

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE CIÊNCIAS EXATAS E EDUCAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA TÊXTIL
CURSO DE ENGENHARIA TÊXTIL

Leonardo Melo Medeiros Rutssats

Tecnologia Dry-FIT aplicada a camisetas de futebol

BLUMENAU

2022

Leonardo Melo Medeiros Rutssats

Tecnologia Dry-FIT aplicada a camisetas de futebol

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Têxtil do Centro Tecnológico de Ciências Exatas e Educação da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Têxtil.

Orientador: Prof^ª Dr^ª Fernanda Steffens.

BLUMENAU

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Rutssats, Leonardo Melo Medeiros
Tecnologia Dry-FIT aplicada a camisetas de futebol /
Leonardo Melo Medeiros Rutssats ; orientadora, Fernanda
Steffens, 2023.
96 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau,
Graduação em Engenharia Têxtil, Blumenau, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia Têxtil. 2. Têxteis técnicos. 3. Esporte.
I. Steffens, Fernanda . II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Graduação em Engenharia Têxtil. III. Título.

Leonardo Melo Medeiros Rutssats

Tecnologia Dry-FIT aplicada a camisetas de futebol

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Engenheiro Têxtil” e aprovado em sua forma final pelo Curso Engenharia Têxtil

Local, 16 de dezembro de 2022.

Prof.^a Catia Rosana Lange de Aguiar, Dr.^a
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Prof.^a Fernanda Steffens, Dr.^a
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a Andrea Cristiane Krause Bierhalz, Dr.^a
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Brenno Henrique Silva Felipe, Dr.
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado à minha família, em especial a minha mãe, que sempre me incentivou a batalhar pelos meus sonhos, e aos meus amigos, que me apoiaram nesta jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Federal de Santa Catarina, em especial ao Campus de Blumenau, que me forneceu a base acadêmica necessária para que eu alcançasse este objetivo.

Agradeço imensamente a Deus por ser o meu sustento e pelas boas condições que me são dispostas todos os dias.

Agradeço a minha família pelo apoio, em especial a minha mãe, Maria do Socorro Oliveira Melo, que sempre me incentivou a praticar o bem e me ensinou os valores que hoje sigo para alcançar meus objetivos. Também a minha tia do coração, Prof.^a M.^a Regiane Novak e a Érika Ruthzatz, minha prima que sempre me incentivou.

Em especial, agradeço a Prof.^a Dr.^a Fernanda Steffens, que aceitou o desafio de ser minha orientadora neste trabalho, e que muito pacientemente me ensinou, me auxiliando tecnicamente e me impulsionando a melhorar tanto como profissional quanto como pessoa.

Agradeço ao corpo docente da UFSC Blumenau e de Engenharia têxtil, que demonstraram excelência em suas atribuições de ensino, compartilhando de forma clara seus conhecimentos que favoreceram meu aprendizado. Em especial ao Prof. Dr. Alexandre José Sousa Ferreira e a Prof.^a Dr.^a Marilise Luiza Martins dos Reis Sayão.

Agradeço aos amigos que estiveram comigo nestes anos dedicados a graduação, compartilhando conhecimentos e tornando esta caminhada um pouco mais leve a partir de pequenos incentivos diários. A meus amigos Mariana Pereira Lopes, Nubia Paula Batista de Souza e Yago Sazy Barbosa.

As colaborações de todo o corpo da UFSC, técnicos e servidores. Em especial a Aline e a Julia, da Biblioteca Setorial da UFSC Blumenau, que me apoiaram e durante nosso convívio e muito me auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho.

A CTM Fios que me concedeu a oportunidade de buscar e aprender mais. Agradeço também a toda a equipe que a compõe pelo apoio demonstrado até aqui.

A banca composta para avaliação deste trabalho, que aceitou o convite para contribuir com propostas de melhoria dele.

“Ensinar o voo, isso eles não podem fazer, porque o voo já nasce dentro dos pássaros.
O voo não pode ser ensinado. Só pode ser encorajado.”
(Rubem Alves)

RESUMO

A elaboração dos têxteis técnicos está voltada principalmente ao alcance de características de elevado desempenho, para aplicações em mercados que demandam de propriedades melhoradas em materiais a base de fibras. Devido ao aumento da popularidade dos esportes, o segmento dos têxteis técnicos esportivos vem desenvolvendo regularmente tecnologias e inovações voltadas ao aperfeiçoamento do desempenho físico dos atletas. Especificamente sobre tecnologias aplicadas aos vestuários de futebol, o Dry-FIT, que é orientado ao gerenciamento termofisiológico efetivo a partir da baixa retenção de umidade e secagem rápida, tem sido aplicado a estes uniformes produzidos por diferentes marcas. Seu funcionamento está fundamentado na utilização de microfilamentos sintéticos, principalmente a base de poliéster (PES), que acentua o efeito capilar para a absorção e transporte de umidade. No entanto, pouco foi investigado na literatura sobre a efetividade do Dry-FIT e se há alguma diferença entre as tecnologias de secagem rápida Aeroready®, Dri-FIT® e dryCELL® nomeadas pelas marcas esportivas mais relevantes no atual mercado (Adidas, Nike e Puma, respectivamente). Assim sendo, a proposta deste trabalho é investigar as características morfológicas (fibras, fios e malhas) e funcionais (gestão térmica e de umidade) da tecnologia Dry-FIT aplicada a camisetas de futebol compostas por PES destas três marcas. Para isto, foram realizados estudos de caracterização das camisetas (estrutura dos filamentos, fios e malhas observados em MEV e microscopia ótica), bem como ensaios para a análise da hidrofiliidade (ângulo de contato, absorção e retenção), transporte de umidade (capilaridade), condutividade térmica, secagem por convecção forçada e permeabilidade ao ar. Também se efetuou testes de desempenho físico com um jogador de futebol de um clube de Santa Catarina, onde se verificou de forma efetiva a funcionalidade destas camisetas nos quesitos de absorção, retenção e transporte de umidade, gerenciamento térmico corporal e desempenho físico a partir da observação do aumento da frequência cardíaca, que determina a fadiga do atleta. Notou-se que as três tecnologias analisadas possuem diferenças na morfologia das fibras, fios e malhas. A partir dos resultados obtidos observa-se que a tecnologia dryCELL® destaca-se pela sua elevada absorção de umidade e permeabilidade ao ar. O Dri-FIT® apresenta resultados muito satisfatórios no transporte de umidade, transporte de calor por condução, secagem, permeabilidade ao ar e gerenciamento termofisiológico (ensaio com jogador). Já a tecnologia Aeroready® distingue-se por apresentar baixa retenção e elevado desempenho no transporte de umidade, transporte de calor por condução e secagem por convecção forçada. As características determinantes para o desempenho físico do atleta estão voltadas principalmente ao bom gerenciamento de umidade e secagem das camisetas.

