

A RELAÇÃO ENTRE CONFORTO E DESEMPENHO EM VESTIMENTAS DE PROTEÇÃO ANTICHAMA

 <https://doi.org/10.56238/arev7n5-375>

Data de submissão: 26/04/2025

Data de publicação: 26/05/2025

Larissa Stephanie de Souza Malagó

Pós-graduada - MBA em Varejo Físico e Online
Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz da USP
E-mail: larissamtextil@gmail.com

Paulo Pedro Maria Alfieri

Mestre em Engenharia Têxtil
Centro Universitário da FEI
E-mail: p_alfieri@hotmail.com
ID Lattes:0742257169737141

Camilla Borelli

Doutora em Engenharia Química
Escola de Artes, Ciências e Humanidades da USP
E-mail: cborelli@usp.br
ORCID: 0000-0002-1579-0039
ID Lattes:3439800498519096

RESUMO

O presente artigo investiga a relação entre conforto e desempenho mecânico em vestimentas de proteção antichama, considerando os impactos fisiológicos e táteis do uso desses equipamentos no ambiente industrial. A partir da caracterização de três tecidos com diferentes tecnologias antichama, foram realizados ensaios segundo normas ASTM, AATCC e ISO para avaliar desempenho mecânico (abrasão e rasgo) e conforto (físico e termofisiológico). O tecido com fibras antichama inerentes obteve os melhores resultados em termos de conforto e durabilidade. Como novidade, o estudo propõe uma discussão crítica baseada na literatura internacional e apresenta sugestões de avanço metodológico para futuras pesquisas.

Palavras-chave: Conforto. Vestimentas de proteção. Antichama.

1 INTRODUÇÃO

O uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) é regulamentado pela Norma Regulamentadora NR6 e constitui uma exigência legal em diversas atividades profissionais. No entanto, a adesão ao uso contínuo desses equipamentos é frequentemente comprometida por sensações de desconforto relatadas pelos próprios trabalhadores. Em muitos casos, o incômodo gerado pelo EPI é determinante para sua rejeição, mesmo quando sua utilização é obrigatória. Moura (2006) aponta que os trabalhadores tendem a evitar o uso de EPIs principalmente por causa do desconforto térmico e da limitação de mobilidade. Resultados semelhantes foram obtidos por Monquero et al. (2009), que identificaram como principais motivos de recusa o excesso de calor, dificuldade para respirar e movimentos restritos durante o uso das vestimentas.

Segundo dados do AEAT 2023 (Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho da Previdência), elaborados pelo SEE-Fundacentro (Serviço de Epidemiologia e Estatística), 83,65 acidentes do trabalho ocorrem por hora no Brasil, e 2.007,54 por dia, totalizando 732.751 casos.

Esses dados alarmantes evidenciam que a simples existência de normas não é suficiente: é necessário compreender os fatores que afetam a aceitação e o uso real dos equipamentos de proteção no cotidiano.

Tradicionalmente, o principal critério para seleção de materiais em vestimentas de proteção tem sido o desempenho técnico, especialmente quanto à resistência térmica e mecânica. Contudo, essa abordagem isolada pode ser insuficiente. Scott (2005) destaca que um EPI com desempenho técnico elevado será rejeitado pelo usuário se causar desconforto ou comprometer a capacidade funcional, como ocorre no caso de luvas cirúrgicas que, mesmo oferecendo excelente proteção, podem ser descartadas se interferirem na precisão do profissional. Portanto, critérios como conforto, ergonomia, durabilidade, facilidade de manutenção e adequação ao design da tarefa devem ser ponderados na seleção de vestimentas de proteção.

No contexto da proteção contra riscos térmicos, como o arco elétrico, é essencial que os tecidos utilizados nas vestimentas apresentem propriedades antichama eficazes. Existem, atualmente, duas principais abordagens tecnológicas para isso: o uso de acabamentos químicos retardantes de chama aplicados a fibras naturais e sintéticas, e a aplicação de fibras com resistência intrínseca à combustão, como as aramidas e modacrílicas (BAJAJ, 2000; ERTEKIN; KIRTAY, 2014).

Diante desse cenário, este artigo propõe uma análise quantitativa de tecidos antichama com diferentes tecnologias aplicadas, investigando como essas variações impactam nos parâmetros de conforto físico e termofisiológico. Os dados obtidos são correlacionados com os requisitos normativos de desempenho, visando fornecer subsídios técnicos que auxiliem profissionais da área têxtil e de

segurança do trabalho na tomada de decisões mais eficazes e humanizadas na seleção de materiais para vestimentas de proteção.

1.1 OBJETIVO GERAL

Esse trabalho tem como objetivo estudar tecidos com tecnologias antichama, e a partir desse estudo, avaliar os parâmetros de desempenho, como resistência e durabilidade, e compará-los com os parâmetros de conforto, como: lisura, caimento, permeabilidade ao ar, transportes de umidade e vapor.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Obter os confortos fisiológico e físico de forma quantitativa, através de ensaios, pois a sensação de desconforto pode ser determinante na utilização correta da vestimenta de proteção.

Relacionar os confortos fisiológico e físico com a segurança do trabalho, pois a utilização da vestimenta de proteção é obrigatória (NR 6).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A segurança do trabalho, enquanto campo técnico e científico, surgiu como resposta aos altos índices de acidentes e à escassez de mão de obra durante a Revolução Industrial. Atualmente, é compreendida como uma ciência voltada à antecipação, reconhecimento, avaliação e controle de riscos ocupacionais capazes de comprometer a saúde, o bem-estar e a produtividade dos trabalhadores. Segundo Chiavenato (2009), a segurança do trabalho trata-se de um conjunto de medidas técnicas, educacionais, médicas e psicológicas utilizadas para prevenir acidentes e eliminar condições inseguras do ambiente de trabalho.

