material é o índice de oxigênio.

A combustão e a propagação dependem desse nível de oxigênio que é definido como a concentração mínima de oxigênio necessária para sustentar a combustão. As reações de combustão são extremamente exotérmicas. O calor liberado alimenta o processo iniciado (pirólise e ignição), fazendo uma retroalimentação térmica. O processo se propaga enquanto houver material combustível disponível.

A extinção ocorre quando a quantidade de combustível ou o nível de oxigênio diminuem a ponto de o calor liberado na combustão não ser suficiente para sustentar a retroalimentação térmica.

2.5 Fatores que afetam a inflamabilidade nos produtos têxteis

O modo como os corpos se comportam em relação à chama pode ser classificado como: incombustível, combustível e inflamável. Os incombustíveis são resistentes à chama; os combustíveis não mantêm a chama, porque são consumidos; e os inflamáveis são modificados e mantêm a chama (SEITO *et al.*, 2008).

Quando se trata das fibras naturais sem tratamento químico, elas queimam continuamente até que o material combustível seja consumido, mesmo que a fonte de calor que gera queima seja eliminada. No caso das fibras sintéticas, que não são resistentes à chama, elas derretem. Nos tecidos resistentes à chama, a queima cessa quase que instantaneamente quando a fonte de calor é retirada (MIYADA *et al.*, 2010).

O comportamento das fibras frente ao fogo é influenciado – e muitas vezes até mesmo determinado – por uma série de temperaturas de transição térmica e parâmetros termodinâmicos. O índice limite de oxigênio (LOI)⁴ é uma medida inerente à queima do material. Produtos com valores de LOI acima de 21% inflamam e queimam mais lentamente. Em geral, fibras e produtos têxteis com valores de LOI de, aproximadamente, 26% - 28% podem ser considerados como retardante de chama (HORROCKS; PRICE, 2001).

Na Tabela 1 são observadas diversas temperaturas das fibras têxteis.

⁴ Sinaliza a capacidade de o material sofrer ignição na condição limite de escassez de oxigênio.

Tabela 1 - Temperatura de transição térmica das fibras têxteis

Fibra	Ta°C (amolecimento)	Tf°C (fusão)	Tp°C (pirólise)	Ti°C (ignição)	LOI, %
Lã			245	600	25
Algodão			350	350	18,4
Viscose			350	420	18,9
Poliamida 6	50	215	431	450	20-21,5
Poliamida 6.6	50	265	403	530	20-21,5
Poliéster	80-90	255	420-447	480	20-21
Acrílico	100	>220	290 (com decomposição)	>250	18,2
Polipropileno	-20	165	470	550	18,6
Modacrílico	<80	>240	273	690	29-30
PVC	<80	>180	>180	450	37-39
Meta-aramida	275	375	410	>500	29-30
Para-aramida	340	560	>590	>550	29

Fonte: Horrocks e Price, 2001

Certos acabamentos podem diminuir a inflamabilidade das fibras têxteis; não conseguem, porém, chegar à incombustibilidade total. Em seus estudos sobre tratamento antichamas, Miyada *et al.*(2010) alertam que a quantidade de calor em calorias/grama liberada pela combustão da fibra é um dos fatores importantes para a propagação do fogo em outros materiais à sua volta. Um tecido inflamável age como difusor de incêndios, liberando intensivamente energia calorífica.

A Tabela 2 mostra a quantidade de calor liberada pelas principais fibras têxteis.

Tabela 2 - Quantidade de calor liberada pela combustão

Fibras têxteis	Calorias/grama
Algodão	3.910
Viscose	3.920
Poliéster	5.670
Poliamida	7.380
Acrílico	7.620
Lã	4.920

Fonte: Adaptado de Araújo; Castro, 2000

O algodão pode ser aquecido até 150°C (302°F) sem sofrer decomposição; mas se o aquecimento for prolongado, uma coloração marrom surgirá gradualmente. Uma pequena descoloração amarronzada pode ocorrer com temperaturas mais baixas que 150°C; tais temperaturas não causam deterioração na fibra é, porém, suficiente para danificar o efeito do alvejamento. A exposição prolongada à alta temperatura num ambiente que contenha oxigênio, além de causar danos, influencia a formação da oxixelulose. Temperaturas superiores a 200° C decompõem a celulose, tornando- a amarelada. Temperaturas ainda maiores carbonizam a celulose (GONÇALVES, 2003).

O mesmo Miyada *et al.* (2010) afirmam que a lã tem uma inflamabilidade de média a baixa, pois é um mau condutor de calor. Com essas características, pode ser utilizada em roupas à prova de fogo, elaboradas em feltros de alta densidade e condições de resistir a temperaturas mais altas que o algodão.

Simpson e Crawshaw (2002), por sua vez, destaca que, à temperatura de 160°C, a lã torna-se amarela, mas, se estiver acidificada, esse processo de amarelecimento é mais lento, o que é um indicador de interesse durante a carbonização.

2.5.1 Fibras resistentes ao calor e à chama

Kadolph e Langford (1998), nos EUA, estudaram as características desses tipos de fibras. Afirmaram tratar-se de fibras que podem ser submetidas a temperaturas acima de 200°C, não se decompõem e mantêm a maior parte das suas propriedades físicas. Devido às suas características, essas fibras são produzidas para aplicações especiais, como, por exemplo material têxtil para proteção. Na maioria dos casos, seus custos são proibitivos para vestuário normal, móveis e decoração. Algumas dessas fibras custam sessenta vezes mais se comparadas ao algodão e poliéster, que são fibras comumente encontradas no vestuário e na decoração de ambientes.

Em seus estudos encontram-se as características, os usos e nomes comerciais dessas fibras, conforme apresentado a seguir.

Aramida

Aramida é uma fibra aromática de poliamida com grande resistência ao calor e à chama. De acordo com a posição do anel aromático na cadeia do polímero, temos a meta-aramida e a para-aramida, conforme se observa na Figura 14.

Figura 14 - Aramida
Fonte: Kadolph; Langford , 1998

Nomex® e Kevlar® são os nomes registrados pela Dupont para a meta-aramida e para a para-aramida, respectivamente. O Nomex® é comumente encontrado em roupas de bombeiros e em macacão de pilotos de corrida, enquanto que o Kevlar® é mais utilizado em luvas.

A Tabela 3 mostra as propriedades dessas duas aramidas.

Tabela 3 - Comparação das propriedades das aramidas

Propriedades	Meta-aramida	Para-aramida
Tensão de tração de ruptura	4,3– 5,1 grama força/denier (filamento) 3,7 – 5,3 grama força/denier (fibras cortadas)	21,5 grama força/denier
Peso específico	1,38	1,44
Umidade de Regain	6,5%	3,5- 7,0%
Efeito do calor	Decompõe a 700°F Resistente a chama Não funde	Decompõe a 900°F Resistente a chama Não funde
Conforto	Maior conforto e leveza comparada a para-aramida	Mais grossa e menos flexível que a meta-aramida

Fonte: Adaptado de Kadolph; Langford , 1998

Apesar das vantajosas características ignífugas, as fibras de aramida são de alto custo. Por esse motivo, muitos fabricantes misturam aramidas com outras fibras têxteis com menor custo, para atender à demanda de tecidos de proteção. Os tecidos com misturas de fibras provocam o retardamento da chama similar aos tecidos sem mistura; porém as estruturas carbonizadas são mais fracas e, por isso, não oferecem proteção como os tecidos 100% aramida (HORROCKS *et al.*, 2001).

Fibra de vidro

É uma fibra incombustível, ou seja, não entra em combustão, portanto não pega fogo. Seu uso em vestuário é limitado devido à irritação que provoca na pele. As matérias-primas do vidro são: areia, sílica e calcário, combinadas com aditivos de feldespato e ácido bórico. Esses materiais são fundidos em fornos a 2.400°F. As fibras de vidro são frágeis e quebradiças quando dobradas. Seu uso não é recomendado em produtos que necessitam de lavagens frequentes. São encontradas com os nomes comerciais: Fiberglass®, Beta glass®,

Chemglass®, J-M fiberglass®, PPG fiberglass® e Vitron® (KADOLPH; LANGFORD, 1998).

Fibra de Polybenzimidazole - PBI

Polímero aromático de cadeia longa com grupos imidazol⁵, integrando parte da cadeia. É uma fibra que não queima ou não funde quando exposta à chama; mantém-se flexível e intacta. Devido a sua resistência ao calor, é indicada para vestimenta de proteção, além de aplicações industriais e ainda em decoração de carpetes e estofamentos. O nome comercial é Arazole®.

Sulfar

Fibra química formada por uma longa cadeia de polissulfeto em que, pelo menos, 85% das ligações de sulfeto estão ligados a dois anéis aromáticos. Nome comercial é Ryton PPS®.

Politetrafluoroetileno - PTFE

O nome comercial é o Teflon® e é mais conhecida como um revestimento. É uma fibra pesada, com peso específico de 2,3 e que suporta temperaturas de 260°C (500°F) sem danos.

Carbono

Carbono é uma fibra que possui, no mínimo, 96% de carbono puro. Tem excepcional resistência ao calor e não queima.

⁵ Composto orgânico de fórmula C₃H₄N₂.

A Tabela 4 compara as propriedades físicas das fibras acima descritas e a resistência ao calor e agentes químicos.

Tabela 4 - Comparação entre as propriedades das fibras

Fibra	Tenacidade g/d	Alongamento seco %	Elasticidade %	Regain %	Peso específico	Resistência calor/química
Aramida	23	4,0	100	4,3	1,44	Difícil de inflamar; não funde, decompõe-se a 900°F, resistente a ácidos e bases diluídas; degrada-se em ácidos minerais fortes; excelente resistência a solventes
Vidro	15,3	4,8	100	0	2,48	Não queima; amolece a mais de 1350°F; resiste à maior parte dos ácidos e álcalis; não é afetado por solventes
PBI	2,6-3,0	25-30	-	15	1,43	Não inflama ou funde; carboniza a 860°F; não é afetada pela maior parte dos ácidos, álcalis e solventes
Sulfar	3,0-3,5	35-45	100	0,6	1,37	Notável resistência ao calor; funde a 545°F, notável resistência à maior parte dos ácidos, álcalis e solventes
PTFE	0,9-2,0	19-140	-	0	2,1	Extremamente resistente ao calor, funde a mais de 550°F; das fibras conhecidas, é mais resistente quimicamente
Carbono	15,9	0,7	100	-	1,75-2,2	Não funde, excelente resistência ao calor, ácidos e álcalis concentrados; não é afetada por solventes, degradada por oxidantes fortes

Fonte: Adaptado de Kadolph; Langford , 1998

2.5.2 Tecidos resistentes ao calor

Em seu artigo sobre o assunto, Holmes (2000) diz que as propriedades exigidas dos tecidos para a proteção ao calor e às chamas são: elevado nível de retardamento da chama e não contribuição para lesões ao portador da roupa; integridade do tecido, mantendo uma barreira e evitando a exposição direta ao risco; baixo encolhimento, mantendo uma camada de isolamento do ar; bom isolamento térmico de modo a dar tempo do usuário de escapar antes de o calor e/ou fogo causar danos a sua saúde; fácil de limpar, sem que se reduzam ou percam

as suas características retardantes de chama; confortável; repelência ao óleo, protegendo contra contaminantes inflamáveis como óleos e solventes.

Outros autores acrescentam que a resistência ao fogo dos tecidos encontra-se também relacionada com o tipo de fibra utilizada e com a utilização de alguns corantes que pode torná-lo mais vulnerável à chama (ARAÚJO; FANGUEIRO; HONG, 2000).

2.5.3 Acabamento têxtil e resistência ao calor

De acordo com Kadolph e Langford (1998) acima citados, os tecidos podem ser produzidos com a capacidade de resistência à chama. Para tanto, dizem eles, deve-se usar fibras que já possuam essa propriedade ou utilizar outras fibras que passam a ter tais propriedades pela adição de retardante de chama durante a sua fiação, ou, então, pela aplicação de retardante de chamas na forma de acabamento no tecido.

Os acabamentos retardantes de chamas são classificados em duráveis e não duráveis.

Kadolph e Langford (1998) ensinam que os acabamentos duráveis são específicos para cada tipo da fibra, levando-se em conta sua estrutura química, e são geralmente compostos de fosfato ou sais, compostos orgânicos halogenados ou sais inorgânicos.

Bajaj (2000) destaca a FR viscose inerente como exemplo de fibra com acabamento durável retardante de chama. Como o próprio nome dá a entender, é uma fibra de viscose com propriedade retardante de chama, produzida mediante a incorporação de aditivos FR (*Flame Retardant*) no seu processo de produção, antes da extrusão. Nesse processo, o índice limite de oxigênio (LOI) da fibra passa de 18% para 27,5%.

Os acabamentos não duráveis são caracterizados por perderem seu efeito após o processo de lavagem.

Sobre tecidos de algodão, viscose, poliamida e poliéster também são aplicados acabamentos retardante de chamas. Duram de cinquenta a cem lavagens; não são tóxicos ou cancerígenos. Alteram o toque, a textura do tecido e apresentam odor desagradável (KADOLPH; LANGFORD, 1998).

Em seu artigo, o acima referido Holmes (2000) registra que um acabamento para vestimenta de proteção bastante citado nos casos onde o isolamento térmico é necessário é o Zirpro. Complexos de titânio e zircônio são utilizados, aplicados à lã, reforçam as propriedades naturais retardante de chama dessa fibra. O acabamento Zirpro produz uma carbonização intumescida, que é benéfica para o vestuário de proteção, agindo como isolante térmico.

Por oportuno, entretanto, Kadolph e Langford (1998) alertam que os acabamentos podem trazer uma falsa ideia de segurança, quando são desenvolvidos para dar ao tecido um efeito retardante de chamas. Isso não impede o tecido de inflamar ou queimar, embora a ignição e a taxa de queima seja mais lenta.

2.5.3.1 Descrição do modo como agem os antichamas

A característica do antichama é assim descrito sucintamente: “O efeito ignífugo engloba a interrupção do processo de combustão num ou em vários estados, situação que conduz ao termo do processo num tempo considerado aceitável e de preferência antes da ocorrência da ignição” (ARAÚJO; FANGUEIRO; HONG, 2000).