Palavras-chave: Têxteis técnicos. Esporte. Gerenciamento de umidade.

ABSTRACT

The elaboration of technical textiles is mainly focused on achieving high performance characteristics, for applications in markets that demand improved properties in fiber-based materials. Due to the increasing popularity of sports, the technical sports textile segment has been regularly developing technologies and innovations aimed at improving the physical performance of athletes. Specifically on technologies applied to soccer apparel, Dry-FIT, which is oriented towards effective thermophysiological management based on low moisture retention and quick drying, has been applied to these uniforms produced by different brands. Its operation is based on the use of synthetic microfilaments, mainly based on polyester (PES), which accentuate the capillary effect for the absorption and transport of moisture. However, little has been investigated in the literature about the effectiveness of Dry-FIT and whether there is any difference between the quick drying technologies Aeroready®, Dri-FIT® and dryCELL® named by the most relevant sports brands in the current market (Adidas, Nike and Puma, respectively). Therefore, the purpose of this work is to investigate the morphological (fibers, yarns and knits) and functional (thermal and moisture management) characteristics of the Dry-FIT technology applied to soccer jerseys composed of PES from these three brands. For this, T-shirt characterization studies were carried out (structure of filaments, yarns and knitted fabrics observed in SEM and optical microscopy), as well as tests for hydrophilicity analysis (contact angle, absorption and retention), moisture transport (capillarity), thermal conductivity, forced convection drying and air permeability. Physical performance tests were also carried out with a soccer player from a club in Santa Catarina, where the functionality of these shirts was effectively verified in terms of absorption, retention and transport of moisture, body thermal management and physical performance from observation of the increase in heart rate, which determines the athlete's fatigue. It was noted that the three analyzed technologies have differences in the morphology of fibers, yarns and knitted fabrics. Based on the results obtained, the dryCELL® technology stands out for its high moisture absorption and air permeability. Dri-FIT® shows very satisfactory results in moisture transport, heat transport by conduction, drying, air permeability and thermophysiological management (player tests). Aeroready® technology is distinguished by its low retention and high performance in moisture transport, heat transport by conduction and drying by forced convection. The determining characteristics for the physical performance of the athlete are mainly focused on the good management of humidity and drying of the shirts.

Keywords: Technical textiles. Sport. Humidity management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Materiais têxteis técnicos, processos e produtos.....	23
Figura 2 - Efeito capilar entre as fibras.....	29
Figura 3 - Fórmula estrutural do PES.....	31
Figura 4 - Comparação entre fios com multifilamentos médios e microfibras.....	33
Figura 5 - Diferentes seções transversais das fibras.....	35
Figura 6 - Bocais da fieira e projeções das seções transversais nos filamentos.....	36
Figura 7 - Ilustração do transporte de umidade em função da estrutura de malha.....	37
Figura 8 - Evolução do desenvolvimento dos uniformes de futebol.....	39
Figura 9 - Marcas líderes em patrocínio esportivo mundial em 2021.....	45
Figura 10 - Histórico das receitas anuais das marcas Adidas, Nike e Puma.....	46
Figura 11 - Camisetas de futebol Adidas Aeroready® (a), Nike Dri-FIT® (b) e Puma dryCELL® (c).....	50
Figura 12 - Método de medição das camisetas.....	51
Figura 13 - Amostras de fibras encapadas para análise da seção transversal.....	52
Figura 14 - Determinação da hidrofiliidade a partir do ângulo de contato.....	55
Figura 15 - Exemplo do ensaio para análise da capilaridade.....	56
Figura 16 - Princípio do método de medição da resistência térmica.....	56
Figura 17 - Túnel de vento.....	58
Figura 18 - Sistema de secagem.....	59
Figura 19 - Localização das áreas para ensaio de permeabilidade ao ar.....	60
Figura 20 - Análise em MEV da seção transversal dos filamentos.....	62
Figura 21 - Análise em MEV da seção longitudinal dos filamentos.....	63
Figura 22 - Micrografias das estruturas de malha das camisetas.....	65
Figura 23 - Seção transversal das malhas da Adidas (a), Nike (b) e Puma (c).....	66
Figura 24 - Efeito capilar nas malhas em função do tempo.....	70
Figura 25 - Transporte de umidade das malhas em função do tempo na direção das colunas (a) e fileiras (b).....	71
Figura 26 - Comparação entre a condução de calor nas camisetas.....	73
Figura 27 - Curvas de secagem das malhas em função do tempo.....	74
Figura 28 - Malhas da Adidas (a), Nike (b) e Puma (c) dispostas no túnel de vento.....	75
Figura 29 - Comparação entre as permeabilidades ao ar.....	76

Figura 30 - Jogador de futebol durante a avaliação com as camisetas da Adidas (a), Nike (b) e Puma(c)	78
Figura 31 - Variação percentual de massa das camisetas.....	79
Figura 32 - Variação percentual da temperatura do microclima durante as atividades.....	81
Figura 33 - Variação percentual da frequência cardíaca.....	83
Figura 34 - Comparação entre as características técnicas das camisetas.....	84

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação de têxteis técnicos.....	22
Quadro 2 - Propriedades do vestuário de acordo com o grupo esportivo.....	28
Quadro 3 - Principais fibras utilizadas na produção do vestuário esportivo.....	30
Quadro 4 - Propriedades têxteis relacionadas ao conforto térmico.....	41
Quadro 5 - Diferentes tipos de tecidos e suas propriedades.....	43
Quadro 6 - Marcas esportivas patrocinadoras das seleções da Copa do Mundo de 2022.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades das fibras.....	30
Tabela 2 - Classificação das fibras de acordo com o título.....	32
Tabela 3 - Dados técnicos das camisas utilizadas.....	62
Tabela 4 - Diâmetro médio dos filamentos.....	63
Tabela 5 - Título dos fios.....	64
Tabela 6 - Densidade das malhas.....	66
Tabela 7 - Características das estruturas de malha.....	67
Tabela 8 - Massa de água retida nas malhas.....	68
Tabela 9 - Volume poroso das malhas.....	69
Tabela 10 - Capilaridade das malhas.....	71
Tabela 11 - Condutividade e resistência térmica das camisetas.....	72
Tabela 12 - Condições do ensaio de secagem.....	74
Tabela 13 - Massa das amostras de malha e água nos ensaios de secagem.....	75
Tabela 14 - Permeabilidade ao ar das camisetas.....	76
Tabela 15 - Condições atmosféricas dos ensaios com jogador de futebol.....	78
Tabela 16 - Massa das camisetas durante os ensaios.....	79
Tabela 17 - Temperatura do microclima durante os ensaios.....	81
Tabela 18 - Frequência cardíaca durante os ensaios.....	83