Nesse contexto, o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), regulamentado pela Norma Regulamentadora NR6, constitui a última barreira entre o trabalhador e os riscos presentes no ambiente de trabalho. (CUNHA, 2006).

No entanto, a prática revela um desafio persistente: a adesão ao uso desses equipamentos é frequentemente comprometida por desconfortos relatados pelos trabalhadores, como restrição de movimentos, acúmulo de calor e incômodos táticos. Estudos mostram que o conforto é um dos principais fatores que influenciam a aceitação e o uso contínuo dos EPIs, e que a percepção de proteção nem sempre supera a sensação de desconforto, especialmente quando os riscos não são percebidos como iminentes. (LOPES NETO; BARRETO, 1996).

Assim, é essencial que os EPIs apresentem não apenas desempenho técnico adequado, mas também características que favoreçam sua usabilidade cotidiana.

Entre os riscos ocupacionais, destaca-se o arco elétrico, que pode atingir temperaturas superiores a 20.000 °C e provocar queimaduras severas. Para enfrentar esse tipo de ameaça térmica, normas como a NR10 no Brasil e a americana NFPA 70E estabelecem critérios rigorosos quanto à resistência à chama, dissipação de calor e integridade estrutural das vestimentas.

Segundo Montenegro e Santana (2012), o trabalhador consegue ser mais receptível ao uso do EPI a medida em que o referido seja mais confortável, tornando sua utilização mais agradável. Para isso, os equipamentos devem ser práticos, ter alta proteção, ser de fácil manutenção, ser fortes e duradouros. De maneira geral, a adesão ao uso dos EPIs traz benefícios à saúde do trabalhador como a obtenção de maior produtividade e a diminuição do número de licenças relacionadas a saúde do trabalhador. Lembrando que os EPIs devem ser adequados às necessidades do procedimento, sendo sempre avaliado em suas aquisições outros fatores como o conforto, o tamanho do equipamento e o tipo de risco envolvido para não resultar em despesas para a empresa e comprometer a execução do procedimento. Em contrapartida a não adesão aos equipamentos, quando necessário, pode resultar em prejuízos afetando as relações psicossociais, familiares e de trabalho, contribuindo para que os acidentes de trabalho continuem ocorrendo (BALSAMO; FELLI, 2006; MARZIALE; NISHIMURA; FERREIRA, 2004; TAVARES; SALES, 2007).

A escolha adequada dos tecidos é, portanto, crucial para garantir não apenas a proteção imediata, mas também a integridade física do trabalhador em caso de acidente.

A maneira como o material têxtil se comporta em relação à chama pode ser classificada como: combustível, inflamável e incombustível. Os incombustíveis são resistentes à chama, já os combustíveis não mantêm a chama porque fazem parte do tetraedro do fogo e quando o combustível extinguir a chama se apaga, e os inflamáveis são modificados e mantém a chama (SEITO, 2008).

Os tecidos utilizados em vestimentas de proteção antichama podem ser classificados em dois grupos principais: os confeccionados com fibras intrinsecamente resistentes ao fogo e os que recebem tratamentos químicos retardantes de chama. No primeiro grupo, destacam-se as fibras para-aramidas, como Kevlar® e Twaron®, que apresentam elevada resistência à tração, ao calor e à degradação térmica, com temperatura de decomposição superior a 500 °C. As meta-aramidas, como Nomex®, oferecem boa resistência térmica e baixa inflamabilidade, sendo autoextinguíveis quando removidas da fonte de calor. As fibras modacrílicas, como as da linha Kanecaron®, apresentam características antichama permanentes, elevada resistência química e boa miscibilidade com outras fibras, o que as torna adequadas para a confecção de tecidos híbridos com boa estética e conforto (ERTEKİN; KIRTAY, 2014).

No caso das fibras naturais, como o algodão, a resistência ao fogo é obtida por meio de tratamentos químicos específicos (MIYADA, 2010). Os acabamentos antichama podem ser duráveis ou não duráveis, sendo os primeiros preferidos para aplicações industriais devido à sua estabilidade após múltiplas lavagens. O acabamento com THPC (tetrahidroximetilfosfônio clorado) é amplamente utilizado em tecidos de celulose, promovendo a formação de ligações estáveis com as fibras, especialmente quando aplicado pelo processo pad-dry-cure. (SCHINDLER; HAUSER, 2004). Outras técnicas envolvem o uso de amônia gasosa para polimerização interna da fibra (como no Proban®), ou ainda métodos de aplicação superficial como o back-coating. Os acabamentos não duráveis, embora eficazes em curto prazo, perdem suas propriedades após exposição à água ou lavagens, sendo mais indicados para artigos descartáveis ou de uso pontual.

A estrutura do tecido, a composição das fibras e os acabamentos aplicados influenciam diretamente nas propriedades térmicas e de gerenciamento de umidade das vestimentas. Dentre as propriedades mais relevantes para o conforto e desempenho térmico, destacam-se a resistência térmica (R_{ct}), a resistência ao vapor de água (R_{et}), a condutividade térmica, a capacidade de absorção e a capilaridade. Fibras com alto regain, como a viscose, favorecem a absorção de suor, mas também tendem a reter umidade, aumentando o peso da peça e promovendo sensação de frio em ambientes ventilados. Já fibras sintéticas de baixo regain, como o poliéster, oferecem maior resistência térmica, mas podem dificultar a evaporação do suor. A porosidade e a densidade do tecido também exercem papel determinante na ventilação e na retenção de calor, além do tipo de estrutura (malha ou tecido plano) e da gramatura (BORELLI, C.).