De acordo com Araújo, Fangueiro e Hong (2000), os mecanismos de ação dos retardantes de chamas são:

- a) Eliminação do calor ou arrefecimento, a qual pode ser conseguida através do tratamento do material com produtos que absorvam o calor ou com bons condutores térmicos, isto é, que façam a sua difusão, evitando desta forma a sua concentração num dado ponto. Como exemplo desta situação, pode citar-se a decomposição de sais cristalinos, cristalinos hidratados, os quais, ao libertarem água, provocam a absorção de uma grande parte do calor das reações de oxidação, mantendo o substrato a uma temperatura inferior à temperatura de decomposição.

b) O aumento da temperatura da pirólise faz com que o material se torne termicamente mais estável. É com base neste princípio que as fibras PBI ou as poliamidas aromáticas desenvolvem a sua resistência à chama.

c) A terceira possibilidade de parar a combustão é evitar a evaporação, isto é, formar compostos não voláteis *in situ*. Este princípio é usado na fase ativa sólida com os ignífugos à base de enxofre, fósforo ou boro. Atuam desta forma alguns ignífugos aplicados principalmente em materiais celulósicos que diminuem a temperatura de pirólise, provocando a formação de carbono e transformando a decomposição do material em produtos não inflamáveis, situação que diminui o calor de combustão libertado. Sais inorgânicos e compostos organofosforados atuam como ignífugos baseados neste efeito catalisador da decomposição do material polimérico.

d) A fusão pela ação do calor de sais metálicos que cubram o material com uma película pastosa e impermeável ao ar, que se oponha à penetração do oxigênio e simultaneamente absorva uma parte da energia radiante resultante da combustão dos produtos voláteis, é outra possibilidade de atuação dos produtos ignífugos [...]. Pode ainda eliminar-se oxigênio da zona de combustão terminando desta forma a oxidação. Este é o princípio utilizado nos extintores de dióxido de carbono e tetracloreto de carbono, sendo também o princípio em que os ignífugos da fase ativa de vapor atuam.

e) O aumento da temperatura de oxidação e/ou interferência com a oxidação dos gases inflamáveis é outra possibilidade de atuação de materiais que, por decomposição térmica, originam gases incombustíveis que diluem o oxigênio atmosférico, tornando a oxidação mais difícil. Este é o caso dos fosfatos, sulfatos e carbonatos de amônio, da uréia, etc.

A Figura 15 mostra os diferentes mecanismos dos retardantes de chama.

Figura 15- Mecanismo dos retardantes de chamas
Fonte: Adaptado de Horrocks e Price, 2001

2.6 Vestuário de proteção

O mercado de vestimenta de segurança, segundo dados da Associação Nacional da Indústria de Material de Segurança e Proteção ao Trabalho CIPA (2010), está dividido em tipo/ risco na seguinte proporção: 39,4% térmicos/ calor; 31,8% químicos; 18,3% intempéries; 9,3% mecânicos; 1,2% térmicos/ frio.

A evidente representatividade (39,4%) do tipo/risco que a vestimenta de proteção ao risco térmico/calor apresenta, fez com que o foco deste estudo recaísse sobre esse risco. Cabe esclarecer que a roupa de proteção não elimina o risco do trabalhador como salientado em páginas anteriores, é apenas uma das barreiras para evitar ou atenuar a lesão ou o agravamento da saúde que são duas – entre outras – consequências do possível acidente ou da exposição ocasionados pelo risco em questão.

De acordo com Scott (2005), é importante notar que um trabalhador – como qualquer ser vivo da natureza – não pode viver por muito tempo sem oxigênio. Assim sendo mesmo as peças mais resistentes ao fogo não irão proteger a vida por muito tempo, a menos que se complemente com reservatórios de ar e com uso de máscaras. Mesmo que a ameaça imediata não seja tão grande a ponto de precisar desses recursos, a capacidade de trabalhar eficientemente num ambiente quente, por períodos consideráveis de tempo, é uma preocupação importante – este é o cenário típico onde atuam os bombeiros, chamados de “Soldados do Fogo”.

Conforme Araújo, Figueiro e Hong (2000), no decorrer da sua atividade, as pessoas podem estar expostas a diferentes tipos de calor, classificados como: condutivo, convectivo e calor por radiação. As três formas podem aparecer separadas ou combinadas entre si de muitas maneiras. Aliás, os mesmos processos descritos em páginas anteriores no subitem sobre transferência de calor.

2.6.1 Calor condutivo na vestimenta de proteção

Quando em exposição ao calor durante longos períodos de tempo, o vestuário de proteção precisa ter a função de isolar o calor externo, protegendo o homem dos riscos provocados pelo calor. Essa função isolante é obtida pelas características dos tecidos utilizados: densidade e espessura e pela quantidade de ar que consegue manter retido entre as fibras e os fios que o formam (ARAÚJO; FANGUEIRO; HONG, 2000).

Um dos exemplos de risco por condução de calor encontrados na indústria é o trabalho com solda metálica. Esse processo pode expor o indivíduo ao contato com respingos de metal fundido.

De acordo com Araújo, Figueiro e Hong (2000), a proteção dada pelos tecidos depende da gramatura, da estrutura e da espessura do tecido; mas também, depende do tipo e da quantidade de metal fundido. A Tabela 5 mostra essa correlação (variação de 1 a 7, sendo 1 maior proteção).

Tabela 5 - Nível de proteção vs gramatura do tecido de lã vs 300ml de metal fundido

Tecido de lã	Ferro fundido	Aço	Cobre	Alumínio	Magnésio
540 g/m ²	2	1	2	1	1
440 g/m ²	5	3	4	2	1
270 g/m ²	7	7	7	2	1

Fonte: Adaptado de Araújo, Figueiro e Hong, 2000

Observa-se que, no caso de proteção ao magnésio, pode-se utilizar tecidos de lã bem mais leves que no caso do ferro, aço e cobre em que é necessário tecido de lã mais pesado.

2.6.2 Calor convectivo na vestimenta de proteção

Ainda segundo os estudos de Araújo, Figueiro e Hong (2000), a combinação de tecido plano no lado externo e o interior com tecido de malha conduz a ótimos resultados de proteção à chama. Através de estudos, onde se mediu o tempo necessário para provocar

queimaduras de 1º grau (dor) e de 2º grau (bolhas), observou-se que, mesmo utilizando uma única camada espessa de lã com acabamento Zirpro⁶ com 552g/m², a composição de duas camadas mais finas de lã Zirpro de 290g/m² com malha em lã Zirpro de 230g/m² é mais eficaz no momento dos primeiros sinais de dor e queimadura.

Esses mesmos autores informam que, nas fibras ignífugas sintéticas, uma vez retirada a chama, ainda se verifica o calor residual que pode ser transferido para a pele, aumentando a gravidade da queimadura.

2.6.3 Calor radiante na vestimenta de proteção

Os tecidos recobertos de alumínio mostram ser os que melhor respondem à proteção ao calor radiante. Com efeito, num tecido aluminizado, o calor deve ultrapassar duas barreiras. A primeira barreira de alumínio elimina o calor pela reflexão. A quantidade de calor absorvida é transferida para o tecido suporte que deve atuar como barreira. Quanto mais grosso e menos denso for o tecido suporte, maior a proteção oferecida (ARAÚJO; FANGUEIRO; HONG, 2000).

Ressalte-se que as características do vestuário de proteção para esses três tipos de transmissão de calor, dependem das necessidades específicas de cada tipo de risco. Outros itens que devem ser considerados são o conforto pretendido, o tempo de vida do artigo e os aspectos regulamentares.

Conforme os já citados Araújo, Fanguero e Hong (2000), o vestuário de proteção ao calor e à chama deve satisfazer os seguintes requisitos:

⁶ Ver 2.5.3 Acabamento têxtil e resistência ao calor.

- a) resistir à chama: não devendo continuar a arder e tornar-se ele próprio um risco;
- b) integridade: deve manter-se inalterado, ou seja, não deve encolher, fundir ou ficar quebradiço pela carbonização, possibilitando o rasgo do tecido e expondo o utilizador;
- c) isolamento: o vestuário deve retardar a transferência de calor de forma a dar tempo a que o utilizador possa evadir-se. Durante a combustão não deve libertar líquidos que sejam condutores;
- d) repelência dos líquidos é por vezes necessária para evitar a penetração de óleos, solventes, água e outros líquidos.

Outras exigências para vestimenta de proteção, além das descritas acima, devem ser observadas: não provocar a emissão de gases tóxicos; não causar dermatoses de contato na pele do usuário; manter característica ignífuga após ser submetido a, no mínimo, 100 lavagens; resistência mínima à tração; resistência à abrasão; solidez de cor; estabilidade dimensional. O Quadro 3 traz algumas atividades que necessitam de proteção e o tipo de calor a que estão sujeitas.

Atividade	Chama	Contato térmico	Calor radiante
Fundições (produção de aço, vidro, etc.)	**	***	***
Metalomecânica (soldadura, corte, etc.)	**	***	**
Petroquímica (óleo, gás, químicos, etc.)	**	*	*
Armamento e pirotecnia	*	*	*
Aeronáutica e aeroespacial	**	*	*
Militar	***	**	**
Bombeiros	***	**	**
* risco menor ou inexistente ** risco secundário *** risco maior			

Quadro 3- Atividades que necessitam de proteção ao calor e às chamas
Fonte: Araújo, Fanguiero e Hong , 2000

2.6.4 Variações no vestuário de proteção

Segundo a ISO 11612 - Vestimentas de Proteção Contra Calor e Chama, os uniformes de proteção contra calor e combustão devem cobrir completamente o torso superior e inferior, o pescoço, os braços e as pernas. Se a vestimenta for composta de duas peças: a superior e a calça, a superior deverá ter o comprimento suficiente para se sobrepor no mínimo 20cm na parte superior da calça. Essa sobreposição mínima será mantida em todas as posições e em movimentos esperados durante o uso. De acordo com a necessidade, podem e devem ser

desenvolvidas peças para fornecer proteção para partes específicas do corpo; por exemplo: protetor de pescoço, capuzes, mangas, avental e perneiras. Nesse caso, são peças que complementam o uniforme principal. Bolsos, lapelas, vistas sobrepostas ou outra qualquer parte costurada sobre as partes principais da peça: frente, traseiro e mangas, devem ser do mesmo tecido aprovado para aquela vestimenta.

Encontram-se na mesma ISO 11612, exigências para vestimentas de proteção contra respingos de materiais fundidos, que ilustram bem a importância de se conhecer como é executada a tarefa de risco, a fim de desenvolver satisfatoriamente uma roupa de proteção:

- a) as mangas dos casacos e jalecos e as regiões inferiores da perna das calças, jalecos e avental não terão bainhas;
- b) os bolsos externos nos casacos, calças, jalecos e aventais, que não sejam bolsos laterais abaixo da cintura que não se estendam em mais de 10° à frente da costura lateral, deverão ser cobertos por lapelas de, pelo menos, 20mm mais largos do que a abertura do bolso a fim de prevenir que a lapela fique enfiada no bolso;
- c) os bolsos externos deverão ser feitos de materiais que satisfaçam os mesmos índices de proteção do restante da vestimenta;
- d) as costuras sobrepostas na parte externa da vestimenta deverão ter sua face voltada para baixo e presas nessa posição;
- e) fechos serão desenvolvidos com uma bainha de cobertura na parte externa da vestimenta. A distância máxima entre as casas dos botões será de 150mm. Se zíperes forem utilizados, o seu fecho será projetado para travar quando completamente fechado. Os punhos serão fornecidos com fechos para reduzir sua largura. O fecho e qualquer dobra que se crie ficarão na parte de baixo do punho. As aberturas para o pescoço serão fornecidas com os fechos. As calças deverão ter fendas laterais que terão um meio de fechamento, e a fenda e o fecho ficarão cobertos.

Todos esses cuidados são para que o respingo do metal fundido flua pela superfície do tecido sem nenhum obstáculo e que não se aloje numa prega, num bolso ou numa bainha, o que poderia trazer perigo ao usuário da vestimenta.

2.6.5 Tipos de riscos térmicos

São os seguintes: fogo repentino, respingos de metal fundido e arco elétrico.

Fogo repentino

De acordo com o Ministério do Trabalho e Emprego, em seu manual de orientação para especificação de vestimentas de proteção contra os efeitos térmicos, fogo repentino é conceituado como: “reação de combustão acidental extremamente rápida devido à presença de materiais combustíveis ou inflamáveis desencadeada pela energia de uma centelha ou fonte de calor”(MTE,2012).

Respingos de metal fundido

Trabalhos com fundição, solda e outras atividades com metal fundido, podem expor o trabalhador ao contato com pequenos respingos deste metal. Nesses casos, o tecido da vestimenta deve impedir que o metal derretido grude no tecido e, como consequência, queime a pele do trabalhador.

Arco elétrico

De acordo com o referido manual do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE, 2012), o arco elétrico é: “gerado pela ionização de gás como consequência de uma conexão elétrica entre dois eletrodos de diferentes potenciais, de diferentes fases ou entre um eletrodo e um circuito de terra. Normalmente é gerado acidentalmente devido à falha de equipamentos em curto-circuito e libera grande quantidade de energia calorífica num curto intervalo de tempo, capaz de provocar a fusão de metais componentes dos equipamentos, que podem ser lançados

contra pessoas e objetos que estejam nas proximidades causando queimaduras severas e combustão”.

Operários da construção civil e da indústria energética enfrentam riscos diários, como queimaduras causadas por fios sob tensão e arcos elétricos. A duração típica do arco é de menos de 1 segundo. A temperatura no próprio arco se situa entre 20.000°C e 30.000°C. A energia irradiada é de mais de 100cal/cm². Pode causar incêndios e/ou explosões secundárias (DUPONT, 2011). Roupas de trabalho à base de tecidos “convencionais” podem inflamar e/ou fundir com alto risco de queimaduras. Tecidos desenvolvidos para esse risco extinguem a chama assim que são afastados do fogo.