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	OBJETIVOS	20
1.1.1	Objetivo Geral.....	20
1.1.2	Objetivos Específicos	20
2	FUDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	22
2.1	TÊXTEIS TÉCNICOS.....	22
2.2	TÊXTEIS TÉCNICOS ESPORTIVOS	25
2.2.1	Matérias-primas.....	29
2.2.1.1	<i>Fibras Têxteis</i>	29
2.2.1.1.1	Microfibras	32
2.2.1.1.2	Seção transversal	34
2.2.1.2	<i>Malhas</i>	36
2.3	EVOLUÇÃO DAS TECNOLOGIAS TÊXTEIS NO FUTEBOL	38
2.4	CONFORTO TERMOFISIOLÓGICO E O VESTUÁRIO.....	40
2.5	PRINCIPAIS MARCAS DE VESTUÁRIO ESPORTIVO.....	44
2.6	TECNOLOGIA DRY-FIT	46
2.6.1	Adidas Aeroready®	47
2.6.2	Nike Dri-FIT®.....	48
2.6.3	Puma dryCELL®	49
3	METODOLOGIA.....	50
3.1	CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS	51
3.1.1	Microscopia em fibras	51
3.1.2	Titulação de fios	52
3.1.3	Malhas.....	52
3.1.3.1	<i>Estrutura de malha</i>	53

3.1.3.2	<i>Gramatura e espessura</i>	53
3.1.3.3	<i>Densidade das laçadas</i>	53
3.1.3.4	<i>Espessura</i>	53
3.1.3.5	<i>Comprimento de laçada</i>	53
3.2	ANÁLISES EXPERIMENTAIS	54
3.2.1	Absorção de água	54
3.2.2	Ângulo de contato	54
3.2.3	Transporte de umidade	55
3.2.4	Transporte de calor por condução	56
3.2.5	Secagem por convecção forçada	58
3.2.6	Permeabilidade ao ar	60
3.2.7	Avaliação de corrida com jogador profissional de futebol	60
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
4.1	MORFOLOGIA DAS AMOSTRAS	62
4.1.1	Análise de MEV das fibras	62
4.1.2	Fios – Massa linear	64
4.1.3	Malhas – Características	65
4.1.3.1	<i>Estruturas</i>	65
4.1.3.2	<i>Densidade</i>	66
4.1.3.3	<i>Gramatura, espessura e comprimento de laçada</i>	67
4.1.4	Hidrofilidade das camisetas	67
4.1.4.1	<i>Absorção de água</i>	67
4.1.4.2	<i>Ângulo de contato</i>	69
4.1.5	Capilaridade	70
4.1.6	Condutividade térmica	72
4.1.7	Secagem	74
4.1.8	Permeabilidade ao ar	76

4.2	DESEMPENHO FÍSICO DO ATLETA E GESTÃO DE UMIDADE DA CAMISETA.....	77
4.2.1	Gestão de umidade das camisetas	79
4.2.2	Controle termofisiológico	81
4.2.3	Fadiga do atleta.....	82
5	CONCLUSÃO.....	86
5.1	PERSPECTIVAS FUTURAS	87
	REFERÊNCIAS.....	88
	ANEXO A – DIAGRAMA PSICROMÉTRICO	94

1 INTRODUÇÃO

Os artigos têxteis podem ser classificados em dois principais grupos: têxteis convencionais e têxteis técnicos. Os têxteis convencionais são projetados e desenvolvidos para a utilização em aplicações mais genéricas, que geralmente enfatizam os aspectos decorativos e estéticos do material (como o vestuário tradicional utilizado no cotidiano). Os têxteis técnicos, por sua vez, são concebidos para a utilização em aplicações mais funcionais, ou seja, são projetados para suportar demandas excessivas que artigos convencionais não tolerariam, como elevadas cargas mecânicas (RASHEED, 2020).

O incremento de novas tecnologias, seja através de fibras, estruturas inovadoras, diferentes acabamentos ou inserção de componentes eletrônicos, tem possibilitado ao artigo têxtil o aumento do seu valor agregado, podendo torná-lo um têxtil técnico. A produção de têxteis técnicos está enfatizada principalmente na obtenção de características técnicas e de alto desempenho (RAJ; YAMUNADEVI, 2016), para que estes materiais suportem situações específicas – elevadas alterações de temperatura, exposição a químicos e a chama, corrosivos, altas cargas mecânicas, mudanças climáticas, entre outros (RASHEED, 2020).

De acordo com pesquisas realizadas pela empresa Markets and Markets, o mercado global de têxteis técnicos está projetado para crescer de US\$ 164,6 bilhões em 2020, para aproximadamente US\$ 222,4 bilhões em 2025. Os dados enfatizam importância do desenvolvimento dos têxteis técnicos, visto que estes movimentam fortemente a economia mundial (MEHRA, 2021).

Pode-se afirmar que a evolução dos materiais têxteis ocorreu até certo ponto de forma análoga ao desenvolvimento das civilizações e da sociedade humana, onde estes materiais eram desenvolvidos de acordo com suas necessidades (proteção contra as adversidades climáticas, por exemplo). O avanço tecnológico possibilitou a utilização de produtos não somente para a garantia do conforto térmico dos indivíduos, mas também para suportar as exigências encontradas em diferentes aplicações (como no uso de redes para pesca e cordas entrançadas para estabilizar cargas durante o transporte), resultando no desenvolvimento de têxteis de elevada tecnologia para aplicações técnicas (PENG; CUI, 2020).

Os têxteis técnicos são aplicados em diferentes setores, no entanto, o esportivo (*Sportech*) é o que mais se beneficia com as inovações tecnológicas propostas. Devido a constante mudança de hábitos sociais, como a adequação a estilos de vida mais saudáveis – que levam a população a uma maior participação de práticas esportivas, criação de novos esportes

e popularização dos esportes antigos – o setor de têxteis esportivos tornou-se extremamente amplo (RAJ; YAMUNADEVI, 2016), no qual as grandes marcas de vestuário e equipamentos esportivos buscam desenvolver produtos tecnológicos que garantam a maximização do desempenho físico dos atletas.