Segundo Slater, (1996), o conforto, no âmbito das vestimentas de proteção, é uma qualidade multifacetada que engloba aspectos físicos, fisiológicos e psicológicos. O conforto físico está relacionado às sensações provocadas pelo contato direto do tecido com a pele, abrangendo variáveis como toque, flexibilidade, cimento e ajuste da modelagem. Já o conforto fisiológico refere-se à interferência da vestimenta nos mecanismos termorreguladores do corpo humano — como a condução, convecção, radiação e evaporação — e depende da capacidade do tecido de manter um balanço térmico adequado. A ausência de uma boa gestão de umidade, por exemplo, pode causar acúmulo de suor, aderência do tecido à pele e diminuição do isolamento térmico, resultando em desconforto térmico e fadiga. O conforto psicológico, por sua vez, está ligado à aparência, ao estilo, à moda e à aceitação social do vestuário, sendo também uma variável importante para a adesão ao uso, especialmente em contextos culturais e organizacionais específicos (SLATER, 1986).

O microclima formado entre o corpo e a vestimenta também desempenha papel essencial no conforto térmico. Camadas de ar com espessura inferior a 12 mm favorecem a condução e radiação,

enquanto camadas mais espessas promovem convecção natural, facilitando a ventilação. A geometria do vestuário, o ajuste ao corpo e a presença de pregas ou folgas influenciam diretamente na eficiência desse microclima. Assim, o design da peça deve considerar tanto os requisitos normativos de proteção quanto os elementos ergonômicos que favorecem a dissipação térmica (BROEGA, 2010; BAJZIK, 2012).

A avaliação do conforto pode ser realizada por métodos subjetivos, como escalas de sensação térmica e entrevistas com usuários, ou por métodos objetivos, como os ensaios com manequins térmicos e a aplicação das normas ISO 11092, ASTM D737 e AATCC TM195. Além disso, modelos preditivos estudados por Wang (2019), como o PMV/PPD de Fanger ou os modelos segmentados de Fiala permitem simular a resposta térmica do corpo humano diante de diferentes condições ambientais e configurações de vestuário. Recentemente, simulações digitais com uso de softwares como Theseus-FE e Modaris vêm sendo utilizadas para prever regiões de acúmulo de calor, falhas de ventilação e impacto do ajuste da peça no desempenho térmico.

Portanto, o desenvolvimento de vestimentas de proteção antichama deve ir além da resistência técnica ao fogo e considerar o conforto como um critério técnico de igual importância. A integração entre engenharia têxtil, fisiologia humana, design ergonômico e percepção do usuário é essencial para produzir EPIs que não apenas protejam, mas sejam utilizados de forma consistente, contribuindo efetivamente para a segurança e o bem-estar no ambiente de trabalho.

3 METODOLOGIA

A pesquisa foi conduzida com abordagem experimental laboratorial, com o objetivo de avaliar o desempenho e o conforto físico e termofisiológico de três tecidos com propriedades antichama. O estudo envolveu a caracterização físico-mecânica dos tecidos, seguida da aplicação de ensaios normatizados para aferição de propriedades relacionadas ao desempenho (durabilidade mecânica) e ao conforto (sensações térmicas e táteis).

3.1 MATERIAIS

Foram utilizados três tecidos com diferentes composições e tecnologias antichama:

Tecido 1: 100% algodão com acabamento químico retardante à chama.

Tecido 2: 88% algodão e 12% poliamida com acabamento retardante à chama.

Tecido 3: 48% modacrílica, 37% algodão e 15% aramida com propriedades antichama inerentes às fibras.

Todos os tecidos atendem às normas NFPA 2112, NFPA 70E, IEC 61482-2 e ABD 00031 (emissão de gases tóxicos), e possuem o selo OEKO-TEX® Standard 100, assegurando isenção de substâncias nocivas à saúde.

Antes da realização dos ensaios, os tecidos passaram por lavagem padronizada em laboratório, com sabão neutro e múltiplos enxágues, com o objetivo de eliminar resíduos químicos que poderiam interferir nos resultados.

3.2 PROCEDIMENTOS

Os ensaios foram divididos em três blocos principais: caracterização física, testes de desempenho e testes de conforto.

a) Caracterização física dos tecidos

Esses ensaios permitem estabelecer a base comparativa entre os tecidos, isolando variáveis que influenciam tanto desempenho quanto conforto.

- Densidade de fios: realizada conforme a norma ASTM D3775, com contagem de urdume e trama por desfiamento em corpos de prova de 5×5 cm, utilizando lupa e escala milimétrica.
- Gramatura: determinada conforme ASTM D3776, a partir de cinco amostras cortadas com área de 100 cm^2 , pesadas em balança analítica.
- Título dos fios: medido conforme ASTM D1059, com amostras de 50 cm, pesadas com pré-tensão controlada de 0,25 cN/tex.
- Torção dos fios: executada em torcímetro segundo ASTM D1422 e D1423, com pré-tensão ajustada proporcionalmente ao título do fio (0,5 cN/tex).

b) Ensaios de desempenho

Com foco em resistência mecânica, os ensaios visaram simular o desgaste decorrente do uso prolongado dos tecidos.

- Resistência à abrasão: conforme ASTM D4966 (método Martindale), com avaliação por número de ciclos até a ruptura de fios e até a alteração visual (escala cinza).
- Resistência ao rasgo: segundo ASTM D1424, utilizando o aparelho Elmendorf, com cinco corpos de prova no sentido do urdume e cinco na trama ($10 \times 7,5$ cm).

c) Ensaios de conforto termofisiológico

Estes ensaios avaliam a capacidade do tecido em permitir a dissipação do calor e da umidade gerados pelo corpo humano.

- Transporte de umidade (líquida): realizado com o equipamento Moisture Management Tester (MMT), segundo norma AATCC TM195. Foram analisados parâmetros como taxa de absorção, tempo de molhamento e capacidade de transporte bidirecional.
- Transporte de vapor: conduzido no equipamento SMTEX, simulando a temperatura corporal (36,5 °C), com coleta de dados térmicos relacionados à respirabilidade do tecido.

d) Ensaios de conforto físico

Esse testes abordam aspectos sensoriais e táteis que influenciam a percepção de conforto.