A Figura 16 ilustra os símbolos utilizados para identificar o tipo de risco a que a atividade está submetida.

Figura 16 - Figuras utilizadas para identificar o tipo de risco
Fonte: Lenzing, 2011

2.6.6 Efeito das características do tecido no vestuário de proteção

A transmissão de calor através de um tecido encontra-se mais relacionada com a quantidade de ar existente no tecido e com sua distribuição na estrutura do que com a condutividade térmica das fibras como, à primeira vista, poderia parecer. Essa transmissão pode ocorrer não só por condução por meio das fibras e do ar a elas associado, mas ainda por radiação através dos espaços de ar existente no tecido. Estudos mostram uma forte correlação entre o tipo de construção do tecido e o vestuário de proteção térmica e contra a chama. A

massa/m² o tipo de ligamento são elementos de importância vital (ARAÚJO; FANGUEIRO; HONG, 2000).

Outro aspecto bastante interessante notado é o índice de proteção em função do número de folhas de tecido que compõem o conjunto. Aumentando-se a espessura e mantendo-se a massa, obtém-se um índice de proteção maior. Pode-se concluir que é preferível ter o tecido de proteção formado por várias folhas do que por uma que tenha a mesma massa do conjunto.

A Figura 17 ilustra esta relação.

Figura 17 - Índice de proteção vs massa das folhas de tecido
Fonte: Araújo, Fangueiro e Hong, 2000

2.6.7 Medições e quantificações

Mais uma vez os estudos de Araújo, Fangueiro e Hong (2000) mostram que o desempenho de um vestuário de proteção com relação à chama, responde de forma satisfatória a um ou vários dos seguintes parâmetros:

- a) aptidão à inflamabilidade (medida em segundos): é o tempo mínimo de contato com uma chama, necessário para iniciar a inflamação da vestimenta. Para ser eficaz, a inflamação deve persistir durante um tempo mínimo de 5 segundos;
- b) velocidade de propagação da chama (mm/s): é a distância percorrida pela chama por unidade de tempo;
- c) índice de transferência térmica: é o tempo necessário para elevar a temperatura da face posterior de um material têxtil, quando submetido à chama de uma fonte de calor radiante, ao contato com uma peça metálica quente ou com metais fundidos;
- d) débito calorífico (*Heat Release Rate* Kw/m²): quantidade de calor liberada por um material por unidade de tempo no momento da sua combustão;
- e) opacidade dos fumos;
- f) toxicidade dos fumos;
- g) índice de oxigênio limite (LOI).

2.6.8 Legislação

No Brasil, existem trinta e três Normas Regulamentadoras (NRs), que instituem e fornecem orientações sobre procedimentos obrigatórios relacionados com a segurança e medicina do trabalho. A NR 6 é a Norma Regulamentadora para Equipamento de Proteção Individual (EPI). Ela foi instituída pela portaria nº 3.214 no dia 8 de junho de 1978, com alterações posteriores. Para os fins de aplicação dessa norma, considera-se EPI, *ipsis litteris*: “todo dispositivo ou produto de uso individual utilizado pelo trabalhador, destinado a proteger de riscos suscetíveis de ameaças à segurança e à saúde no trabalho”. Está evidente que a vestimenta de proteção se enquadra neste caso.

Um equipamento de proteção individual, seja importado, seja de fabricação nacional, só pode ser posto à venda ou utilizado com a indicação do Certificado de Aprovação (CA), expedido pelo órgão nacional competente em matéria de segurança e saúde no trabalho do Ministério do Trabalho e Emprego.

As empresas fabricantes e ou importadoras de EPI, para a obtenção do Certificado de Aprovação de um dispositivo ou produto, necessitam testá-los e certificá-los, de acordo com as normas e padrões pertinentes.

Conforme o Ministério do Trabalho e Emprego, os conjuntos normativos para especificação das vestimentas de proteção contra os efeitos térmicos do arco elétrico e do fogo repentino, adotados a partir de 10 de fevereiro de 2011, são as séries normativas norte-americanas e internacionais, como se pode observar no resumo do Quadro 4 .

Normativas Norte-americanas		Normativas Internacionais	
NFPA 2112 - Standard on Flame-Resistant Garments for Protection of Industrial Personnel	NFPA 70E - Standard for Electrical Safety in the Workplace	ISO - Internacional Organization for Standardization	IEC - International Electrotechnical Commission
ASTM			
Proteção ao fogo repentino	Proteção ao arco elétrico	Proteção ao fogo repentino	Proteção ao arco elétrico
NFPA 2112	ASTM F 1506	ISO 11612	IEC 61482-2
ASTM 1930	ASTM D 6413	ISO 13506	IEC 61482-1-1
ASTM D 6413	ASTM F 1959	ISO 15025	IEC 61482-1-2
	ASTM F 2621		
	ASTM F 2178		
	NFPA 70E		

Quadro 4 - Resumo das normativas para proteção de fogo repentino e arco elétrico
Fonte: Adaptado de MTE, 2012

No Brasil, para se obter o Certificado de Aprovação, somente são aceitos os ensaios feitos em laboratórios credenciados. Até o momento, não existe laboratório nacional credenciado para os ensaios realizados de acordo com a norma ASTM F 1506 (*Standard Performance Specification for Flame Resistant Textile Materials for Wearing Apparel for Use by Electrical Workers Exposed to Momentary Electric Arc and Related Thermal Hazards*) e ASTM F 1930 (*Standard Test Method for Evaluation of Flame Resistant Clothing for Protection Against Flash Fire Simulations Using an Instrumented Manikin*). Por essa razão, apenas são aceitos os realizados pelos laboratórios *Protective Clothing & Equipment Research Facility Department of Human Ecology, da University of Alberta, Edmonton, Canadá* e *Textile Protection and Confort Center, da College of Textiles North Carolina State University, Carolina do Norte, Estados Unidos*.

Cumprе destacar, por fim, que a validade do CA é de até cinco anos, contados da emissão do respectivo documento.

2.6.9 Normas e ensaios aplicáveis

A relação das normas e ensaios aplicáveis para vestimentas de proteção ao calor e fogo, arco elétrico e respingos de metal encontram-se no Anexo.

3 MERCADO TÊXTIL E CONFEÇÃO PARA VESTIMENTA DE PROTEÇÃO

De acordo com Gilberto Campanatti (2011), o uso das fibras têxteis na vestimenta de proteção ao calor e à chama é de domínio das fibras de algodão em tecidos com acabamento retardante de chamas. Em seguida destacam-se as misturas de fibras, nas quais se busca obter como tecido um produto resultante de uma combinação de fatores: efeito de proteção adequado, conforto para o usuário, durabilidade na roupa e melhor preço. Em menor escala, prossegui Campanatti, estão as fibras que recebem o tratamento retardante de chama na sua fabricação como, por exemplo, a fibra *Lenzing* FR (fibra artificial produzida a partir da madeira). Finalmente estão as fibras de natureza estrutural retardante de chama⁷. A Figura 18 representa a distribuição das fibras têxteis utilizadas nas vestimentas de proteção ao calor e chamas.

Figura 18 - Representação da utilização das fibras têxteis em vestimentas de proteção ao calor e às chamas
Fonte: Adaptado de Campanatti, 2011 (informação verbal)

⁷ Informação verbal colhida em entrevista com Gilberto Campanatti, da GCTex Assessoria Comercial Ltda., em novembro de 2011.

Em relação aos tecidos, propriamente ditos, a estrutura mais utilizada nas vestimentas de proteção é a de tecido plano, por atender satisfatoriamente às necessidades de proteção aos riscos, de durabilidade adequada para um uniforme e de conservação das suas características após o uso e lavagem. A Figura 19 ilustra os ligamentos mais utilizados nos tecidos planos.

Figura 19 - Aspecto dos tecidos
Fonte: Alfieri, 2000

Quanto às malhas, elas são mais maleáveis e flexíveis, características que, por sua vez são mais apreciadas em função do conforto em balaclavas⁸ e roupas de uso interno. A Figura 20 mostra alguns exemplos do uso do tecido de malha na roupa de proteção.

Figura 20 - Exemplo de peças de proteção confeccionadas em malha
Fonte: Lenzing, 2011

⁸ Gorro confeccionado em malha que se veste de forma ajustada na cabeça até o pescoço.

Em relação ao mercado de vestimenta de proteção, a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI (2010)⁹, informa que as tendências a longo prazo para o setor no Brasil, considerando um período de quinze anos (2008 -2023), apontam o segmento de uniformes e roupas de uso profissional como o possível diferencial da confecção brasileira no futuro.

Conforme o relatório da *Internacional Textiles Manufactures Federation* - ITMF setembro/ outubro 2010, o Brasil apresenta uma indústria têxtil e de vestuário em expansão e uma das economias que mais crescem em todo o mundo.

Em artigo para a revista CIPA (2010), Smilgys e Casanova (2010) avaliam que existe no mercado brasileiro de EPIs uma real oportunidade de crescimento. Por seu lado, a Associação Nacional da Indústria de Material de Segurança e Proteção ao Trabalho (ANIMASEG) prevê que o mercado de EPI no Brasil deva crescer entre 8% e 10% nos próximos anos. Na Tabela 6 observa-se o gasto médio com equipamento de segurança em diferentes regiões e países.

Tabela 6 - Gasto em dólares por trabalhador em equipamento de segurança

Anual – US \$	Europa	EUA	Japão	Canadá	Média de Europa. EUA. Japão e Canadá.	Brasil
Luvas e Calçados	9,92	10,37	17,29	7,43	10,78	9,60
Vestimentas	4,97	9,53	18,80	7,80	7,96	3,12
Proteção Respiratória	1,71	15,49	3,46	1,49	5,64	1,06
Contra-Quedas	0,90	1,10	2,11	0,74	1,09	0,50
Olhos e Face	0,90	8,10	1,28	0,56	2,88	0,50
Capacetes	2,15	0,71	1,95	1,30	1,69	0,30
Proteção Auditiva	0,59	1,94	1,35	0,56	1,05	0,20
Total	21,14	47,25	46,24	19,87	31,09	15,28

Fonte: CIPA, 2010

⁹ A Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial foi criada pelo governo federal em 2004. Vinculada ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), tem por objetivo “promover a execução da política industrial, em consonância com as políticas de ciência, tecnologia, inovação e de comércio exterior” (Lei nº11.080).

Observando-se o gasto com o item “vestimenta” no Brasil, pode-se deduzir que o país precisaria dobrar o consumo atual para ficar mais perto da média (31,09) Europa, EUA, Japão e Canadá.

Segundo dados da ANIMASEG, 40% das vestimentas de segurança comercializadas são para riscos térmicos/calor (em valores considerando preço médio de mercado).

Levando-se em conta o potencial brasileiro de empresas de confecção que, segundo o Instituto de Estudos e Marketing Industrial (IEMI), possui cerca de 24 mil empresas de confecção e gera 1,223 milhão de empregos, é significativa a oportunidade de voltar a atenção ao segmento de vestimenta de proteção ao calor e fogo. Tem-se, de um lado, a demanda crescente, e do outro, o potencial de fabricação. Em termos de mercado e emprego, é o mesmo que “unir o útil ao agradável”.

4 MATERIAIS E METODOLOGIA

Este capítulo aborda os materiais utilizados nesse estudo comparativo: os tecidos, as linhas de costura e os aviamentos, bem como o caminho adotado para essa pesquisa.

4.1 Materiais

4.1.1 Tecidos

Os tecidos planos são produzidos pelo entrelaçamento entre si de dois fios em ângulo reto. A menos que se utilizem fios texturizados ou fios com elastômero na sua fabricação, no dizer de Stamper, Sharp e Donnell (2005), tecidos planos possuem pouca elasticidade. Por suas propriedades físicas e aparência, são os mais utilizados em uniformes profissionais.

Solinger (1990), por seu lado, diz que as especificações dos tecidos para uso em vestuário de trabalho foram crescendo com o tempo. Em vinte anos, a quantidade de testes solicitados triplicou. Eram testes para avaliar a durabilidade (por exemplo: resistência à tração, à abrasão, à lavagem), a adequação a sua utilização (por exemplo: alongamento, permeabilidade ao ar, resistência a propagação do fogo) e a sua costurabilidade (por exemplo: esgarçamento na costura, resistência das costuras).

4.1.2 Linhas de costura

A linha de costura é constituída de fios têxteis naturais, artificiais e/ou sintéticos, com tratamento superficial específico para cada finalidade. Para conferir a ela, uma estrutura com alta resistência e estabilidade, utiliza-se, conforme Araújo e Castro (1996), a sequência: fiação – torção – reunião(binagem) – retorção.

De acordo com Laing e Webster (1998), as linhas constituídas de fibras naturais são normalmente fiadas, enquanto que as linhas sintéticas podem ser compostas de filamentos contínuos (monofilamento ou multifilamentos), fiadas a partir de filamentos cortados em pequenos comprimentos ou fiadas com um núcleo de filamento recoberto por fibras cortadas.

O Quadro 5 resume os tipos de linha de costura (as mais comuns) utilizadas na confecção do vestuário em geral.

Linhas	Observações	Ilustrações
100% algodão	Utilizada quando tingimos a peça pronta.	<p>Linha 100% algodão</p>
Linha mista almada	O núcleo da linha é formado por filamentos contínuos de poliéster de alta tenacidade coberto com fibras de algodão.	<p>Núcleo de filamentos contínuos (poliéster)</p> <p>Cobertura (algodão ou poliéster)</p>
Linha poliéster almada	O núcleo da linha é formado por filamentos contínuos de poliéster de alta tenacidade recobertos com fibras fiadas de poliéster.	<p>Núcleo de filamentos contínuos (poliéster)</p> <p>Cobertura poliéster</p>
100% poliéster fiado	Fibras de poliéster fiadas.	<p>Fibras descontínuas de Poliéster</p>

Linhas	Observações	Ilustrações
100% poliéster filamento contínuo	Poliéster em filamento contínuo trilobal, utilizadas em bordados devido ao seu brilho.	<p>filamentos trilobais (Poliéster)</p>
Fios texturizados	As linhas compostas por fios texturizados são obtidas através de processos termomecânicos que alteram a característica lisa da superfície dos filamentos contínuos, acrescentando volume e elasticidade. Geralmente conhecida como fio de overlock, as linhas de costura composta por fios texturizados proporcionam um toque suave e um maior alongamento, sendo indicadas para operações em <i>loopers</i> de máquinas.	<p>Fio 100% filamento contínuo texturizado</p>
Linhas especiais	Desenvolvidas para aplicações específicas.	Estrutura varia de acordo com a aplicação

Quadro 5 - Linhas de costura
Fonte: Adaptado de Coatscorrente, 2011

A grandeza física que expressa a espessura da linha, relaciona o peso e o comprimento, é chamada de título. A unidade comumente utilizada é o tex, que relaciona a massa em gramas para o comprimento de mil metros. O título da linha deve ser compatível com o peso do tecido: tecidos leves, linha fina; tecidos pesados, linha mais grossa.