O desenvolvimento dos vestuários esportivos modernos, orientados ao elevado desempenho, baseia-se não somente a questão do design ou aspectos visuais, mas principalmente sua funcionalidade (HEIDI, 2019). Em vista disso, grandes empresas têxteis multinacionais trabalham constantemente no desenvolvimento de soluções tecnológicas que possam ser incorporadas a artigos esportivos, sejam eles vestuários, acessórios, calçados e até equipamentos (CAETANO, 2019), resultando em uma elevada quantidade de tecnologias disponíveis para aplicações neste setor.

Dependendo da atividade, o vestuário esportivo exige importantes características, como a eficaz regulação de calor e umidade, boa permeabilidade ao ar, estabilidade dimensional (mesmo quando exposto a umidade), durabilidade, leveza e toque agradável ao corpo (TARAFDER, 2019). No ciclismo, por exemplo, além do conforto proporcionado ao atleta, a vestimenta deve apresentar características que reduzam o arrasto aerodinâmico no momento da corrida, de modo que o vestuário não influencie negativamente no seu desempenho (ALAM; CHOWDHURY; MORIA, 2019). Para a prática de esqui, exemplificando, é necessário que a vestimenta apresente características de proteção contra o vento e proporcione isolamento térmico; enquanto que para o futebol são mais úteis a termorregulação eficiente e o gerenciamento de umidade presentes no traje (RAJ; YAMUNADEVI, 2016).

Especificamente tratando-se dos uniformes para os jogadores de futebol, devem proporcionar ao atleta: conforto termofisiológico; conforto sensorial; conforto psicológico e o de mobilidade (RAJ; YAMUNADEVI, 2016). Segundo a *Fédération Internationale de Football Association* (FIFA), atualmente, faz parte do vestuário obrigatório dos jogadores de futebol a camiseta com manga, calção, meias, caneleiras e chuteiras. Além disso, goleiros podem utilizar calças e luvas para defesa (CONFEDERAÇÃO BRASILEIRA DE FUTEBOL, 2019). O desenvolvimento de novas tecnologias é um importante fator para a produção dos uniformes, visto que durante aproximadamente 90 minutos o atleta utilizará esta vestimenta que deverá garantir seu conforto e o alcance/manutenção de um bom desempenho físico.

Mesmo impactando fortemente no rendimento dos jogadores de futebol, as tecnologias têxteis presentes nos uniformes deste esporte (como o Dry-FIT) e seu progresso, são pouco estudadas e disponibilizadas na área da engenharia têxtil. Em pesquisas realizadas na

plataforma Scholar Google, no recorte temporal de 2018 a 2022, foram sinalizados 105 artigos quando buscado por "*dry-fit*" "*textile*", 52 quando pesquisado por "*dry-fit*" "*textile*" "*technology*" e nenhum quando buscado por "*dry-fit*" "*technical textile*" e "*dry-fit*" "*textile engineering*" (todas as pesquisas realizadas em novembro de 2022). Portanto, não se verificam pesquisas que direcionem os estudos para a análise comparativa desta tecnologia aplicada a diferentes marcas comerciais, bem como a sua influência nos resultados de desempenho físico dos atletas. Justifica-se este período de recorte temporal devido a constante evolução que o segmento de têxteis esportivos está sujeito. Especificamente sobre as tecnologias de secagem rápida, são obtidas mais informações em blogs esportivos, sites oficiais de marcas esportivas e artigos de revistas não científicas, tanto nacionais como internacionais.

Sobre a evolução dos artigos têxteis voltados para a prática de futebol, pode-se afirmar que hoje em dia, estes são altamente tecnológicos, devido à incessante busca pela maximização do desempenho do jogador. Ressalta-se que as primeiras camisas de futebol eram de tecido plano composto por algodão (CO), assim como os calções, em estrutura de sarja. O vestuário não era adequado para a prática esportiva devido a seus aspectos físicos e estruturais – elevada gramatura, baixa elasticidade e elevada retenção do suor – que desfavoreciam um bom desempenho dos atletas (MAESTÁ, 2015).

No decorrer dos anos o tecido plano foi substituído por malhas. Mas foi apenas no final da década de 1970 que os uniformes de futebol passaram a ser confeccionados com um percentual de poliéster (MAESTÁ, 2015). Esta fibra possui como uma de suas principais características a baixa absorção de umidade (ATALIE et al., 2021), o que acarretou na redução da massa de umidade (suor) que os atletas carregariam durante uma partida de futebol. Na década de 1990 os uniformes passaram a ter em sua composição 100 % de poliéster e a empresa Nike desenvolveu uma nova solução que revolucionou o mundo do vestuário esportivo, a tecnologia Dri-FIT® (JIN; CEDROLA, 2018).

Desenvolvida inicialmente para o vestuário de corredores, a popularidade da tecnologia Dri-FIT® cresceu exponencialmente, e levou a Nike a expandir seu uso em vestuários esportivos destinados ao golfe e futebol (JIN; CEDROLA, 2018). Esta tecnologia consiste na utilização de microfibras de poliéster responsáveis por proporcionar aos atletas, a partir do vestuário, maior conforto térmico e tátil. As microfibras são fibras com título entre 0,3 e 1,0 dtex, e garantem ao vestuário uma melhor absorção e direcionamento do suor para a parte externa, resultando em uma rápida evaporação (CASTILLO et al., 2021). A região microporosa

no interior dos fios, decorrente da utilização das microfibras, aumenta o efeito capilar do material, o que facilita o transporte de umidade (RV, 2018).

A tecnologia Dri-FIT®, criada e patenteada pela Nike, voltada à secagem rápida dos uniformes esportivos, devido a seu grande sucesso, logo começou a ser replicada por outras empresas (BOUREDJI et al., 2020), e popularizou-se pelo nome Dry-FIT, com a letra “y”, que traduzindo do inglês significa “ajuste seco”.

A Adidas patenteou esta tecnologia inicialmente como ClimaCool®, mas após passar por diversas modificações e melhorias, a atual tecnologia utilizada pela empresa é conhecida como Aeroready® (NO MORE CLIMACOOOL..., 2020). Já a Puma nomeou e patenteou como dryCELL® (PUMA..., [2018]). Estas tecnologias de gerenciamento de umidade e secagem rápida, apesar de serem apresentadas com diferentes nomes, possuem em comum a utilização de microfibras para o desenvolvimento de seus artigos.