- Caimento (maleabilidade): avaliado pelo método cantilever, segundo a deformação angular do tecido ao ser suspenso.
- Lisura (atraito): mensurada por meio de ensaio de atrito superficial com registro da força de resistência à movimentação sobre a pele.
- Espessura: aferida com paquímetro de alta precisão em cinco pontos distintos por amostra, conforme especificações do tecido.

4 RESULTADOS

a) Caracterização dos Tecidos

Os dados da tabela 1, referem-se às características físicas básicas dos tecidos estudados, antes da aplicação dos ensaios de desempenho e conforto.

Tabela 1. Caracterização dos tecidos

	Tecido 100% algodão		Tecido 88% algodão 12% poliamida		Tecido 48% modacrílica 37% algodão 15% aramida	
	TRAMA	URDUME	TRAMA	URDUME	TRAMA	URDUME
Densidade (fios/cm)	22	42	22	41	18	36
Título (Tex)	12,5	13,2	12,4	16,7	11,3	16,9
Torção (torções/m)	528	681	189	294	321	456
Gramatura (g/m ²)	309,8		283,9		255,3	

Fonte: Autores

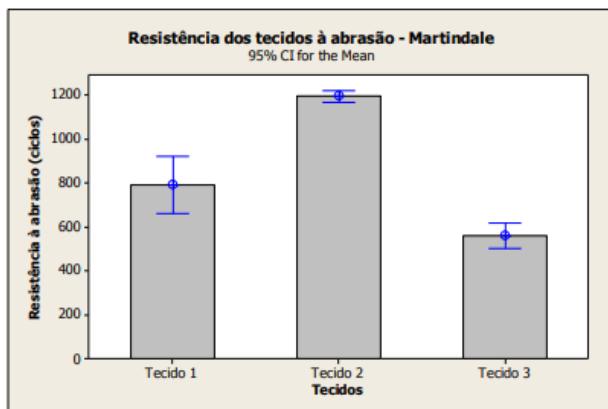
b) Ensaios de Desempenho

Com foco em resistência mecânica, os ensaios visaram simular o desgaste decorrente do uso prolongado dos tecidos.

• **Resistência à abrasão**

Os ciclos da tabela de resistência à abrasão são referentes o número de ciclos até a ruptura de 2 ou mais fios.

Gráfico 1 resistência dos tecidos à abrasão – Martindale



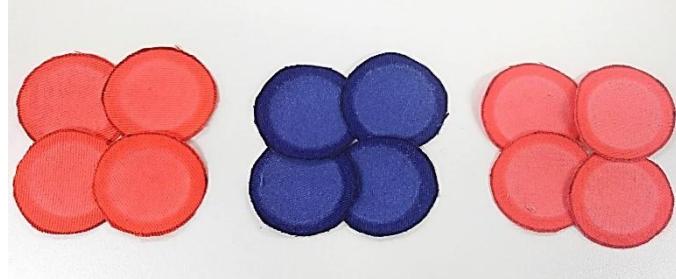
Fonte: Autores

Como pode ser observado no gráfico 1, os três tecidos obtiveram resultados bem distintos ($p=0,000$) onde o tecido 2 foi o que melhor se saiu no ensaio de resistência à abrasão, isso pode ter ocorrido pelo fato dele ter poliamida em sua composição. As poliamidas apresentam um bom desempenho à abrasão devido a sua estrutura micelar com dobramento de cadeias, a flexibilidade molecular e as ligações intramoleculares, favorecendo a dissipação da energia transferida pelo atrito.

O tecido 3 mesmo sendo um tecido que possui fibras antichama inerentes não se saiu bem como o esperado, isso deve ter ocorrido devido a baixa densidade de fios, torções em excesso promovendo o cisalhamento ou até mesmo pelo fato de ter em sua composição uma porcentagem de fibras de algodão, onde na tentativa de aumentar o conforto acabou causando danos na resistência à abrasão do tecido.

Foi realizado também uma análise na aparência dos tecidos após 400 ciclos. Os três tecidos obtiveram pontuação 2 com a utilização da escala cinza. (Na figura 2, estão os tecidos 1,3 e 2, respectivamente).

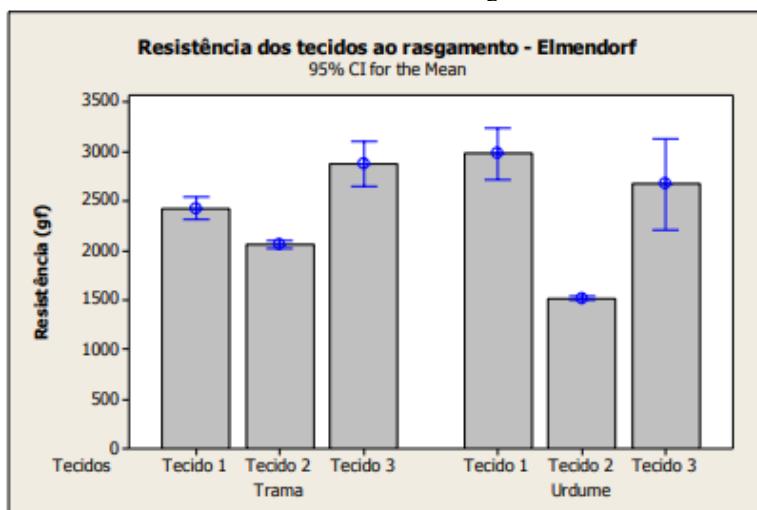
Figura 2. Análise da aparência dos tecidos no ensaio de abrasão



Fonte: Autores

- **Resistência ao rasgo**

Gráfico 2- Resistência dos tecidos ao rasgamento – Elmendorf



Fonte: Autores

Como pode ser observado no gráfico 2, o tecido 3 obteve um bom desempenho, isso deve ter ocorrido pelo fato dele possuir menor gramatura entre os três tecidos e menor densidade de fios ocasionando menos pontos de cisalhamento. Pelo gráfico de resistência ao rasgo, pode-se notar que houve diferenças significativas na resistência dos três tecidos ($p=0,000$), onde o tecido 2 obteve menor resistência em ambos os sentidos (urdume e trama).