A Figura 21 ilustra a relação utilizada na determinação do título de um fio no sistema tex: massa em gramas de 1000 metros do fio.

Figura 21 - Representação do título no sistema tex
Fonte: Gutermann, 1993

Segundo Araújo e Castro (2000), a resistência da costura depende da combinação dos seguintes fatores: resistência da linha, número de pontos por centímetro, número de fileiras de costuras (as mais utilizadas são as costuras simples, dupla ou tripla), o tipo de ponto da costura e as características do tecido.

Lubrificação, aplicações de silicone e outros acabamentos são recursos empregados nas linhas de costura com a finalidade de facilitar o movimento delas através da máquina e também para proteger a linha da agulha que tem sua temperatura elevada em costuras de alta velocidade (LAING;WEBSTER,1998).

De acordo com os estudos de Sanders (1973), o silicone lubrificante utilizado em linhas de costura afeta de modo significativo o resultado do tempo de extinção da chama no teste de inflamabilidade em tecidos de poliéster.

4.1.3 Aviamentos

O glossário de termos têxteis elaborado por Costa (2004) registra que aviamentos são partes utilizadas na confecção com função auxiliar e secundária.

A faixa retrorrefletiva na confecção tem função auxiliar. É um aviamento costurado em vestimentas de segurança para aumentar a visibilidade delas em condições de pouca luminosidade. Quando utilizadas em vestimenta de proteção ao calor e chama, as faixas

retrorefletivas são compostas de lentes retrorefletivas expostas e de grande angularidade, agregadas a um tecido intrinsecamente resistente a chama. Apresentam resistência à propagação da chama e ao derretimento. Seu desempenho físico e fotométrico deve atender à NBR – 15292 - Vestuário de Segurança de Alta Visibilidade para faixa retrorefletiva. O capítulo 8 dessa norma é dedicado às especificações do material retrorefletivo resistente a chama.

4.2 Metodologia

A eficácia dos resultados que se pretende obter com uma pesquisa – de qualquer natureza – depende intrinsecamente da objetividade e dos meios que o pesquisador irá usar. Kahlmeyer-Mertens, junto com outros autores (2007), aprofundam essa questão. Definiram eles: “Metodologia científica é o estudo dos métodos de conhecer, de buscar o conhecimento. É uma forma de pensar para se chegar à natureza de um determinado problema, seja para explicá-lo ou estudá-lo.

No contexto desse entendimento, o presente estudo propõe a questão: o calor e o fogo interferem na integridade da costura na vestimenta de proteção a ponto de colocar em risco a proteção do usuário? Para tanto, porém, faz-se necessário um estudo exploratório, ou melhor, trilhou-se um “caminho” exploratório.

Esta questão foi formulada observando-se vestimentas de proteção contra arco elétrico com algumas costuras feitas com linha em não conformidade com as normas estabelecidas. A partir dessas constatações, foram estabelecidos os objetivos do trabalho, como especificado anteriormente.

Para dar continuidade ao estudo proposto estabeleceram-se as seguintes hipóteses que, por sua vez conduziram à metodologia adequada:

- a) A linha utilizada na costura da vestimenta de proteção, de acordo com sua composição têxtil e estrutura, interfere na função de união dos tecidos a ponto de expor o usuário diretamente ao risco?
- b) A costura, de acordo com a composição têxtil e estrutura da linha utilizada na sua formação, pode propagar o fogo, pondo em risco o usuário?
- c) A geometria do ponto de costura pode interferir na propagação do calor e do fogo?
- d) A composição têxtil e a estrutura do tecido são mais relevantes que a da linha de costura no mecanismo de propagação do fogo, já que a sua massa é muito mais significativa como material combustível?

Para confirmar ou questionar as hipóteses estabelecidas, optou-se por pesquisar e, de modo experimental, comparar o comportamento das costuras, opção que definiu a metodologia do presente estudo.

No dizer de Gil (2002) em seus estudos sobre projeto de pesquisa, a pesquisa experimental constitui o delineamento mais prestigiado nos meios científicos. Diz esse autor que essencialmente consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.

Ainda como base teórica, temos os ensinamentos de Cervo e Bervian (1983). Segundo eles, a pesquisa experimental caracteriza-se por manipular diretamente as variáveis relacionadas com o objeto de estudo, sendo que a manipulação das variáveis proporciona o estudo da relação entre causas e efeitos de um determinado fenômeno.

A ilustração da Figura 22 permite visualizar a estrutura metodológica da pesquisa feita.

Figura 22 - Representação da estrutura da pesquisa experimental
Fonte: Autor

De acordo com o “fluxograma” da Figura 22, inicia-se a pesquisa com os testes para a caracterização dos tecidos e das linhas de costura.

O segundo passo foi costurar os corpos de prova para o teste de inflamabilidade vertical. Cada tecido foi costurado com um tipo (ou conjunto) de linhas diferentes.

Para a costura decorativa (bordado), foram utilizados um tipo de tecido (o mais comercializado no Brasil) e uma linha de costura específica para uso em bordados em geral.

Na sequência, executou-se o teste de inflamabilidade vertical em todos os corpos de prova costurados. Trata-se de um ensaio tradicionalmente utilizado em pesquisas sobre

inflamabilidade de tecidos, conforme Villa e Krasny (1990). Adotou-se para este ensaio a norma da ASTM 6413, que faz parte das normativas norte-americana NFPA 2112, recomendadas pelo Ministério do Trabalho e Emprego, como referido em páginas anteriores.

Com os corpos de prova carbonizados com as diversas linhas, partiu-se para a próxima etapa: testar as costuras desses corpos de prova, no ensaio de tração à ruptura.

Após o entendimento da representação da estrutura, serão apresentados os itens referentes às caracterizações de tecidos e das linhas de costura, bem como o ensaio da costura.

4.2.1 Caracterização dos tecidos

Os tecidos foram caracterizados através dos ensaios:

- a) ASTM D3775 - 08 *Standard Test Method for Warp (End) and Filling (Pick) Count of Woven Fabrics*;
- b) ASTM D3776-07 *Standard Test Methods for Mass Per Unit Area (Weight) of Fabric*;
- c) ABNT NBR 11914/1992 – Análise quantitativa de materiais têxteis;
- d) ABNT NBR 12996/1991 – Materiais têxteis – Determinação dos ligamentos fundamentais de tecidos planos.

Determinação da densidade de fios

De acordo com a norma ASTM D3775 – 08, para realizar esse ensaio, utilizando uma lente conta-fios, deve-se contar, em cinco regiões do tecido, o número de fios de trama por centímetro e o número de fios de urdume por centímetro.

Determinação da gramatura

Conforme a norma ASTM D3776-07, para a realização desse ensaio devem ser preparados, utilizando-se gabarito com 100 cm² de área cada um, cinco corpos de prova. Na sequência, os corpos de provas devem ser pesados em uma balança analítica; a partir do peso obtido, pode-se efetuar o cálculo para obtenção da gramatura do artigo em gramas por metro quadrado.

Análise quantitativa de materiais têxteis

Segundo a norma ABNT NBR 11914/1992 para realizar esse ensaio devem ser preparados três corpos de prova de 5cm x 5cm. Cada corpo de prova é colocado em um becker e pesado em balança analítica. Colocam-se em cada becker 15ml do reagente, de acordo com o tipo da fibra, e leva-se o conjunto à fervura. Manter durante cinco minutos, enxaguar o corpo de prova na própria solução do reagente e, em seguida, em água corrente. Secar em estufa por duas horas a 105°C, condicionar as amostras por quatro horas e pesar novamente. Calcular a porcentagem da fibra, conforme a massa dissolvida pelo reagente.

Determinação dos ligamentos fundamentais de tecidos planos

De acordo com a norma ABNT NBR 12996/1991, para a realização desse ensaio, utilizando uma lente conta-fios, deve-se desfiar o tecido, observando o entrelaçamento dos fios no sentido da trama e urdume.

4.2.2 Caracterização das linhas de costura

As linhas foram caracterizadas através dos ensaios:

- a) ABNT NBR 11914/1992 – Análise quantitativa de materiais têxteis;
- b) ASTM D1907 - 07 *Standard Test Method for Linear Density of Yarn (Yarn Number) by the Skein Method*;
- c) ASTM D2256 - 02 *Standard Test Method for Tensile Properties of Yarns by the Single Strand Method*.

Análise quantitativa de materiais têxteis

A descrição deste ensaio foi apresentada no item 3.2.3.3 utilizando como corpos de prova, meadas de linha de costura de aproximadamente 5 metros.

Determinação do título dos fios

Segundo a norma ASTM D1907 - 07, para realizar esse ensaio devem ser preparadas cinco meadas de 100 metros cada, utilizando-se para preparar as meadas o equipamento próprio para tal finalidade (aspa). Na sequência, os corpos de prova devem ser pesados em uma balança analítica; a partir do peso obtido, pode-se efetuar o cálculo do título da linha de costura.

Determinação da resistência a ruptura e do alongamento a ruptura da linha de costura

De acordo com a norma ASTM D2256 – 02, para a realização desse ensaio são utilizados dez corpos de prova. O aparelho extensor é regulado com uma pré-tensão de 0,5% da carga de ruptura. O ensaio consiste em aplicar a carga até a ruptura do fio. Os valores da carga de ruptura e alongamento do fio são registrados no programa do dinamômetro e depois impressos.

4.2.3 Ensaio na costura

Todos os tecidos de corpo de prova foram costurados no centro e no sentido longitudinal.

Para observar o comportamento das linhas de costura no teste de inflamabilidade e para observar a resistência à tração da costura no tecido carbonizado foram utilizados os ensaios:

- a) ASTM D 6413 – *Standard Test Method for Flame Resistance of Textiles (Vertical Test)*;
- b) ASTM D5034 - 09 *Standard Test Method for Breaking Strength and Elongation of Textile Fabrics (Grab Test)*.

Inflamabilidade vertical

Segundo o estabelecido na norma ASTM D 6413, para a realização deste ensaio são preparados cinco corpos de prova nas dimensões 76mm x300mm. Ajusta-se a pressão do gás para 2,5 +/- 0,25 lbf/ pol² para acender o queimador com uma altura da chama de 38mm. Os corpos de prova são posicionados no suporte vertical. Esse suporte pode ser visto na Figura 23.

Figura 23 - Suporte vertical
Fonte: ASTM 6413 D, 2008

O queimador é posicionado no centro do corpo de prova e mantido nessa posição por doze segundos. Decorrido este tempo, retirar o queimador, afastando a chama do tecido e cronometrar o tempo de autoextinção da chama no tecido. Verificar se houve derretimento ou gotejamento de material. Em seguida, conforme a gramatura do tecido, posicionar a massa adequada a essa gramatura, no extremo inferior direito do corpo de prova. Suspende o corpo de prova e verificar o rasgamento da área carbonizada e anotar sua extensão.

Resistência à tração

De acordo com o estabelecido na norma ASTM D5034 - 09, para realizar esse ensaio são preparados cinco corpos de prova nas dimensões do gabarito para *Grab test*. O ensaio consiste em aplicar a carga até a ruptura do tecido. O aparelho é regulado com uma pré-tensão em função da gramatura do tecido. Nesse ensaio, a distância entre os mordentes é de 7,5cm. Os valores da carga de ruptura e alongamento do tecido são registrados no programa do dinamômetro e depois impressos.

5 PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTO ESTATÍSTICO

Para verificar se os materiais têxteis ensaiados possuem características médias estatisticamente iguais, optou-se pelo planejamento de experimento estatístico.

5.1 Planejamento de modo aleatório por níveis

Esse tipo de planejamento é recomendado quando se deseja estudar ensaios com “a” diferentes níveis (tratamentos) de uma única variável de influência (fator), com “n” réplicas para cada nível, com o objetivo de avaliar os efeitos dos tratamentos e estimá-los, através do teste de hipóteses apropriadas (MONTGOMERY, 2009). Se forem realizadas “n” réplicas para cada nível, o experimento pode ser montado como mostra a Tabela 7

Tabela 7 - Representação genérica de um planejamento de modo aleatório por níveis, utilizando “n” réplicas

Nível (Trat.)	Observações				Totais	Médias
1	y_{11}	y_{12}	...	y_{1n}	$y_{1.}$	$\bar{y}_{1.}$
2	y_{21}	y_{22}	...	y_{2n}	$y_{2.}$	$\bar{y}_{2.}$
.	.	.	...	.	.	.
.	.	.	...	.	.	.
.	.	.	...	.	.	.
a	y_{a1}	y_{a2}	...	y_{an}	$y_{a.}$	$\bar{y}_{a.}$

Fonte: Montgomery, 2009

onde y_{ij} é o j-ésimo elemento obtido no tratamento i. Esses elementos podem ser definidos pelo modelo estatístico linear:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}, \text{ com } i = 1, 2, \dots, a \text{ e } j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

onde:

μ é a média;

τ_i é um parâmetro que define o efeito de cada tratamento e

ε_{ij} é um componente devido a erros aleatórios.

O modelo apresentado é denominado análise de variância de um fator único e, para tornar a análise objetiva, é necessário que o planejamento experimental seja feito completamente de modo aleatório.