Conforme apresentado anteriormente, a tecnologia Dry-FIT utilizada em vestuários destinados a prática de futebol possui características específicas que atribuem funcionalidades melhoradas aos uniformes desenvolvidos, tornando-os em têxteis técnicos. Apesar da escassez de informações sobre estas tecnologias na literatura atual, o presente trabalho de conclusão de curso busca estudar e caracterizar estas três tecnologias de secagem rápida aplicadas a camisetas de futebol, visando efetuar uma análise de cada patente, comparando-as em relação as suas características morfológicas e a influência no desempenho relacionado ao transporte de calor e umidade.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Estudar diferentes tecnologias Dry-FIT das marcas Adidas, Nike e Puma, aplicadas a camisetas de futebol 100 % poliéster.

1.1.2 Objetivos Específicos

a) Avaliar estruturalmente diferentes camisetas de futebol que utilizam tecnologia Dry-FIT (fibras, fios e malhas);

- b) Quantificar as características técnicas relacionadas à funcionalidade das camisetas (absorção, hidrofiliidade, capilaridade, transporte de calor, permeabilidade ao ar e secagem);
- c) Realizar ensaios físicos com um jogador de futebol utilizando diferentes camisetas com tecnologia Dry-FIT e analisar a influência destas em seu desempenho físico.

2 FUDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção apresenta o embasamento teórico sobre os têxteis técnicos, as tecnologias têxteis aplicadas no segmento esportivo, aprofundando-se aos artigos utilizados no futebol, bem como o contexto histórico e a evolução das tecnologias voltadas às camisetas deste esporte.

Também apresenta informações sobre as propriedades técnicas da tecnologia de secagem rápida Dry-FIT (matéria-prima, estruturas e características) e suas influências em aspectos relacionados a questões fisiológicas (transpiração, retenção de calor e umidade). As principais marcas e as respectivas tecnologias de secagem rápida que cada uma delas fornece ao mercado também são expostas nesta seção.

2.1 TÊXTEIS TÉCNICOS

Os têxteis técnicos, por definição, são materiais e produtos têxteis que são fabricados considerando, principalmente, suas propriedades técnicas e de desempenho, minimizando a preocupação por características estéticas ou decorativas (HAQUE, 2003). No entanto, percebe-se que, na atualidade, os fatores estéticos e decorativos são extremamente presentes em algumas áreas em que os têxteis técnicos são aplicados, como no setor esportivo, de arquitetura e automotivo, por exemplo, o que poderá futuramente sugerir uma alteração desta definição.

A utilização de têxteis técnicos tem crescido rapidamente nos últimos anos. Muitas fibras naturais, sintéticas e de elevado desempenho estão sendo amplamente utilizadas para aplicação neste setor (AHMAD et al., 2020). Desta forma, a tecnologia dos têxteis técnicos pode fornecer produtos mais resistentes que a madeira, respiráveis como a pele, impermeabilizantes como a borracha e ainda, proporcionar um caráter ecológico (TARAFDER, 2019). Com o avanço deste setor, fez-se necessária sua divisão em 12 diferentes grupos de acordo com sua aplicação (AHMAD et al., 2020), conforme apresentado no Quadro 1.

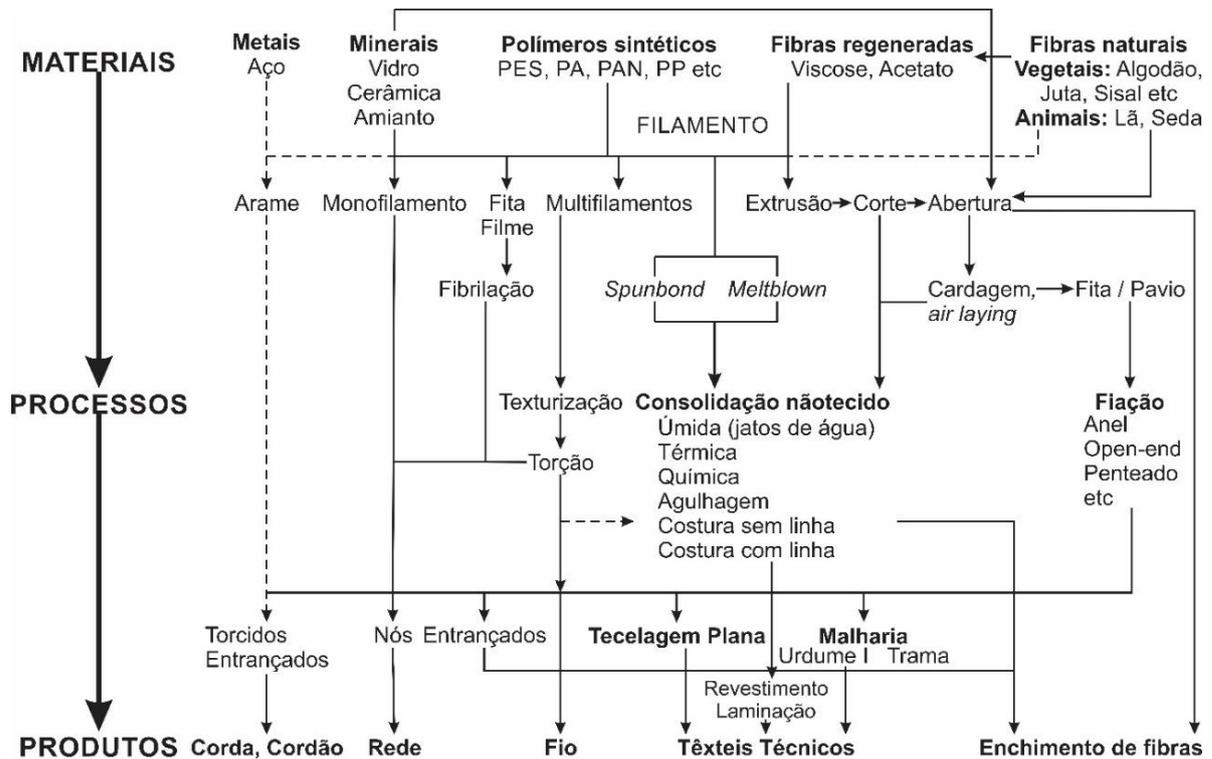
Quadro 1 – Classificações de têxteis técnicos.

Agrotech Agroindústria	Buildtech Construção civil	Clothtech Vestuário	Geotech Geotêxtil
Hometech Doméstico	Indutech Indústria	Medtech Médico	Mobiltech Transporte
Oekotech Proteção ecológica	Packtech Embalagem	Protech Proteção	Sportech Esporte

Fonte: Adaptado de Ahmad et al. (2020).