- **Transporte de umidade - MMT**

Para melhor análise dos resultados, foi elaborado a tabela 2, com as médias dos resultados de tempo de molhamento, máximo raio molhado e velocidade de difusão, pois esses são os principais

pontos para avaliação do conforto fisiológico fornecido por cada tecido, ou seja, dessa forma a avaliação foi mais simples e objetiva.

Tabela 2 - Resumo dos dados obtidos do aparelho MMT

Índice		Tecido 100% algodão	Tecido 88% algodão 12% poliamida	Tecido 48% modacrílica 37% algodão 15% aramida
Tempo de molhamento (s)	Superfície superior	Wtt	10,56	11,96
	Superfície Inferior	Wtb	40,63	20,79
Máximo raio molhado (mm)	Superfície superior	Mwrt	12,00	10,00
	Superfície Inferior	Mwtb	11,00	12,00
Velocidade de difusão (mm/s)	Superfície superior	Sst	0,59	0,55
	Superfície Inferior	Ssb	0,32	0,43

Fonte: Autores

A superfície superior do tecido está posicionada na direção do sensor superior do aparelho MMT e simula o comportamento do lado do tecido em contato com a pele, ou seja, é a parte interna do tecido. A superfície inferior está posicionada na direção do sensor inferior do aparelho MMT e simula o comportamento do lado externo do tecido em contato com o ambiente.

O tecido 3 possui menor porcentagem de fibras de algodão, ou seja, o seu transporte de líquido é feito em sua totalidade por capilaridade já que as fibras de aramida e modacrílica não têm a capacidade de absorção de umidade.

Como pode ser observado na tabela 2 de resultados do aparelho MMT, esse fato afeta as velocidades de difusão interna e externa e os tempos de molhamento interno e externo, pois a fibra de algodão tem grande afinidade com a água promovendo a formação de pontes de hidrogênio, com isso a água não é transportada uniformemente, ocasionando maior demora na difusão. Logo, o tempo de molhamento e a velocidade de difusão estão coerentes com a porcentagem de algodão encontrada na composição de cada tecido.

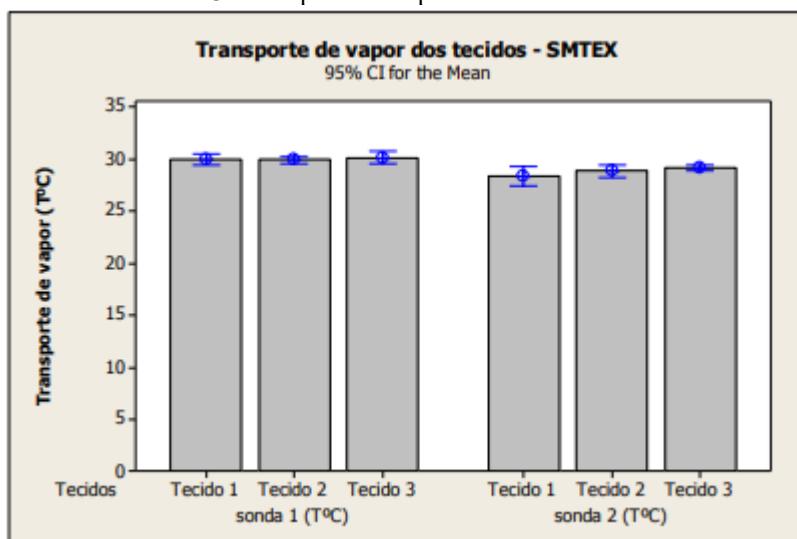
Pode-se observar que o tecido 3 transporta maior quantidade de líquido por segundo, proporcionando maior sensação de conforto, pois pelo fato do transporte ser bastante rápido, dá tempo suficiente para a pele se secar promovendo uma sensação maior de conforto (pele seca), já os tecidos que contém maior porcentagem de algodão (1 e 2) conseguem proporcionar menor sensação de conforto devido o transporte de umidade ser mais lento.

Pelos resultados obtidos, pode-se verificar que novamente pelo fato do tecido 3 ter seu transporte de umidade por capilaridade os seus raios de molhamento são uniformes e maiores já que a água não tem afinidade suficiente com as fibras de aramida e modacrílica à ponto de realizar pontes de hidrogênio, ou seja, a capacidade de transporte de umidade do tecido 3 será maior por não haver barreiras de afinidade ao decorrer do percurso da água.

- **Transporte de vapor - SMTEX**

Os testes foram realizados em um ambiente com 24,3°C de temperatura e 75% de umidade relativa. Esse dado deve ser utilizado como referência para avaliação dos resultados obtidos pelo aparelho SMTEX.

Gráfico 3- Transporte de vapor dos tecidos – SMTEX



Fonte: Autores

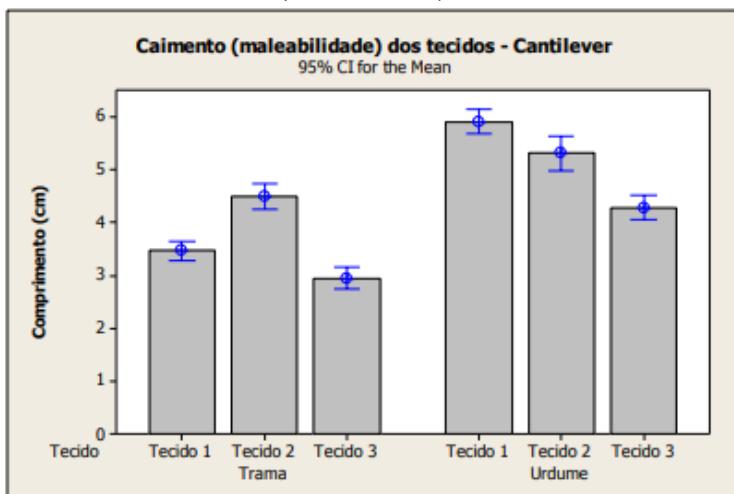
A sonda 1 representa a temperatura entre a pele e o tecido e a sonda 2 representa a temperatura entre o tecido e o ambiente. Como pode ser observado no gráfico 3 de resultados do SMTEX, o tecido 1 tem a capacidade de maior troca de calor com ambiente pois as diferenças de temperatura da sonda 1 para sonda 2 foram de 1,6°C, logo, ele possui maior respirabilidade (porosidade) ocasionando maior sensação de conforto (frescor). A porosidade do tecido é o fator de maior influência na propriedade de permeabilidade ao vapor de água.