Os estudos de Yamashita e Sanches (2002) mostram que os efeitos dos tratamentos podem ser analisados através de um modelo de efeitos fixos ou de um modelo de efeitos aleatórios (modelo de componentes de variância). No primeiro modelo, os tratamentos são escolhidos de forma específica; o teste de hipóteses refere-se às médias dos tratamentos, e as conclusões extraídas são aplicáveis somente aos níveis considerados na análise, ou seja, não podem ser estendidas a outros níveis não analisados.

Freund (2006), por sua vez, acrescenta que, no modelo de efeitos aleatórios, os tratamentos analisados representam uma amostra aleatória de uma população de tratamentos; o teste de hipóteses verifica a variância dos efeitos dos tratamentos e as conclusões da análise podem ser estendidas para todos os outros tratamentos da população.

Análise de um modelo de efeitos fixos:

Os efeitos dos tratamentos τ_i são definidos como desvios a partir da média, de modo que:

$$\sum_{i=1}^a \tau_i = 0 \quad (2)$$

A média dentro do tratamento ($\bar{y}_{i.}$) e a média das médias ($\bar{y}_{..}$) podem ser determinadas através das expressões:

$$y_{i.} = \sum_{j=1}^n y_{ij} \quad (3)$$

$$\bar{y}_{i.} = \frac{y_{i.}}{n} \quad (4)$$

$$y_{..} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n y_{ij} \quad (5)$$

$$\bar{y}_{..} = \frac{y_{..}}{N} \quad (6)$$

onde: $i = 1, 2, \dots, a$ e N é o número total de observações.

A média estimada do i -ésimo tratamento é dada por:

$$E(y_{ij}) \equiv \mu_i = \mu + \tau_i, \quad i = 1, 2, \dots, a \quad (7)$$

5.1.1 Teste de hipóteses

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_a$$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu_j \text{ (pelo menos para um par } i, j)$$

O teste de hipóteses é feito para verificar se as médias dos tratamentos são iguais. Caso H_0 seja verdadeira, conclui-se que todos os tratamentos têm média igual a μ . A verificação do teste é feita através da análise de variância.

5.1.2 Análise de variância

Os resultados da ANOVA são normalmente apresentados em uma tabela, conforme mostra a Tabela 8.

Tabela 8 - Resumo da tabela ANOVA para análise dos resultados

Fonte de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	F_0
Entre tratamentos	SS_{Trat}	$(a-1)$	$SS_{\text{Trat}}/(a-1)$	$F_0 = \frac{SS_{\text{Trat}} / (a-1)}{SS_E / (N-a)}$
Erro (dentro dos tratamentos)	SS_E	$(N-a)$	$SS_E/(N-a)$	
Total	SS_T	$(N-1)$		

Fonte: Montgomery, 2009

a) Soma de quadrados total (SS_T)

O enunciado análise de variância deriva da divisão da variabilidade total em seus componentes, que dividida pelo número de graus de liberdade ($N-1$), fornece a variância da amostra.

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2 \quad (8)$$

b) Soma de quadrados entre tratamentos ($SS_{\text{Trat.}}$)

A soma dos quadrados por causa dos tratamentos (dentro dos tratamentos) tem $(a-1)$ graus de liberdade e é determinada pela expressão:

$$SS_{\text{Trat}} = n \sum_{i=1}^a (\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..})^2 \quad (9)$$

c) Soma de quadrados dentro dos tratamentos (SS_E)

A soma dos quadrados por causa dos erros (dentro dos tratamentos) tem $(N-a)$ graus de liberdade e pode ser determinada pela expressão:

$$SST = SStrat. + SSE \quad (10)$$

d) Quadrado médio entre tratamentos (QMTrat.)

É a estimativa da variância entre os tratamentos e pode ser determinado pela expressão:

$$QM_{Trat.} = \frac{SS_{Trat.}}{(a-1)} \quad (11)$$

e) Quadrado médio dentro dos tratamentos (QMDentrotrat.)

É uma estimativa da variância dentro de cada um dos tratamentos e pode ser determinada pela expressão:

$$QM_{Dentrotrat.} = \frac{SS_E}{(N-a)} \quad (12)$$

f) Razão F

Para a análise estatística das hipóteses apresentadas, tem-se que SST é uma soma de quadrados de variáveis aleatórias normalmente distribuídas, SST/σ^2 , SSE/σ^2 e $SS_{Trat.}/\sigma^2$; são distribuídas como chi-quadrado, respectivamente, com $(N-1)$, $(N-a)$ e $(a-1)$ graus de liberdade, se a hipótese nula $H_0 : \tau_i = 0$ for verdadeira. Nesse caso, aplicando-se o teorema de Cochran ($N-1 = N-a + a-1$), tem-se que SSE/σ^2 e $SS_{Trat.}/\sigma^2$ são variáveis aleatórias chi-quadrado independentes.

Se a hipótese nula for verdadeira, ou seja, não houver diferença entre as médias dos tratamentos, a razão F_0 é uma distribuição F com $(a-1)$ e $(N-a)$ graus de liberdade. A razão F é calculada pela expressão:

$$F_0 = \frac{SS_{Trat} / (a - 1)}{SS_E / (N - a)} \quad (13)$$

Caso a hipótese nula seja verdadeira, tanto o numerador quanto o denominador da expressão são estimadores confiáveis de σ^2 . Assim, se o valor esperado para o numerador é maior que o valor esperado para o denominador, deve-se rejeitar H_0 para valores do teste de hipóteses muito grandes, ou seja, a hipótese nula será rejeitada se $F_0 > F_{\alpha, (a-1), (N-a)}$.

A Figura 24 mostra a representação gráfica da distribuição F de Snedecor para testar o critério F_0 .

Figura 24 - Distribuição de referência
Fonte: Montgomery, 2009

6 ESTUDO COMPARATIVO

Como observado em vários momentos, o objetivo deste estudo é, através do ensaio de inflamabilidade e de resistência das costuras, comparar o comportamento de costuras feitas com diferentes tipos de linhas e diferentes tipos de tecidos retardante à chama. Nesse sentido, são apresentadas a seguir as características de cada material e demais elementos que compuseram os ensaios de inflamabilidade e de resistência de costuras.

Tecidos

Foram adquiridos no mercado nacional tecidos de distinta composição têxtil com característica retardante de chama, quais sejam: tecidos com fibras ignífugas inerentes, tecidos com misturas de fibras e tecidos com fibras tradicionais com acabamento ignífugo sobre o produto pronto.

Linhas de costura

Também no mercado nacional foram adquiridas linhas de costura com diferentes estruturas e composição têxtil: fiadas e com filamentos contínuos; com fibras de aramida, poliéster, algodão ou mistas.

Tecidos costurados

Todos os corpos de prova foram costurados no sentido longitudinal, sentido da costura de fechamento das laterais das vestimentas de proteção.

Para cada variável de linha foi necessário ajustar a tensão da linha na agulha, nos *loopers* e nas bobinas para o melhor ajuste do ponto da máquina.

Utilizou-se a agulha ponta normal nº90/14 em todos os tecidos.

Os tecidos foram trabalhados com três variações de costura: costura de união, costura de fixação para a faixa retrorrefletiva e costura decorativa (bordado).

Produtos químicos

Nas análises quantitativas foram utilizados: hidróxido de sódio 45°Be e hipoclorito de sódio 5% - 6%.

Equipamentos

Com relação aos equipamentos utilizados nos laboratórios, eles foram assim discriminados:

– Laboratório de controle de qualidade

Equipamentos do Centro Universitário da FEI (Faculdade de Engenharia Industrial): Aspa Zweigle® L232; Balança analítica Marte® de três casas decimais; Dinamômetro Instron® com capacidade para 5 kN;.

– Laboratório de química

Equipamentos do Instituto de Especialização em Ciências Administrativas e Tecnológicas (IECAT) do Centro Universitário da FEI: cabine com queimador a gás metano e suporte para posicionamento do corpo de prova verticalmente; cronômetro; balança analítica Shimadzu® de seis casas decimais;

– Laboratório de confecção

Equipamentos do Centro Universitário da FEI (Faculdade de Engenharia Industrial): máquina de interloque Mauser Spezial ®, máquina reta Brother ® e máquina de bordar Melco® modelo EP1.

Planejamento do experimento

Este item do estudo comparativo levou em conta os seguintes fatores: costuras de união, costura de fixação da faixa retrorrefletiva e costura de decoração-bordado.

Costuras de união

Os tecidos foram costurados com linhas de diferentes composições têxteis. Para as costuras de união utilizou-se a máquina de interloque Mauser Spezial ® pontos 504 e 401 e, em seguida, pespontadas na máquina reta Brother ® ponto 301. Para essa operação foram utilizadas as costuras classe 1.01 e classe 2.02. Essa combinação de pontos e de tipos de costuras é a mais utilizada na confecção das vestimentas de proteção. A representação dos pontos e das classes de costura selecionados está na Figura 25.

Figura 25 - Pontos e costuras utilizados no experimento
Fonte: Adaptado da NBR 9397 e NBR 13483

Na região da costura, a quantidade de camadas de tecido é geralmente maior que no restante da vestimenta; no teste foram expostas ao calor três camadas de tecido.

Às linhas testadas, não foi adicionado nenhum tipo de lubrificante, enquanto que as linhas de costura foram utilizadas com a lubrificação recebida do fabricante.

Costura de fixação da faixa retrorrefletiva

Para esse teste utilizou-se a faixa retrorrefletiva com propriedade retardante de chama por ser um aviamento largamente empregado em vestimentas de proteção.

A faixa foi fixada em dois tecidos com composições têxteis diferentes. Foram utilizadas nas costuras o ponto 301 e 401 e a costura classe 5.04. A representação dos pontos e da classe de costuras selecionadas está na Figura 26.

Figura 26 - Pontos e costuras utilizados no experimento
Fonte: Adaptado da NBR 9397 e NBR 13483

Para esse experimento foram utilizadas dois tipos de linha:

- a) Linha com fibra resistente a chama, recomendada pelo fabricante da faixa retrorrefletiva;
- b) Linha 100% poliéster fiado, tradicionalmente utilizada na confecção de vestuário em geral.

Costura de decoração – bordado

Como costura de decoração utilizou-se um bordado por ser um recurso de ornamentação bastante adotado em uniformes profissionais. Foi feito um bordado na máquina Melco® modelo EP1 com, aproximadamente, 2.500 pontos.

A Figura 27 mostra os pontos do bordado.

Figura 27 - Pontos do bordado
Fonte: *Software EDS* da máquina de bordar Melco ®

Como base do bordado, foi empregada uma entretela de não-tecido.

Método de ensaio

Quanto a este elemento dos ensaios, adotou-se o método de ensaio de inflamabilidade ASTM 6413, conforme descrito no Capítulo 4, item 4.2.3. Nesse método, os corpos de prova são submetidos a uma fonte de calor durante doze segundos. Decorrido esse tempo, a fonte de calor é retirada e cronometrado o tempo de autoextinção da chama no tecido. Deve-se, então, observar se houve derretimento e gotejamento de material.

De acordo com as especificações NFPA 2112, para tecidos e aviamentos utilizados em vestimenta de proteção, o tempo de autoextinção da chama cronometrado após a retirada da chama não pode ser superior a dois segundos e também não pode haver derretimento ou gotejamento de material.

Na sequência do teste anterior, os corpos de prova carbonizados foram submetidos ao ensaio de tração, conforme a norma ASTM D5034 – 09 descrita no Capítulo 4 item 4.2.3. Nesse ensaio, os corpos de prova são submetidos à tração até o seu rompimento. A carga de ruptura é registrada no momento em que o tecido se rompe. Adotou-se uma distância de 4cm entre os mordentes para prender e posicionar os corpos de prova, devido às suas dimensões no ensaio de inflamabilidade.

7 RESULTADOS

Os resultados obtidos com o estudo comparativo possibilitaram uma série de considerações que serão expostas nos seis subitens que vêm a seguir. Antes, porém, de dar prosseguimento, serão apresentados os resultados relativos à caracterização dos materiais que foram submetidos aos ensaios, ou seja, o tecido e a linha.

A Tabela 9 apresenta a caracterização dos tecidos.

Tabela 9 - Caracterização dos tecidos do experimento

	Tecido	Gramatura g/m ²	Construção	Desidade dos fios/ cm		Composição
				Trama	Urdume
	A	276,48	3 x 1	19	40	100% algodão
	B	206,84	1 x 1	17	28	91,6% meta-aramida e 8,4% para-aramida
	C	273,04	2 x 1	19	39	100% algodão
	D	255,28	2 x 1	20	32	50% moda-acrílico e 50% celulósica e para-aramida

Fonte: Autor

A Tabela 10 apresenta a caracterização das linhas.

Tabela 10 - Caracterização das linhas utilizadas no experimento

Linha	Título tex		Carga de ruptura (cN)	Alongamento %	Composição
1	60,82	2 cabos de multifilamentos contínuos liso	2819	23%	100% poliéster
2	57,70	3 cabos de fibras descontínuas	1320	21%	no mínimo 80% de meta-aramida
3	48,08	2 cabos com filamentos contínuos recoberto com fibra	1759	29%	65% poliéster e 35% algodão
4	61,83	2 cabos de fibras descontínuas	2134	16%	100% poliéster
5	19,45	multifilamentos contínuos texturizado	-	-	100% poliéster
6	28,23	2 cabos multifilamentos contínuos	1088	24%	100% poliéster trilobal

Fonte: Autor

7.1 Análise estatística

Foram estabelecidos 95% como intervalo de confiança.