O desenvolvimento de um têxtil técnico consiste no aprimoramento de uma de suas etapas de produção ou da melhor combinação dos materiais produzidos, de modo que o produto final apresente as características tecnológicas esperadas. O melhor desempenho pode ser proveniente das tecnologias de produção de fibras, fios ou filamentos, estruturas têxteis (tecidos planos, malhas, não tecidos, entrançados, tecidos tridimensionais, multicamadas, entre outros) e acabamentos os mais diversos, como revestimentos, coloração, proteção térmica e antichamas (HAQUE, 2003). Fibras têxteis técnicas com propriedades mecânicas, térmicas e/ou químicas elevadas oferecem, por exemplo, a geração única de materiais compósitos (AHMAD et al., 2020). A Figura 1 apresenta um fluxograma da cadeia de produção de um têxtil técnico, que abrange desde a matéria-prima utilizada até as etapas de produção para a formação de produto.

Figura 1 – Materiais têxteis técnicos, processos e produtos.



Fonte: Adaptado de Haque (2003).

Além dos têxteis técnicos, existem também no mercado os têxteis inteligentes (*Smart Textiles*) que podem ser facilmente confundidos entre si. Diferente dos têxteis técnicos, os têxteis inteligentes reagem às condições ou estímulos ambientais (CASTILLO et al., 2021). Pode-se também afirmar que os têxteis inteligentes seriam uma nova subdivisão dos têxteis técnicos, voltada para a interação e monitoramento. Certo é que ambas as tecnologias podem

ser utilizadas em situações que demandam desempenho específico do material, o que proporciona ao setor uma gama elevada de produtos com caráter inovador. Para aplicações no setor de construção civil e arquitetura, os têxteis técnicos podem fornecer funções de reforço, estabilização e monitoramento. Especificamente na arquitetura, exemplos consistem em estruturas temporárias e de grande extensão, como em estádios, e os mais diversos tipos de pavilhões. Já na construção civil, os têxteis técnicos são utilizados para a reabilitação de edifícios e também para estruturas sujeitas a elevados esforços mecânicos (HEYSE et al., 2015).

Na área de proteção existem diversas pesquisas em andamento para o desenvolvimento de têxteis técnicos projetados para amenizar os perigos associados às áreas de combate. Estes materiais avançados são resultados de décadas de pesquisa em materiais e/ou também em acabamentos inteligentes (REVAIAH; KOTRESH; KANDASUBRAMANIAN, 2020).

Na área da saúde e higiene percebe-se o aumento constante do uso de têxteis técnicos. Estes aparecem em tendências como os “têxteis cosméticos”, que são produtos com propriedades curativas para a pele dos usuários, funcionalizados a partir da microencapsulação. Neste setor, têxteis inteligentes também são incorporados como sensores ao vestuário, capazes de fornecer dados sobre sinais vitais, respiração, frequência cardíaca, nível de estresse e calorias perdidas pelo utilizador (JIN; CEDROLA, 2018).

Têxteis técnicos com propriedades térmicas são aplicados tanto ao vestuário projetado para controlar melhor a dissipação de calor no corpo humano quanto aos utilizados em situações de extremo calor ou frio, espaço sideral, fogo e vento forte (PENG; CUI, 2020). Existem também tecnologias vestíveis que permitem a termorregulação corporal através da circulação de água (quente ou fria), que passa por microtubos e proporcionam a troca térmica com o corpo (CAETANO, 2019). O desenvolvimento dos têxteis técnicos com propriedades térmicas permitiu que soldados do exército suportassem mais facilmente os ambientes de frio intenso, como a Geleira Siachen, localizada no Himalaia, noroeste da Índia, através da incorporação de materiais de mudança de fase (REVAIAH; KOTRESH; KANDASUBRAMANIAN, 2020).

Inovações alcançadas pelo desenvolvimento de novos materiais fibrosos, técnicas avançadas de acabamento, novos raportes de estrutura e modelagem do vestuário permitiram a elaboração de têxteis de alto desempenho (PENG; CUI, 2020). Especificamente tratando-se da promoção do setor esportivo, o principal fator tecnológico consiste no desenvolvimento de fibras (STOJANOVIĆ; GERSAK, 2019).

2.2 TÊXTEIS TÉCNICOS ESPORTIVOS

Atualmente, para que um artigo têxtil se destaque frente a um mercado altamente competitivo, é necessário que apresente características inovadoras que possam estar relacionadas à utilização de materiais de elevada qualidade (matéria-prima); apresentar estilo moderno (relação com as tendências de moda); ou relativo ao desempenho fornecido (JIN; CEDROLA, 2018). Estas características podem ser facilmente encontradas em têxteis esportivos de elevado desempenho, que buscam cada vez mais a qualidade do material, a melhoria de suas funcionalidades e ainda a apresentação de modelos atrativos e modernos aos consumidores.

A utilização dos têxteis técnicos no setor esportivo está relacionada aos materiais desenvolvidos para aplicações tanto no vestuário como para a fabricação de equipamentos e componentes esportivos, como calçados, relvas artificiais, tecidos resistentes utilizados em paraquedas, entre outros (TARAFDER, 2019). Estes materiais são projetados principalmente para melhorar o desempenho do esportista e garantir ainda sua proteção e conforto nas situações em que estão inseridos (MADUNA; PATNAIK, 2020), de modo que maximize seu rendimento físico.

O vestuário esportivo possui diferentes especificações para cada modalidade, e é responsável por promover condições adequadas para que a movimentação corporal alcance o desempenho esperado (SABREEN, 2017). Ou seja, de modo que a modelagem do vestuário não restrinja a atividade do atleta relativa a sensações desagradáveis e de pressão sobre o seu corpo, porém proporcionando um suporte físico durante o exercício, quando necessário (STOJANOVIĆ; GERSAK, 2019).

Para que se atendam as demandas exigidas pelos esportistas, a indústria têxtil de vestuário esportivo busca constantemente por soluções que aperfeiçoem e minimizem a fadiga dos atletas, proporcionando propriedades melhoradas, como por exemplo o efeito higroscópico e de compressão (STOJANOVIĆ; GERSAK, 2019). Os têxteis de alta performance são projetados para alcance de demandas específicas, como o fluxo rápido de ar (respiráveis), conforto tátil durante e após exercício (considerando a absorção de umidade e sensação de secura sobre o corpo), durabilidade, boa elasticidade e permeabilidade (SABREEN, 2017). O projeto de um vestuário esportivo é significativamente mais complexo do que o de um vestuário convencional, podendo promover mais de uma funcionalidade a uma única peça.