Outro fator que também pode ter influenciado nos resultados é o fato dos tecidos 1 e 2 receberem tratamento retardante à chama por impregnação. Porém, de forma geral, essas variações

são imperceptíveis na prática, tornando os tecidos equivalentes nesse quesito. Pela ANOVA, a sonda 1 obteve $p= 0,414$ (indiferente) e a sonda 2 obteve $p= 0,026$ (diferente).

• **Caimento**

Gráfico 4 - Caimento (maleabilidade) dos tecidos – Cantilever



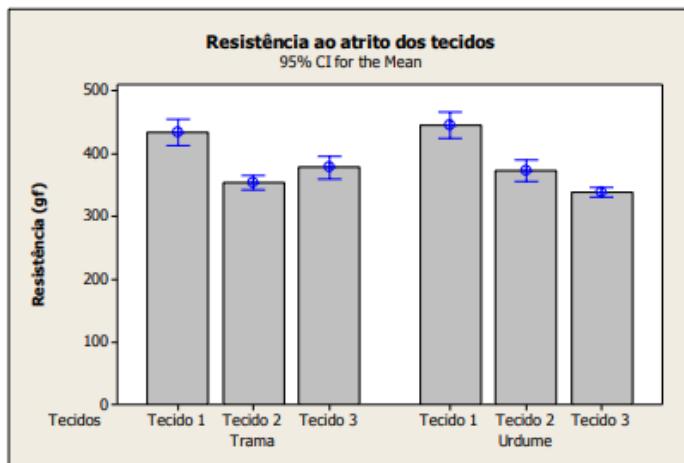
Fonte: Autores

O gráfico 4 ilustra as diferenças que os tecidos apresentam no quesito caimento e consequentemente na maleabilidade ($p=0,000$). Onde a maleabilidade do tecido é a força fletora necessária para a flexão do tecido em um plano inclinado, que é o mesmo teste usado para a determinação do caimento dos tecidos (método cantilever).

O tecido 3 é o tecido que apresenta menor rigidez, ou seja, ele tem melhor caimento (maleabilidade). Isso deve ter ocorrido pelo fato dele possuir menor densidade de fios e não ter a necessidade de realização de tratamentos retardante à chama por impregnação e nem da utilização de resinas *wash and wear* que enrijecem o tecido, diferentemente dos outros dois tecidos.

- **Lisura**

Gráfico 5- Resistência ao atrito dos tecidos

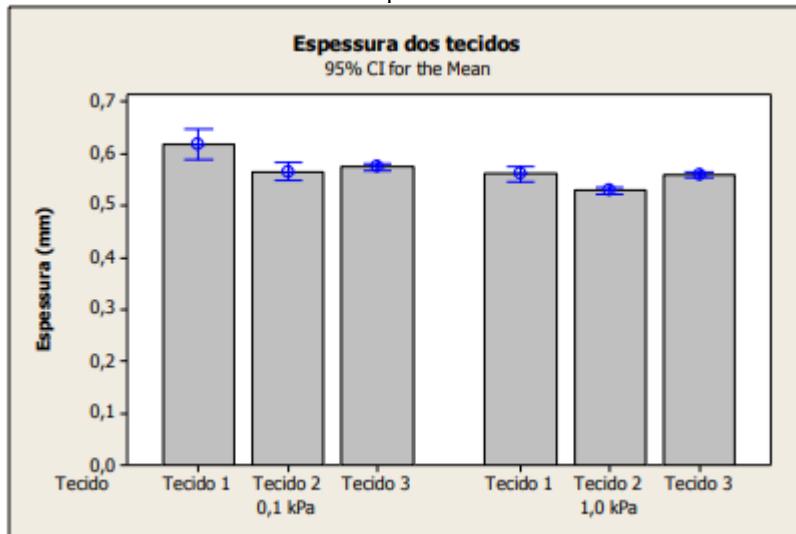


Fonte: Autores

O tecido que contém menor resistência ao atrito, ou seja, maior lisura na superfície é o tecido 3, conforme gráfico 5. Já o tecido 1 teve uma pior performance nesse quesito, isso deve ter ocorrido pelo fato do tecido 1 ter maior número de torções nos sentidos do urdume e da trama, o que gera maior atrito na superfície do tecido. Pela ANOVA, trama e o urdume obtiveram $p=0,000$.

- **Espessura**

Gráfico 6 - Espessura dos tecidos



Fonte: Autores

Como pode ser observado no gráfico 6, há uma mínima diferença de espessura entre os tecidos ($p=0,000$), porém, na prática, essas variações são irrelevantes. Pode-se dizer que não há

compressibilidade (maciez) significativa entre os tecidos, mesmo que matematicamente sejam diferentes, do ponto de vista tático são indiferentes.