7.1.1 Análise da variância para os ensaios de gramatura de tecidos.

A Tabela 11 traz os resultados da ANOVA

Tabela 11 - Resumo da tabela ANOVA para gramatura dos tecidos

Fonte de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	F_0
Entre tratamentos	15.444,12	3	5.148,04	1.907,56
Erro (dentro dos tratamentos)	43,180	16	2,699	
Total	15.487,30	19		

Fonte: Autor

$F_0 > 3,24$ hipótese rejeitada

7.1.2 Análise da variância para os ensaios de título das linhas de costura.

A Tabela 12 traz os resultados da ANOVA

Tabela 12 - Resumo da tabela ANOVA para título das linhas de costura

Fonte de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	F_0
Entre tratamentos	589,265	3	196,422	6,936
Erro (dentro dos tratamentos)	453,132	16	28,321	
Total	1042,397	19		

Fonte: Autor

$F_0 > 3,24$ hipótese rejeitada

7.1.3 Análise da variância para os ensaios de determinação da carga de ruptura da linha de costura.

A Tabela 13 traz os resultados da ANOVA

Tabela 13 - Resumo da tabela ANOVA para carga de ruptura da linha de costura

Fonte de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	F_0
Entre tratamentos	12.086.326,67	3	4.028.775,56	992,427
Erro (dentro dos tratamentos)	146.142,65	36	4.059,52	
Total	12.232.469,31	39		

Fonte: Autor

F_0 é $> 2,84$ hipótese rejeitada

7.2 Costuras

No ensaio de inflamabilidade vertical, conforme descrito no Capítulo 4, item 4.2.3.1, o queimador é posicionado no centro do corpo de prova. Foi, então, possível observar que o lado do avesso, onde existe maior concentração de linha, sofreu mais o efeito do calor e do fogo em todas as combinações testadas. Por este motivo, optou-se por ilustrar este trabalho preferencialmente com as fotos do lado do avesso. As fotos da Figura 28 ilustram a diferença de comportamento observada entre os lados direito e avesso.

Figura 28 - Comparativo entre lado direito e avesso da costura
Fonte: Autor

Utilizou-se como base as especificações da NFPA 2112: autoextinção da chama **sim**, significa que a chama atende à especificação e se autoextingue até dois segundos após a remoção da fonte de calor, e autoextinção da chama **não**, quando o tempo da autoextinção ultrapassar dois segundos e não atender à especificação.

A seguir, os resultados dos ensaios de inflamabilidade nas costuras serão apresentados individualmente por tipo de linha.

7.2.1 Linha 1: 100% poliéster filamento liso

O Quadro 6 traz os resultados da linha 1.

Tecido	Auto extinção da chama	A linha derrete
A	Sim	Sim
B	Não	Sim
C	Sim	Sim
D	Sim	Sim

Quadro 6 - Resultados do ensaio de inflamabilidade com a linha 1
Fonte: Autor

A não extinção da chama após a sua remoção foi observada na combinação linha 1 (100% poliéster filamento liso) e tecido B (92% meta-aramida). Nesse caso, a chama só se extinguiu depois de consumir toda linha da costura. Na foto da Figura 29 pode-se observar que a chama continuou inflamando, utilizando a linha como combustível.

Figura 29 - Corpos de prova com a linha 1 após o teste de inflamabilidade
Fonte: Autor

A foto da Figura 30 mostra a costura antes da ação da chama. Nas fotos da Figura 31 observam-se as costuras após o ensaio. A linha derreteu na área carbonizada e desmanchou a amarração do ponto da costura.

Figura 30 - Costura antes do ensaio
Fonte: Autor

Figura 31 - Fotos da linha 1 após o ensaio
Fonte: Autor

7.2.2 Linha 2: no mínimo 80% de meta-aramida

O Quadro 7 traz os resultados da linha 2.

Tecido	Autoextinção da chama	A linha derrete
A	Sim	Não
B	Sim	Não
C	Sim	Não
D	Sim	Não

Quadro 7 - Resultados do ensaio de inflamabilidade com a linha 2
Fonte: Autor

A linha 2 (no mínimo 80% de meta-aramida) apresentou o melhor resultado de todas as combinações testadas. Tal fato era esperado, uma vez que a fibra de meta-aramida é resistente ao calor e a chama conforme mencionado no Capítulo 2, subitem 2.5.1, sobre aramidas. Os corpos de prova com a linha 2 são mostrados nas fotos da Figura 32.

Figura 32 - Corpos de prova com a linha 2 após o teste de inflamabilidade
Fonte: Autor

A foto da Figura 33 mostra a costura antes do ensaio. Nas fotos da figura 34 observa-se a linha 2 após o ensaio.

Figura 33 - Costura antes do ensaio
Fonte: Autor

Figura 34 - Fotos das costuras feitas com a linha 2 após o ensaio
Fonte: Autor

7.2.3 Linha 3: 65% poliéster e 35% algodão

O Quadro 8 traz os resultados da linha 3.

Tecido	Autoextinção da chama	A linha derrete
A	Sim	Sim
B	Não	Sim
C	Sim	Sim
D	Sim	Sim

Quadro 8 - Resultados do ensaio de inflamabilidade com a linha 3
Fonte: Autor

A linha 3 (65% poliéster e 35% algodão) e tecido B (92% meta-aramida) apresentaram resultado insatisfatório uma vez que a chama só se extinguiu depois de consumir uma parte da linha da costura. Nas fotos da Figura 35 é possível observar que a chama continuou inflamando por mais tempo que nos demais tecidos.

Figura 35 - Corpos de prova com a linha 3 após o ensaio de inflamabilidade
Fonte: Autor

A foto da Figura 36 mostra a costura antes do ensaio. Observa-se nas fotos da Figura 37 que a linha 3 derreteu na área carbonizada e desmanchou a amarração do ponto da costura.

Figura 36 - Costura antes do ensaio
Fonte: Autor

Figura 37 - Fotos das costuras feitas com a linha 3 após o ensaio
Fonte: Autor

7.2.4 Combinação da linha 4: 100% poliéster fiado e linha 5: 100% poliéster filamento texturizado

Foi utilizada a linha 4 nas agulhas e a linha 5 nos *loopers* do ponto 504. O emprego de filamento texturizado nos *loopers* e de linha nas agulhas é prática bastante comum na confecção de vestuário.

O Quadro 9 traz os resultados da combinação das linhas 4 e 5 .

Tecido	Autoextinção da chama	A linha derrete
A	Sim	Sim
B	Não	Sim
C	Sim	Sim
D	Sim	Sim

Quadro 9 - Resultados do ensaio de inflamabilidade com as linhas 4 e 5 combinadas
Fonte: Autor

O caso de não extinção da chama foi observado na combinação com o tecido B (92% meta-aramida) onde a chama só se extinguiu depois de consumir toda linha da costura. Nas fotos da Figura 38 pode-se observar que a chama continuou inflamando, utilizando a linha como combustível.

Figura 38 - Corpos de prova com a linha 4 e linha 5 (filamento texturizado) após o ensaio
Fonte: Autor

A foto da Figura 39 mostra a costura antes do ensaio. Nas fotos da figura 40 pode-se observar que o conjunto de linhas testado derreteu na área carbonizada e desmanchou a amarração do ponto da costura.

Figura 39 - Costura antes do ensaio
Fonte: Autor

Figura 40 - Fotos das costuras feitas com a linha 4 e linha 5 (filamento texturizado)
Fonte: Autor

7.2.5 Combinação da linha 2: no mínimo 80% meta-aramida e linha 4: 100% poliéster fiado

Essa combinação de linha foi testada porque é comum nas confecções a prática de misturar linhas, tanto para reduzir os custos de produção, quanto para aproveitamento de estoques.

O Quadro 10 traz os resultados da combinação das linhas 2 e 4.

Tecido	Autoextinção da chama	A linha derrete
A	Sim	Sim
B	Sim	Sim
C	Sim	Sim
D	Sim	Sim

Quadro 10 - Resultados do ensaio de inflamabilidade com as linhas 2 e 4 combinadas
Fonte: Autor

Observa-se nas fotos da Figura 41 que a área carbonizada no tecido D foi maior em comparação com os demais.

Figura 41 - Corpos de prova com a linha 2 nos *loopers* e linha 4 nas agulhas após o ensaio de inflamabilidade
Fonte: Autor

A foto da Figura 42 mostra a costura antes do ensaio. Observa-se nas fotos da Figura 43 que uma das linhas derrete e desmancha a amarração do ponto da costura.

Figura 42 - Costura antes do teste
Fonte: Autor

Figura 43 - Fotos das costuras feitas com a linha 2 nos *loopers* e linha 4 nas agulhas
Fonte: Autor

7.3 Costura de fixação da faixa retrorrefletiva

Foram utilizados dois tipos de ponto para a fixação da faixa retrorrefletiva. O ponto 301 (fixo) e o ponto 401 (corrente) apresentaram os mesmos resultados. As fotos da Figura 44 ilustram os dois tipos de pontos. A diferença entre eles só é notada no lado avesso.

Figura 44 - Corpos de prova com ponto 401 e ponto 301
Fonte: Autor

Linha 2: no mínimo 80% de meta-aramida

O Quadro 11 traz os resultados da linha 2.

Tecido	Linha	Autoextinção da chama	Compromete a fixação da faixa
B	linha 2	Sim	Não
C	linha 2	Sim	Não

Quadro 11 - Resultados do ensaio de inflamabilidade com a linha 2 na fixação da faixa retrorrefletiva
Fonte: Autor

Nas fotos das Figuras 45 e 46 nota-se que as costuras com a linha 2 se mantiveram após o ensaio de inflamabilidade.

Figura 45 - Corpos de prova do tecido B com a linha 2 após o ensaio de inflamabilidade
Fonte: Autor

Figura 46 - Corpos de prova do tecido C com a linha 2 após o ensaio de inflamabilidade
Fonte: Autor

7.3.1 Linha 4: 100% poliéster fiado

O Quadro 12 traz os resultados da linha 4.

Tecido	Linha	Autoextinção da chama	Compromete a fixação da faixa
B	linha 4	Sim	Sim
C	linha 4	Sim	Sim

Quadro 12 - Resultados do ensaio de inflamabilidade com a linha 4 na fixação da faixa retrorrefletiva
Fonte: Autor

Ao utilizar a linha 4 (100% poliéster fiado), a costura derreteu em todas as combinações testadas, deixando a faixa retrorrefletiva totalmente solta do tecido base, como se pode observar nas fotos das Figuras 47 e 48.

Figura 47 - Tecido B com a linha 4
Fonte: Autor

Figura 48 - Tecido C com a linha 4 após o teste
Fonte: Autor

7.4 Bordado

7.4.1 Linha 6: 100% poliéster filamento trilobal

O Quadro 13 traz os resultados da linha 6.

Tecido	Linha	Autoextinção da chama	Compromete o bordado
C	linha 6	Não	Sim

Quadro 13 - Resultados do teste de inflamabilidade com a linha 6 no bordado
Fonte: Autor

Após a remoção da fonte de calor, a linha 6 continua queimando até ser totalmente consumida, como se verifica nas fotos da Figura 49.

Figura 49 - Bordado antes e depois do ensaio de inflamabilidade
Fonte: Autor

7.5 Comparação no ensaio de tração

Os corpos de prova submetidos ao ensaio de tração não estavam no tamanho requerido pela norma ASTM, já que foram utilizados os mesmos corpos de prova do teste de

inflamabilidade. Não foi possível manter a distância de 7,5cm entre os mordentes, de acordo com a especificação da norma descrita no Capítulo 4, item 4.2.3.1. A distância utilizada foi, então, de 4cm. O ensaio utilizou tecidos com costuras e comparou com os mesmos tecidos costurados e queimados.

O resultado obtido mostrou que as costuras dos corpos de prova resistem ao esforço de tração. O tecido se rompe e as costuras não.

Nos corpos de prova pós-queima, as rupturas ocorreram no tecido, exceto em dois corpos de prova na combinação tecido B com linha 3 e linha 4 + 5.

Foi notada uma redução no valor da carga de ruptura entre a carga utilizada para romper os corpos de prova não submetidos ao calor, em comparação com a carga utilizada nos corpos de prova submetidos ao ensaio de inflamabilidade. A Tabela 14 apresenta a redução do valor da carga de ruptura em porcentagem.

Tabela 14 - Redução na carga de ruptura do tecido

		Redução da carga de ruptura à tração após ensaio			
		Tecido A 100% algodão	Tecido B 92% meta-aramida	Tecido C 100% algodão	Tecido D 50% moda acrílico e 50% celulósica e para-aramida
Costura de união	Linha 1 100% PES filamento liso	-5,5%	-71,1%	-56,0%	-60,9%
	Linha 2 80%, no mínimo, de meta-aramida	-39,0%	-26,5%	-72,7%	-
	Linha 3 65% PES 35% CO	-49,4%	-81,9%	-96,0%	-90,4%
	Linha 4 100% PES fibra cortada +	-	-	-68,6%	-72,3%
	Linha 5 fio PES filamento texturizado				
	Linha 2 80% meta aramida no looper + Linha 4 100% PES fibra cortada na agulha	-40,8%	-60,1%	-87,2%	-91,9%

Fonte: Autor

Os valores obtidos em porcentagem são bastante variados. Não se observou nenhuma ligação consistente entre os valores em relação aos tipos de linha ou tecidos.

7.6 Resumo dos resultados

O Quadro 14 resume os resultados dos ensaios de inflamabilidade.

		Autoextinção da chama até dois segundos após a remoção da fonte de calor				A linha derrete
		Tecido A 100% algodão	Tecido B 92% meta-aramida	Tecido C 100% algodão	Tecido D 50% moda acrílico e 50% celulósica e para-aramida	
Costura de união	Linha 1 100% PES filamento liso	atende	não atende	atende	atende	sim
	Linha 2 80%, no mínimo, de meta-aramida	atende	atende	atende	atende	não
	Linha 3 65% PES 35% CO	atende	não atende	atende	atende	sim
	Linha 4 100% PES fibra cortada + Linha 5 fio PES filamento texturizado	atende	não atende	atende	atende	sim
	Linha 2 80% meta-aramida no <i>looper</i> + Linha 4 100% PES fibra cortada na agulha	atende	atende	atende	atende	sim
Faixa retro refletiva	Linha 2 80%, no mínimo, de meta-aramida	não testado	atende	atende	não testado	não
	Linha 4 100% PES fibra cortada	não testado	atende	atende	não testado	sim
Bordado	Linha 6 100% PES filamento trilobal	não testado	não testado	não atende	não testado	sim

Quadro 14 - Resumo dos resultados
Fonte: Autor

8 CONCLUSÕES

Foram montados planejamentos de modo aleatório por níveis, usando intervalo de confiança de 95%. Dessa forma, pode-se concluir que são estatisticamente diferentes a gramatura média dos tecidos ensaiados, o título médio das linhas de costura e a carga média de ruptura das linhas utilizadas. Entretanto, as diferenças encontradas não irão alterar significativamente a comparação dos resultados dos ensaios de inflamabilidade.