O vestuário esportivo pode auxiliar os jogadores a considerarem seus corpos como um sistema, possibilitando a análise de seus pontos críticos (onde há maior transpiração) a partir da própria vestimenta, de modo que esta seja uma ferramenta de pesquisa corporal responsável por fornecer dados precisos sobre os aspectos fisiológicos dos atletas (KALABPIA, 2021). Desta forma, com os avanços tecnológicos conquistados pelo segmento têxtil, foi possível aprimorar diversas propriedades nos vestuários esportivos, em especial as propriedades aerodinâmicas, de absorção, permeabilidade à água e ao ar e resistência mecânica (HALÁSZ et al., 2022).

O aumento da popularidade dos esportes também tem sido um fator crucial para o desenvolvimento de novas tecnologias, com destaque para o campo dos materiais fibrosos, fios e tecidos (STOJANOVIĆ; GERSAK, 2019). Além disso, estudos apontam que o mercado global de vestuário esportivo pretende valer US\$ 567 bilhões em 2024. Países como a China, Índia e países africanos contribuirão significativamente para o crescimento deste mercado, que deverá atingir cerca de US\$ 248,1 bilhões em vendas até 2026 (BOUREDJI et al., 2020).

Apesar das diferentes exigências técnicas de cada modalidade esportiva no que se refere aos uniformes, existem algumas características percebidas de maneira geral, independente do esporte, como a regulação ideal de calor e umidade, a permeabilidade ao ar, estabilidade dimensional, durabilidade, reduzida massa, toque agradável a pele, elasticidade, elevada tenacidade e rápida secagem (TARAFDER, 2019). Especificamente quanto à permeabilidade ao ar e ao suor, trata-se de uma propriedade que vem ganhando cada vez mais importância aos consumidores. Ela é responsável por garantir um determinado estado de conforto corporal através do equilíbrio térmico (RV, 2018), como, por exemplo, em corridas e jogos de futebol. É importante que o vestuário utilizado na prática esportiva seja projetado para auxiliar a transferência de umidade e calor, garantindo a efetiva evaporação do suor produzido (HOGANS; MCQUERRY, 2017; MADUNA; PATNAIK, 2020).

A umidade concentrada sobre a superfície da pele durante a prática de exercícios físicos possui forte influência na temperatura corporal e conseqüentemente no conforto (HE et al., 2020). Estudos sobre o gerenciamento de calor e umidade desempenham um importante papel na projeção de uniformes esportivos (MADUNA; PATNAIK, 2020; RV, 2018). Para que o desempenho do atleta seja maximizado, soluções como vestuários ventilados, que são facilitadores da liberação de calor e umidade, são amplamente utilizados (MCQUERRY et al., 2016). O vestuário esportivo pode ainda ser constituído por diferentes estruturas em uma única peça, e promover uma maior ventilação em pontos estratégicos do corpo humano (VARADARAJU; SRINIVASAN, 2019), onde ocorrem os maiores níveis de transpiração.

O desempenho dos atletas também está relacionado às características termodinâmicas, aerodinâmicas e hidrodinâmicas do material têxtil (ALAM; CHOWDHURY; MORIA, 2019; STOJANOVIĆ; GERSAK, 2019). Questões relacionadas à qualidade e durabilidade também são importantes, e podem ser mais bem visualizadas em modalidades como nas artes marciais (PERRY; LEE, 2017). Vestuários mais ventilados podem ser utilizados em esportes de raquete e jogos com bola, e podem reduzir aproximadamente 3,3 % do gasto energético dos atletas, além da redução da temperatura da pele e da umidade relativa, que são de 37 % e 32 %, respectivamente (SUN et al., 2015).

As propriedades dos artigos esportivos também podem ser elaboradas de acordo com as condições climáticas, onde temperaturas mais baixas exigem maior isolamento térmico, enquanto temperaturas elevadas necessitam de um vestuário mais respirável que favoreça o transporte de calor e umidade do corpo (ATALIE et al., 2021). Em temperaturas mais baixas, por exemplo, é comum que os jogadores de futebol utilizem vestuários específicos para isolamento térmico por baixo de seus uniformes durante a partida, de modo que aumente o seu conforto térmico.

Para garantir a vantagem no conforto termofisiológico – o que conseqüentemente aumenta o desempenho físico dos atletas – deve-se efetuar a seleção minuciosa dos substratos têxteis que serão utilizados para a produção do vestuário, devido à morfologia de sua superfície, que pode interferir nos resultados de desempenho (ALAM; CHOWDHURY; MORIA, 2019).

Artigos produzidos a partir da tecnologia de malharia são preferíveis para uniformes esportivos, devido a sua boa permeabilidade ao vapor e ao ar, boa condutividade térmica e controle de umidade, além da maior elasticidade (decorrente das laçadas), o que permite maior liberdade de movimentos do corpo (RAJ; YAMUNADEVI, 2016; STULIĆ, 2022). Além disso, após serem tensionadas, as malhas recuperam-se rapidamente, retornando ao seu estado original (MADUNA; PATNAIK, 2020), ideais para esportes que demandam de muitas movimentações repentinas do corpo humano.

Sabe-se também que os têxteis esportivos contribuem para uma melhora na postura de atletas, em especial, do gênero feminino. O uso de tops esportivos funcionais, por exemplo, pode auxiliar na postura corporal das atletas a partir de compressões localizadas em pontos estratégicos (MCROBERTS; BLACK; CLOUD, 2016). Roupas de compressão também são utilizadas por atletas profissionais que buscam melhorar seu desempenho e acelerar a recuperação de lesões (HALÁSZ et al., 2022). Logo, os têxteis esportivos estão promovendo ganhos relacionados à saúde e bem-estar dos atletas.

O Quadro 2 apresenta alguns esportes e as principais propriedades que devem possuir no que se refere ao vestuário.

Quadro 2 – Propriedades do vestuário de acordo com o grupo esportivo.

Vestuário esportivo	Propriedades exigidas
Camisetas e calças para tênis, voleibol, golfe, futebol, beisebol e atletismo	Absorção de suor, secagem rápida, sensação de frescor
Roupas de esqui e corta-vento	Permeabilidade ao vapor de água, impermeabilização contra chuva, isolamento térmico, baixa resistência a fluidos (melhor escoamento)
Natação, uniforme de patinação, esqui e ciclismo	Baixa resistência às forças de arrasto (melhor escoamento)
<i>Snowboard</i> , uniforme de beisebol e uniforme de futebol americano	Elevada tenacidade, resistência à abrasão, elasticidade

Fonte: Adaptado de Stojanović; Gersak (2019).