5 DISCUSSÃO

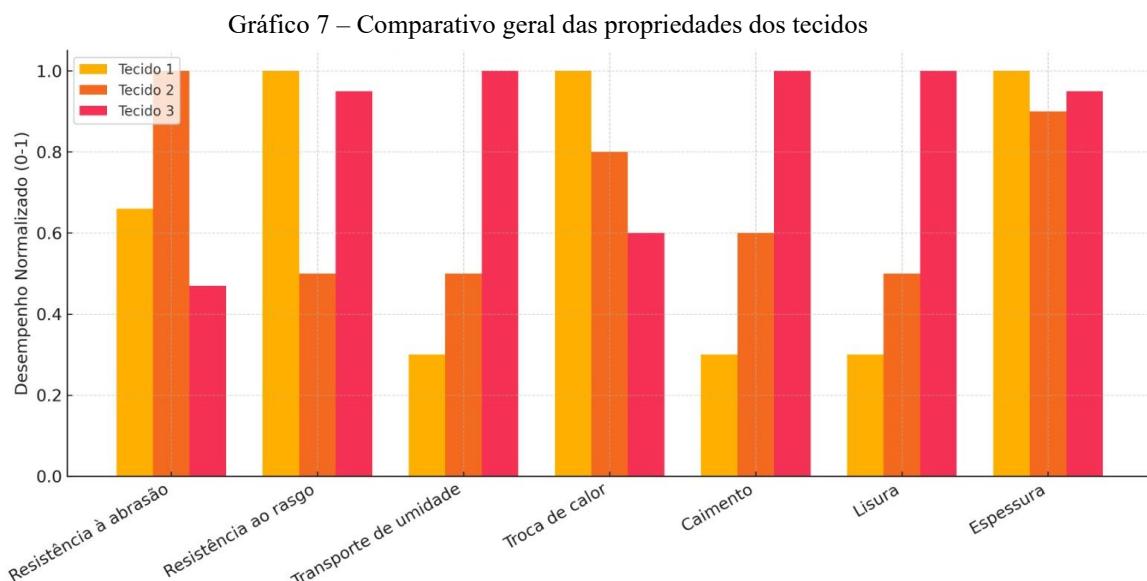
A análise comparativa dos tecidos utilizados em vestimentas de proteção revelou diferenças significativas entre os materiais quanto às suas propriedades físicas, desempenho mecânico e conforto físico e fisiológico. Os resultados obtidos confirmam que o tecido 3 — composto por fibras com resistência intrínseca à chama (modacrílica, algodão e aramida) — apresenta desempenho superior em termos de conforto, especialmente no que diz respeito à maleabilidade (melhor caiamento), menor espessura, menor atrito superficial e maior capacidade de transporte de umidade e vapor. Esses atributos contribuem para uma maior sensação de frescor e liberdade de movimento, aspectos fundamentais para a adesão e usabilidade de EPIs em ambientes de risco térmico.

Tais resultados estão em consonância com os fundamentos teóricos sobre conforto termofisiológico e físico, que apontam a influência decisiva de fatores como densidade de fios, composição das fibras, estrutura do tecido e ausência de acabamentos químicos agressivos. Conforme demonstrado nos testes com os aparelhos MMT e SMTEX, o tecido 3 promoveu maior eficiência na transferência de calor e umidade da pele para o ambiente, o que se reflete em maior estabilidade térmica e menor risco de sobrecarga fisiológica em condições de trabalho.

Por outro lado, os tecidos com tratamento antichama por impregnação química (tecidos 1 e 2) apresentaram maior rigidez estrutural, maior espessura e menor eficiência na dissipação de calor e umidade. No caso do tecido 1 (100% algodão tratado), a maior gramatura, densidade e torção conferem maior capacidade de isolamento térmico, mas comprometem o conforto físico e a resistência à abrasão. Já o tecido 2 (88% algodão e 12% poliamida) destacou-se pela melhor resistência à abrasão, possivelmente devido à presença da poliamida, conhecida por sua alta resiliência mecânica e resistência ao desgaste por fricção. No entanto, esse mesmo tecido apresentou o pior desempenho na resistência ao rasgo, sugerindo que a poliamida pode ter limitado a elasticidade necessária para resistir à propagação de falhas sob tensão.

De maneira geral, os resultados do SMTEX indicaram variações discretas na troca térmica entre os tecidos, com leve vantagem para o tecido 1 na dissipação de calor, possivelmente devido à sua maior porosidade e gramatura. Ainda assim, os resultados de conforto físico, especialmente em caiamento e lisura, favoreceram amplamente o tecido 3, o que reforça sua adequação ergonômica em condições de uso prolongado.

Compilando todos os dados experimentais, o gráfico mostra essa análise comparativa dos parâmetros avaliativos.



Fonte: Autores

A ausência de avaliações subjetivas neste estudo representa uma limitação metodológica. No entanto, os dados obtidos fornecem subsídios relevantes para investigações futuras que integrem medições fisiológicas (como temperatura da pele e frequência cardíaca) e escalas de percepção térmica, conforme proposto por autores como Islam et al. (2023) e Awais et al. (2019). Tais abordagens poderiam validar de forma mais abrangente o impacto das propriedades têxteis na experiência real do usuário e auxiliar no desenvolvimento de vestimentas de proteção que conciliem, de forma mais eficaz, segurança e conforto.

Tabela 2 – Análise ANOVA

Variável	Estatística F	p-valor	Diferença Significativa?
Espessura (mm)	686,59	$4,23 \times 10^{-13}$	Sim
Rasgo (gf)	1815,07	$1,28 \times 10^{-15}$	Sim
Abrasão (ciclos)	12283,54	$1,35 \times 10^{-20}$	Sim
Transporte de Umidade (%)	998	$4,56 \times 10^{-14}$	Sim

Fonte: Autores

A análise estatística, cujos dados estão na tabela 3, foi conduzida por meio de ANOVA de um fator (One-Way ANOVA), considerando três tipos de tecido e quatro variáveis: espessura, resistência ao rasgo, abrasão e transporte de umidade. Os resultados demonstraram diferenças estatisticamente significativas entre os tecidos em todos os parâmetros analisados: espessura ($F = 686,59; p < 0,001$), rasgo ($F = 1815,07; p < 0,001$), abrasão ($F = 12283,54; p < 0,001$) e transporte de umidade ($F = 998,00; p < 0,001$). Tais resultados indicam que as tecnologias antichama utilizadas conferem características distintas aos tecidos, afetando diretamente tanto o desempenho mecânico quanto o conforto.