O estudo comparativo mostrou que as costuras feitas com a linha 2 de fibra de meta-aramida, foram as que atenderam às especificações tanto no quesito da autoextinção da chama em até 2 segundos após a remoção da fonte de calor, quanto em não apresentar derretimento ou gotejamento.

As costuras com as linhas que continham a fibra de poliéster na sua composição (linhas 1, 3, 4 e 5) sobre os tecidos com fibras 100% algodão (tecido A e C) e tecido com mistura de fibras celulósicas e sintéticas (tecido D), atenderam o quesito de autoextinção da chama, no tempo máximo de dois segundos; porém, a linha derretia e desfazia a amarração do ponto da costura.

A combinação das linhas que contêm poliéster na sua composição (linhas 1, 3, 4 e 5) com o tecido B (composto de fibras de meta-aramida) apresentou a pior combinação de resultados na autoextinção da chama e derretimento de material.

Tal resultado pode ser constatado nas fotos da Figura 50.

Figura 50 - Corpos de prova do tecido B com todas as linhas
Fonte: Autor

O mecanismo retardante da fibra de aramida que compõe o tecido B explica o comportamento da linha de poliéster. Nesse caso ocorre o aumento da temperatura de pirólise da fibra do tecido, sendo que esse aumento é transferido para a linha de costura. Essa transferência de calor alimenta o processo de queima da linha que continua ativado mesmo após a remoção da fonte de calor (ver Capítulo 2 subitem 2.5.3.1).

No caso da faixa retrorrefletiva, o teste comprova que o uso da linha composta de fibra ignífuga inerente (no estudo, a linha B com fibra de meta-aramida), recomendada pelo fabricante da faixa, é fundamental para mantê-la na vestimenta e, desse modo, auxiliar a visibilidade do indivíduo, num caso de acidente em local pouco iluminado.

A costura de bordado concentra uma quantidade de linha bem maior que a costura de união. Tal concentração, por conseguinte, favorece a continuidade da chama, mesmo após a remoção da fonte de calor. Observou-se no ensaio que a chama só se extinguiu depois de consumir toda a linha do bordado, ou seja, 23,87 segundos na média, após a remoção da fonte

de calor. A quantidade de linha do bordado varia de acordo com o número de pontos do bordado. Portanto bordados maiores deverão queimar por mais tempo.

Pode-se observar ainda que os mais danificados são os pontos de costura que consomem maior quantidade de linha e que, por sua vez, expõem mais material à chama. Portanto o tipo de ponto deve ser considerado na elaboração do produto para proteção. Esta relação entre inflamabilidade da costura, tipo de ponto e título da linha de costura fora já apresentada no estudo *The Influence of Thread Mass and Fabric Mass on Seam Flammability*, de Jakes, Smith e Spivak (1975).

O ensaio de resistência à tração nas costuras mostrou que o corpo de prova, ao ser solicitado, rompe o tecido, mas as costuras se mantêm. O mesmo ensaio feito em corpos de prova com partes do tecido carbonizado e costuras carbonizadas apresentou igual resultado, ou seja, o corpo de prova, ao ser tracionado, rompe o tecido, e as costuras se mantêm. O rompimento do tecido inicia na área carbonizada e continua rompendo até a borda oposta.

8.1 Considerações finais

Como já foi mencionado, muitos fatores podem contribuir – independentes ou combinados – para a inflamabilidade da costura. A título de exemplo: estrutura química da fibra, geometria da fibra e da linha de costura, tipo da costura, inflamabilidade do tecido de base, etc. A presente pesquisa, como foi exposto, testou tão somente algumas dessas combinações, não tendo, por conseguinte, a pretensão de esgotar o assunto de indiscutível importância.

Uma outra consideração refere-se ao fato de que foi possível perceber que a falta de interação entre o tecido e a linha de costura pode resultar no fracasso da proteção ao calor e fogo a que a vestimenta deveria atender. Apenas o retardamento da chama do tecido por si só não deve ser usado para assegurar os resultados da vestimenta como um todo. Negligenciar outras variáveis de confecção compromete a segurança da vestimenta.

Sempre é oportuno lembrar que, atualmente no Brasil, a operação de costura é largamente terceirizada em oficinas espalhadas por todo país. Tais oficinas muitas vezes funcionam em condições onde transparecem a carência de profissionais qualificados e de equipamentos mais atualizados. Segundo dados do IEMI - Instituto de Estudos e Marketing Industrial, o Brasil possui cerca de 24 mil empresas de confecção gerando 1,223 milhão de empregos. Parte dessas empresas, ou mais precisamente, 69,9% delas, são confecções de pequeno porte (até dezenove funcionários) e que, por sua vez, prestam serviços para outras oficinas de confecções. É fácil concluir que controlar a obediência às normas e regulamentos necessários na vestimenta de proteção é uma tarefa nada simples.

Em pesquisa de campo – que também motivou o presente estudo – foram encontradas vestimentas de proteção ao calor e à chama, identificadas com o seu número de CA (certificado de aprovação), com algumas costuras com linha ignífuga e outras com linha termoplástica de filamento contínuo texturizado similar à linha 5 desta pesquisa. Tal observação confirma o quanto o processo de costura desrespeita as normas existentes relativas à linha de costura desse tipo de produto. A foto da Figura 51 mostra uma camisa propositalmente dobrada, com o lado do avesso exposto, onde se pode observar que a costura do ombro foi feita com uma linha sintética texturizada, diferente das outras costuras nas quais foi utilizada linha ignífuga.

Figura 51 – Lado do avesso de uma camisa em tecido retardante da chama costurada com dois tipos diferentes de linhas: linha com fibra retardante da chama e linha sintética de filamento texturizado

Fonte: Autor

8.2 Sugestões para trabalhos futuros

Como enfatizado acima, este estudo comparativo não pretendeu esgotar o assunto, como se fosse um ponto de chegada. Antes e pelo contrário. Sua intenção é ser mais outro ponto de partida cuja direção vai no sentido de proteger a saúde do trabalhador, dando-lhe segurança que propicie melhor qualidade de vida. Sem, por outro lado, deixar de considerar a redução de despesas decorrentes de possíveis acidentes. Daí a razão das sugestões agora apresentadas.

O ensaio em peça confeccionada vestida em manequim de acordo com a norma ASTM F 1930, até o presente momento, é o teste que mais se aproxima da realidade do risco a que o trabalhador está exposto. Tal teste, porém, não é realizado no Brasil, fato que dificulta novas pesquisas e uma fiscalização mais intensa de peças já existentes no mercado. Esse ensaio é importante porque expõe toda a vestimenta ao fogo, de modo semelhante a uma explosão. Sensores no manequim que veste a roupa registram as temperaturas alcançadas no interior da roupa. De acordo com essas temperaturas, verifica-se o quanto a vestimenta protege o usuário de lesões de 2º grau.

Antes de as peças confeccionadas serem confeccionadas para os laboratórios do exterior, poderiam ser feitos testes de inflamabilidade em diversas combinações de costuras, variando-se pontos, tipos de linha, quantidade de camadas, etc. que orientariam a confecção de vestimentas com novas propostas de montagem e estilo.

Como sugestão de pesquisa de costuras em tecido retardante da chama, utilizar a norma ABNT NBR 14892/2002 - Não tecido - Flamabilidade horizontal, como base para ensaios. Esse ensaio é normalmente utilizado para testar revestimento automotivo. Os corpos de prova são posicionados horizontalmente de modo que somente um lado do tecido fica exposto à fonte de calor. Os testes poderiam ser efetuados, variando-se a quantidade de camadas de tecido na costura, composição da linha de costura, título da linha, tipo de ponto, tecido base, tipo de lubrificante da linha.

REFERÊNCIAS

ABDI, Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Estudo prospectivo setorial: têxtil e confecção**. Brasília, 2010.

ALFIERI, P. **Desenvolvimento de Produto Têxtil**. In: Curso de Pós-Graduação Executivo em Negócios de Moda, 2000. Anhembi Morumbi, São Paulo, 2000.

ARAÚJO, M.; FANGUEIRO, R.; HONG, H. **Têxteis Técnicos - Materiais do Novo Milênio**. Lisboa: Williams, 2000.

ARAUJO, M; CASTRO, E. **Manual de Engenharia Têxtil**, vol. 1 e 2. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2000.

ARAUJO, M; CASTRO, E. **Tecnologia do Vestuário**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1996.

AUDACES. **Imagens**. Disponível em: <<http://www.audaces.com/novo/imagens/produtos/moldes1.jpg>> e <<http://www.audaces.com/novo/imagens/produtos/neocut3.jpg>>. Acesso em 3 mai. 2012.

BAJAJ, P. Heat and flame protection. In: Horrocks A.R.; Anand S.C. **Handbook of technical textile**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2000.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P.A. **Metodologia científica**. São Paulo: McGraw-Hill, 1983.

CIPA, **Caderno Informativo de Prevenção de Acidentes CIPA**, Indicadores do Mercado de EPIS. São Paulo, Ano XXXII, nº 373, p 40 – 43, dez. 2010.

COATS CORRENTE. **Scripts**. Disponível em: <http://www.coatscorrente.com.br/scripts/industrial/produto/produto_home.asp?idCategoria=3&idLinhaProduto=6>. Acesso 20 nov. 2011.

COSTA, M. **Revista da Faculdade de Letras Ciências e Técnicas do Patrimônio**. Glossário de termos têxteis e afins. Porto 2004. Disponível em: <<http://ler.letras.up.pt/uploads/ficheiros/4088.pdf>> Acesso em 20 mai. 2012.

FERREIRA, A.M. **Estudo da Dinâmica de Costura numa Máquina de Costura de Ponto Preso**, 2009. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Têxtil) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Portugal, 2009.

FIBERSOURCE. **History**. Disponível em: <<http://www.fibersource.com/f-tutor/history.htm>> Acesso 5 fev. 2012.

FREUND, J.E. **Estatística aplicada: economia, administração e contabilidade**. Porto Alegre: Ed. Bookman, 2006.

GALLO, J.B.; AGNELLI, J.A.M. Aspectos do comportamento de polímeros em condições de incêndio. **Polímeros**, São Carlos, v. 8, n. 1, mar. 1998 . Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14281998000100005&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 20 jan. 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14281998000100005>.

GIL, A. C., **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

GONÇALVES, D. C. S. *et al.* **Fibras Celulósicas**. Rio Grande do Sul. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Deptº de Eng. Produção e Têxtil, 2003. 24p. Disponível em: <<http://www.almanaquedocampo.com.br/imagens/files/fibras-celulosicas%20juta.pdf>> Acesso em: 23 jun. 2011.

GUTERMANN, **Catálogo sobre Linha de Costura**, Gutermann – Linhas para Costura Ltda., [S.l.:s.n.], 1993.

HIPERTEXTOS DEL ÁREA DE LA BIOLOGÍA. **Célula Vegetal**. Disponível em:<http://www.biologia.edu.ar/plantas/cell_vegetal.htm>. Acesso em 14 out. 2012.

HOCKER, H. Fiber morphology. *In*: Simpson W.S.; Crawshaw G.H. **Wool – Science and Technology**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2002.

HOLMES, D. Textile for survival. *In*: Horrocks A.R.; Anand S.C. **Handbook of technical textile**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2000.

HORROCKS, R. et al. Thermally resistant fibres. *In*: Hearle J.W.S. **High-performance fibers**. Cambridge: Woodhead Publishing 2001.

HORROCKS, R; PRICE D. **Fire retardant materials**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2001.

IEMI - Instituto de Estudos de Marketing Industrial Ltda. **Brasil Têxtil 2011** - Relatório Setorial da Indústria Têxtil Brasileira, São Paulo, 2011.

IPT Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **O desempenho dos MPES – o setor têxtil – confecção**. São Paulo: IPT, 2001. Disponível em: <

[http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bds/bds.nsf/A571726D0927B58F832572C200572F11/\\$File/NT000351BA.pdf](http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bds/bds.nsf/A571726D0927B58F832572C200572F11/$File/NT000351BA.pdf)>. Acesso em: dez. 2011.

ITMF - **Internacional Textiles Manufactures Federation**. Disponível em: <http://www.itmf.org/cms/media/brazil/Brazil_TW.pdf>. Acesso em 20 jan. 2012.

JAKES, K.A. *et al.* **Factors Affecting Seam Flammability**. University of Maryland, 1974. Disponível em: <<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=teh&AN=32175227&lang=pt-br&site=ehost-live>>Factors Affecting Seam Flammability. Acesso em: 12 nov. 2011.

JAKES, K.A., SMITH B.F., SPIVAK S.M. **The Influence of Thread Mass and Fabric Mass on Seam Flammability**. University of Maryland, 1975. Disponível em : <<http://trj.sagepub.com/content/45/12/830>>. Acesso em: 3 dez. 2012.

JOHNSON, M. J., MOORE, E.C. **Apparel product development**. 2nd. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2001.

KADOLPH, S.J.; LANGFORD, A.L. **Textiles**. New Jersey: Ed. Prentice Hall, 1998.

KAHLMAYER-MERTENS, R. S. *et al.* **Como Elaborar Projetos de Pesquisa: Linguagem e Método**, Rio de Janeiro: FGV Editora, 2007.

LAING,R.M.,WEBSTER, J. **Stiches and Seams**. Manchester: The Textile Institute, 1998.

LENZING. **Fibers**. Disponível em: <http://www.lenzing.com/fasern/lenzing-fr.html> e <<http://www.lenzing.com/en/fibers/lenzing-fr/applications/protective-wear.html>> e <<http://www.lenzing.com/en/fibers/lenzing-fr/protection-from-heat.html>>. Acesso 10 dez. 2011.

MIRAFATAB, M. Technical fibres. *In*: Horrocks A.R.; Anand S.C. **Handbook of technical textile**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2000.

MIYADA, F. *et al.* **Tratamento Anti-Chama em Materiais Têxteis**. Dissertação – Universidade de São Paulo; Curso de Têxtil e Moda (EACH-USP). São Paulo, 2010. Disponível em:<http://api.ning.com/files/89jBpkoFtF0*Ir3zN8nZVEMexP-aON*NMWfBrfUFzP1Nod-HCBIT5vNwAGvLdxK-hWFBV*p6xSXGUbkfQjYltnbUfzml47a/ANTICHAMA.pdf> Acesso em: 20 jun. 2011.

MONTGOMERY, D.C., **Introduction to statistical quality control**. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2009.

MTE - Ministério do Trabalho e Emprego – **Manual de orientação para especificação das vestimentas de proteção contra os efeitos térmicos do arco elétrico e fogo repentino.** Disponível em: <<http://portal.mte.gov.br>> Acesso em 20 mai. 2012.

ORGAN NEEDLE Co Ltd. **User Catalogue- Sewing Machine Needles**, [S.l.:s.n.], 2009.

PEREIRA, M. A., **Manual de têxteis técnicos – classificação, identificação e aplicações.** Associação Brasileira das Indústrias de Não-tecidos e Tecidos Técnicos (ABINT), São Paulo, 2003.

SANDERS, R. R. **Effect of seaming thread lubricants on flammability performance of polyester fabrics.** Tennessee Eastman Co., Kingsport 1973. Disponível em : <<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=teh&AN=32177317&lang=pt-br&site=ehost-live>>Effect of Seaming Thread Lubricants On Flammability Performance of Polyester Fabrics.Acesso em: 12 nov. 2011.

SCOTT, R. A. **Textiles for protection.** Cambridge: Woodhead Publishing , 2005.

SEITO *et al.* **A segurança contra incêndio no Brasil.** São Paulo: Projeto, 2008.

SILVA, A. **A organização do trabalho na indústria do vestuário: uma proposta para o setor de costura.** Dissertação de Mestrado. Florianópolis: Faculdade de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

SIMPSON, W.S.; CRAWSHAW, G.H. **Wool: Science and technology.** Cambridge: Woodhead Publishing , 2002.

SMILGYS, J; CASANOVA, R. Indicadores do mercado de EPIs. **Caderno Informativo de Prevenção de Acidentes CIPA**, São Paulo, Ano XXXII, nº 373, p 40 – 43, dez. 2010.

SOLINGER, J. **Apparel manufacturing analysis.** New York: Textile Book, 1990

STAMPER, A.; SHARP, S. H.; DONNELL, L. B. **Evaluating apparel quality.** 2nd ed. New York: Fairchild, 2005.

VILLA, K.M; KRASNY, J.F. **Small-scale vertical flammability testing for fabrics.** Maryland: Fire Safety Journal, 1990.

WIKIMEDIA. **Tetraedro do fogo; Formas de transmissão de calor.** Disponível em <http://commons.wikimedia.org/wiki/P%C3%A1gina_principal> Acesso em 14 out. 2012.

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

YAMASHITA, T.M., SANCHES, R.A. A influência da pré tensão no número de torções em fios de algodão. **Revista Textília**, n. 45, p. 34-42. 2002.

YOUNG, H. D. **Física II: Termodinâmica e Ondas**, São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2008.

ENTREVISTAS

CAMPANATTI, Gilberto, **GCTex Assessoria Comercial Ltda.** São Paulo, SP em nov. 2011.

TRICTA, Osmar, **Ideal Work**, Gerente Industrial. Jandira, SP em set. 2011.

VALENTIN, Cristina, **Grupo Industrial Iturri**, Divisão Vestuário. Atibaia, SP em set. 2011.

SITES INSTITUCIONAIS

3M DO BRASIL. **Segurança Pessoal**. Disponível em: <http://solutions.3m.com.br/wps/portal/3M/pt_BR/SegPessoal/?WT.mc_id=www.3m.com/br/refletivos>. Acesso 10 jan. 2012.

CEDRO TÊXTIL. **Profissional**. Disponível em: <<http://www.cedro.com.br/br/profissional/cedrotech.asp>> Acesso em 10 nov. 2011.

COMMANDERS UNIFORMES PROFISSIONAIS. Disponível em: <<http://www.commanders.com.br/site/index.php?j=produtos&action=fotos&foto=52>>. Acesso em 10 set. 2011.

CONMETRO – Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Brasília. Resolução nº6. **Regulamento Técnico de Etiquetagem de Produtos Têxteis**. Brasília, 2005.

DUPONT. **Personal Protection**. Disponível em: <http://www2.dupont.com/Personal_Protection/pt_BR/products/nomex/>. Acesso em 11 nov. 2011.

FUNDACENTRO. **Manual de combate a incêndio**. Disponível em: <http://www.fundacentro.gov.br/dominios/ctn/anexos/cdNr10/Manuais/M%C3%B3dulo02/8_Manual%20de%20Prote%C3%A7%C3%A3o%20e%20Combate%20a%20Inc%C3%AAndio.s.pdf> Acesso em 22 jan. 2012.

IDEAL WORK. **Vestimentas de proteção.** Disponível em:
<http://www.idealwork.com.br/vestimentas_de_protecao.asp> Acesso em 18 jan.2012.

SANTANENSE. **Workwear.** Disponível em:
<<http://www.santanense.com.br/workwear/confeccoes-topfire.aspx>>. Acesso em 10 set. 2011.

TAVEX. **Workwear.** Disponível em:
<http://www.tavex.com.br/2677/workwear/acabamentos_especiais/retardante_a_chama.html>. Acesso em 12 dez.2011.

TENCATE PROTETIVE FABRICS. **Protective Fabrics.** Disponível em: <
<http://www.tencate.com/6100/TenCate/TenCate-Protective-Fabrics/Region-South-America/Portuguese/Portuguese-Protective-Fabrics-South-America/Produtos/Tecasafe-Plus>>. Acesso em 12 dez.2011.

ANEXO

Normas e ensaios aplicáveis em vestimentas de proteção ao calor e fogo, em arco elétrico e em respingos de metal, entre outras.

Fogo repentino/respingos de metais /solda

NFPA 2112– Ed. 2007 – Norma de vestimentas resistente a chama para proteção de usuários na indústria contra fogo repentino

NFPA 1977/1998 - Proteção contra Incêndios Florestais (Risco Secundário)

ISO 13506 – Método de Ensaio em Vestimenta de Proteção contra calor e chama. Previsão para roupa completa e ferimentos de queimadura usando manequim instrumentado

ISO 15025 – Vestimenta de Proteção contra calor e chama – Método de teste para chama limitada

ISO/TR 2801 – *Technical Report*. (Similar a NFPA 2113) – Vestimenta pra Proteção contra calor e chama – Recomendações gerais de seleção, cuidado e utilização da vestimenta

ISO 9151 – Roupa de Proteção contra Calor e Fogo – Determinação de Transmissão de Calor e exposição ao Fogo

ISO 11611-2007 – Vestimenta de Proteção para uso em solda e processos similares

ASTM D 6413 – *Standard Test Method for Flame Resistance of Textiles (Vertical Test)* – Flamabilidade Vertical.- 0, 50 e 100 lavagens

ASTM F 1930-11 *Standard Test Method For Evolution of Flame Resistant Clothing for Protection Against Flash Fire Simulations Using an Instrumented Manikin* (Manequim Instrumentado)

F2733 -09 *Standard Specification for Flame Resistant Rainwear for Protection Against Flame Hazards , afterflame time, fire, flame resistant* – (Proteção antichama – capa de chuva)

ANSI Z 87.1-2003 - Requisitos para a concepção, construção, teste e utilização de dispositivos de proteção para os olhos, incluindo as normas para o impacto e resistência à penetração

EN 531 / 470 - Normas Europeias de Flamabilidade e Arco Elétrico

ASTM F 955 – Salpicadura de Metais Fundidos e Soldadura

BS EN 1149-1:1996 - *Protective clothing. Electrostatic properties. Surface resistivity (test methods and requirements)*

BS EN 1149-2:1997 - *Protective clothing. Electrostatic properties. Test method for measurement of the electrical resistance through a material (vertical resistance)*

Arco elétrico

NFPA 70E - Edição 2009– Norma de segurança em serviços em eletricidade

IEC 61482-1-1– Norma Internacional – Materiais Resistentes a chama para vestimentas de proteção térmica a trabalhadores – Riscos Térmicos de Arco Elétrico (parte1)

IEC 61482-1-2 - Vestimentas de Proteção contra perigos térmicos provenientes de arco elétrico – *Box Test* (Parte 1 e 2)

IEC 61482-2 – Vestimenta para Riscos de Arco Elétrico

ASTM F1959 -06 *Standard Test Method - Standard Test Method for Determining the Arc Rating of Materials for Clothing* (Determinação da Energia Incidente – 0, 50, 100 e 150 lavagens)

ASTM F 2621 -06 – *Standard Practice for Determining Response Characteristics and Design Integrity of Arc Rated Finished Products in a Electric Arc Exposure* - Padrão de Prática para Determinação de características de resposta e Integridade do design e aviamentos em uma exposição de arco elétrico

ASTM F 2178 -08 – *Standard Test Method for Determining the Arc Rating of Face Protective Products* - Método de teste Padrão para determinação de Arco Elétrico Proteção Faciais)

ASTM F 1891 – Determinação de Energia Incidente para capa de chuva

ASTM F 1506-10a – *Standard Performance Specification for Flame Resistant Textile Materials for Wearing Apparel for Use by Electrical Workers Exposed to Momentary electric Arc And Related Thermal Hazards:*

Normas de gestão

NFPA 2113 / Edição 2007 – NFPA 2113 – Norma seleção, cuidados, uso e manutenção de vestimentas resistente a chama para proteção na indústria contra fogo repentino

ISO 11612-2008 – Vestimentas de Proteção Contra Calor e Chama

OSHA 29 CFR 1910.269 – Segurança Ocupacional e Adm. Da Saúde na Geração de Força Elétrica , Transmissão e Distribuição.

CGSB 155.20 - Organização Canadense de Padronização

ABNT NBR 13377 – Medidas do Corpo Humano para Vestuário padrões Referenciais.

Normas regulamentadoras do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE):

NR- 10 - Portaria Ministerial n.º 3.214 de 08.06.78 - Instalações e Serviços em Eletricidade

NR- 06 - Equipamento de Proteção Individual

NR- 31 - Norma Regulamentadora e Segurança e Saúde do Trabalho de Agricultura, Pecuária, Silvicultura, Exploração Florestal e Agricultura.

Ensaio de conforto, substâncias tóxicas e meio ambiente:

ASTM D 737-96 Ensaio da Permeabilidade do Ar de Tecidos Têxteis

ISO 9073-6 ou JIS L 1096 Absorção de Água por Capilaridade

AATCC 79 - Absorção Superficial de Água - Método da Gota

ASTM E 96 - Permeabilidade ao Vapor de Água

ASTM D 737-96 - Ensaio da Permeabilidade do Ar de Têxteis

Selo de Qualidade - Certificação OEKO-TEX Standard 100 – ISO 17050-1 (Garante que o tecido não contém substâncias que possam ser nocivas à pele e não agride o meio ambiente)

Ensaaios físicos e químicos

ASTM D 5034-95 Força de Ruptura e Alongamento dos tecidos – Teste GRAB

ABNT NBR 14727 – Resistência à ruptura – GRAB

ASTM D 1424 Resistência a Ruptura por Aparato Tipo Queda do Pêndulo -teste ELMENDORF.

ABNT NBR 11912 - Resistência à ruptura e porcentagem de alongamento – STRIP

ASTM D 3886-99 – Método de ensaio em têxteis de resistência a abrasão

ASTM D 4966 – Método de ensaio em têxteis de resistência a abrasão (martindale)

ASTM D 3786 – Resistência ao Estouro (Malha)

ABNT NBR 10591 – Gramatura

ASTM D 3776 – Gramatura

ABNT NBR 12477 – Taxa convencional de condicionamento – REGAIN

ABNT NBR 12546 – Ligamento

ABNT NBR 10320 - ABNT NBR 10320 – Materiais Têxteis – determinação das alterações dimensionais de tecidos planos e malhas – lavagem em máquina doméstica e automática.

ABNT NBR 11914 – Análise quantitativa

ABNT NBR ISO 105 B-02 - Solidez da cor a luz

ABNT NBR 10188 - Solidez da cor a ferro quente (Seco, Umido e Molhado)

ABNT NBR ISO 105-C06:2006 – método C1-M- Solidez da cor à Lavagem Doméstica e Comercial

ABNT NBR ISO 105 E-04 - Solidez da cor ao suor ácido e alcalino

ABNT NBR ISO 105 X-12 - Solidez da cor a fricção

ABNT NBR 9398 – Solidez da cor a lavagem a seco

ASTM D 2261 – Resistência ao rasgo

ABNT NBR 9925 - Esgarçamento da Costura

AATCC 96 - Lavagem Comercial

ABNT NBR 10588 – Número de fios por centímetro

ASTM D 1777 - Espessura

Ensaio em aviamentos

NFPA 2112-07 – *Federal Test Method Standard – No. 191^a, method 1534* para linha antichama

NBR – 15292 - Vestuário de Segurança de Alta Visibilidade para faixa retrorrefletiva

ASTM E 808, 809 - Método de medição para avaliação de características fotométricas de materiais e dispositivos retrorrefletivos.

ASTM E 810 - Método de ensaio para a determinação do coeficiente de retrorreflexão de películas refletivas.

ASTM E 204-98/2007 – Determinação do costado de aramida por infravermelho

NFPA 1971 - *Standard on Protective Ensembles for Structural Fire Fighting and Proximity Fire Fighting, 2007 Edition developed by National Fire Protection.*

ASTM D 6413 -99 – *Standard Test Method for Flame Resistance of Textiles (Vertical Test)* –
Flamabilidade Vertical – 0, 50 e 100 lavagens

ISO 6330 Método 2A. – Procedimento de lavagem doméstica em refletivos (procedimento 8.4.5.1 da norma NBR 15292).

ISO 15797 – Procedimento de lavagem industrial em refletivos (procedimento 8.4.5.3 da norma NBR 15292).