6 CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo indicam que o tecido 3, com fibras antichama inerentes, apresenta o melhor desempenho geral, especialmente nos quesitos de conforto físico e fisiológico, como caimento, lisura, espessura e transporte de umidade. Além disso, obteve bons resultados em resistência ao rasgo, o que reforça sua viabilidade para ambientes industriais com exposição térmica elevada.

Por outro lado, o tecido 2 (com poliamida) destacou-se na resistência à abrasão, mas teve o pior desempenho na resistência ao rasgo. O tecido 1 (100% algodão tratado) mostrou maior rigidez e menor conforto, mesmo com bom desempenho na dissipaçāo de calor.

Dessa forma, o tecido 3 se mostra como a opção mais equilibrada para aplicações que exigem proteção térmica sem comprometer o conforto. No entanto, sua menor resistência à abrasão limita seu uso em ambientes mais agressivos.

Recomenda-se que profissionais de segurança do trabalho e ergonomia considerem critérios de conforto nos processos de seleção de EPIs, ampliando a adesão dos trabalhadores e garantindo proteção eficaz. Futuras pesquisas com usuários reais poderão validar os dados laboratoriais obtidos e contribuir para o desenvolvimento de vestimentas mais eficientes e confortáveis.

REFERÊNCIAS

- AWAIS, Muhammad et al. Experimental investigation of comfort properties of FR fabrics used for workwear. *Journal of Industrial Textiles*, EUA, v. 49, n. 6, p. 710–728, nov. 2019.
- BAJAJ, Pushpa. Heat and fire resistant fabrics: an overview. *Asian Textile Journal*, Índia, v. 9, n. 6, p. 36–41, jun. 2000.
- BALSAMO, A.; FELLI, V. Estudo sobre os acidentes de trabalho com exposição aos líquidos corporais humanos em trabalhadores da área de saúde de um hospital universitário. *Revista Latino-americana de Enfermagem*, Ribeirão Preto, v. 14, n. 3, p. 346–353, maio/jun. 2006.
- BORELLI, Camilla. Comparativo das propriedades de transporte de umidade, capilaridade, permeabilidade ao vapor e permeabilidade ao ar em tecidos planos de poliéster. Campinas, 2013. 76 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, 2013.
- BROEGA, A.C.; SILVA, M.E.C. O conforto total do vestuário: design para os cinco sentidos. Braga: Universidade do Minho, 2010.
- CHIAVENATO, Idalberto. Recursos humanos: o capital humano das organizações. 9. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.
- CUNHA, Marco Aurélio Pereira da. Análise do uso de EPIs e EPCs em obras verticais. Cuiabá: Universidade Federal de Mato Grosso, 2006. Tese (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho).
- ERTEKIN, Gökhan; KIRTAY, Erkan. An overview of heat and flame protective clothing. *Tekstil ve Konfeksiyon*, Turquia, v. 24, n. 1, p. 115–123, jan. 2014.
- FERREIRA, J.B. Análise clínica do trabalho e processo de subjetivação: um olhar da psicodinâmica do trabalho. In: MENDES, A.M. et al. Psicodinâmica e clínica do trabalho: temas, interfaces e casos brasileiros. Curitiba: Juruá, 2010. p. 125–138.
- ISLAM, Md. Taufiq et al. The impact of thermal protective clothing on human physiology and performance. *Safety Science*, Holanda, v. 161, p. 106974, fev. 2023.
- MIYADA, Fernanda et al. Tratamento antichama em materiais têxteis. São Paulo: Universidade de São Paulo (USP), Escola de Artes, Ciências e Humanidades, 2010. (Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Têxtil e Moda).
- MONQUERO, Patrícia A.; INÁCIO, E.M.; SILAS, A.C. Levantamento de agrotóxicos e utilização de equipamento de proteção individual entre os agricultores da região de Araras. *Arquivos do Instituto Biológico*, São Paulo, v. 76, n. 1, p. 135–139, jan./mar. 2009.

MOURA, Maria. Enfermagem em centro de material e esterilização. 8. ed. São Paulo: Senac, 2006.

MTE – Ministério do Trabalho e Emprego. NR-10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade. Portaria n. 598, de 07 dez. 2004. Diário Oficial da União, Brasília, 08 dez. 2004.

MTE – Ministério do Trabalho e Emprego. NR-6 – Equipamento de Proteção Individual. Portaria n. 505, de 16 abr. 2015. Diário Oficial da União, Brasília, 17 abr. 2015.

NFPA 70E. Standard for Electrical Safety Requirement for Employee Workplace. Quincy: National Fire Protection Association, 2004.

SCHINDLER, Wolfgang D.; HAUSER, Peter J. Chemical finishing of textiles. Boca Raton, Florida: CRC Press, c2004.

SCOTT, Richard A. Textiles for protection. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2005.

SEITO et al. A segurança contra incêndio no Brasil. São Paulo: [s.n.], 2008.

SLATER, K. Comfort or protection: the clothing dilemma. ASTM Special Technical Publication, EUA, STP 1237, p. 69–80, 1996.

SLATER, K. The assessment of comfort. Journal of the Textile Institute, Austrália, v. 77, p. 157–171, 1986.

SLATER, K. Human comfort. Springfield: Thomas, 1985.

T-PACC. Comfort Performance. Textile Protection and Comfort Center, EUA, 2017. Disponível em: <https://textiles.ncsu.edu/tpacc/comfort-performance/>. Acesso em: 27 maio 2025.

WANG, Yujie et al. Analysis on thermal comfort of clothing with different textile. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Wuhan, v. 573, n. 1, p. 1–9, nov. 2019.