No decorrer dos anos, o desenvolvimento de tecnologias têxteis revolucionou e aprimorou o conforto dos atletas. Diversas tecnologias foram criadas, como, por exemplo, o Gore-Tex®, desenvolvido por Bill Gore, que foi o primeiro tecido simultaneamente respirável e impermeável, capaz de transportar calor e umidade da parte interna para o exterior (JIN; CEDROLA, 2018). Outra tecnologia têxtil esportiva desenvolvida foi o ForMotion®, que é capaz de auxiliar na compressão muscular em áreas específicas por intermédio de fibras e tecidos pouco elásticos (PENG; CUI, 2020).

A utilização da biomimética no segmento esportivo ganhou grande visibilidade na natação. No ano de 1996, a Speedo® desenvolveu um uniforme inspirado na pele dos tubarões, que proporcionava ao atleta vantagens no que se diz respeito à força de arrasto exercida na água. O vestuário em questão era composto por poliamida e elastano, com o design que favorecia áreas específicas do corpo por se movimentarem mais durante o ato de nadar. O conceito da biomimética consistia na replicação dos dentículos da pele dos tubarões no tecido, a partir de microsulcos em “V” presentes em sua superfície, responsáveis por direcionar a água e facilitar a locomoção do atleta. O traje de banho foi responsável por reduzir a força de atrito do atleta com a água entre 4 a 10 % (CAETANO, 2019). Estes são alguns dos exemplos de aplicações dos têxteis técnicos na área esportiva que revolucionaram o segmento com produtos inovadores e tecnológicos.

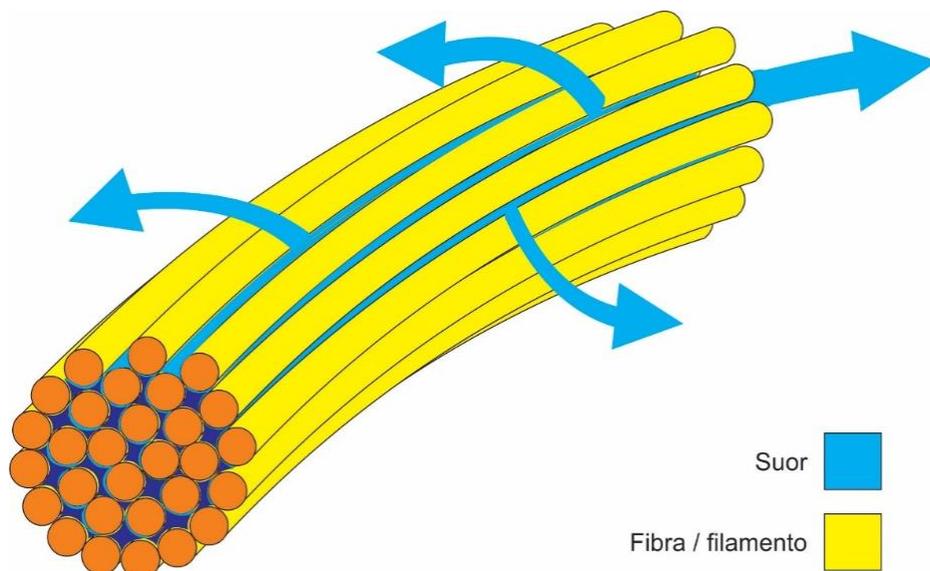
2.2.1 Matérias-primas

2.2.1.1 Fibras Têxteis

Os materiais fibrosos são utilizados em todas as modalidades esportivas, sejam eles aplicados ao vestuário ou em equipamentos utilizados pelos atletas (CAETANO, 2019). É imprescindível que se faça a seleção ideal das fibras, uma vez que estas influenciam diretamente no desempenho e eficiência do atleta, além de garantir sua proteção e conforto (TARAFDER, 2019).

É fundamental para o desenvolvimento de uniformes esportivos o conhecimento sobre as propriedades térmicas que as fibras fornecem, uma vez que impactam na questão termofisiológica (CAETANO, 2019). Também é importante atentar-se às suas características de absorção, as quais interferem no conforto do atleta em seu quesito sensorial. Durante a prática de exercícios físicos, o suor transpassa o canal capilar entre as fibras do vestuário e é arrastado para sua parte externa através da ação de pressão capilar (RV, 2018). A Figura 2 ilustra o funcionamento do mecanismo de pressão capilar entre as fibras de um vestuário esportivo.

Figura 2 – Efeito capilar entre as fibras.



Para o controle de umidade e secagem rápida, as fibras sintéticas possuem algumas vantagens, que proporcionam aos artigos o bom gerenciamento de calor e umidade, leveza e conforto (TARAFDER, 2019). Apesar de também serem aplicadas em vestuários esportivos, as fibras celulósicas são inadequadas aos olhos dos fabricantes e consumidores para a produção de vestuários de alta performance, devido à sua elevada absorção e retenção de umidade (RV, 2018).

Dentre as fibras sintéticas, são mais comumente utilizadas para a produção de roupas esportivas as fibras de poliamida (PA), polipropileno (PP), acrílica (PAN), poliéster (PES) e elastano (EL) – esta última sempre em combinação com outras fibras (STULIĆ, 2022). As fibras de PA e PES garantem a maior eficiência dos vestuários esportivos destinados ao gerenciamento de umidade (TARAFDER, 2019). Atualmente, existem também fibras que são projetadas para aumentar a força capilar e o transporte de umidade, por meio de perfis especiais de seção transversal, garantindo também a boa evaporação do suor (RV, 2018). O Quadro 3 apresenta algumas fibras têxteis que podem ser utilizadas em uniformes esportivos.

Quadro 3 – Principais fibras utilizadas na produção do vestuário esportivo.

Naturais	Sintéticas	Sintéticas especiais
Algodão	Poliéster	Microfibra
Lã	Poliamida	Fibra de carbono
Seda	Elastano	Dacron
	Polipropileno	Roica
	Aramida	Leofeel
	Acrílica	

Fonte: Adaptado de Anandhakumar (2021).

Conforme apresentado no Quadro 3, existem diferentes fibras aplicadas ao vestuário esportivo, onde as propriedades estão de acordo com sua composição e morfologia. A Tabela 1 apresenta as diferentes propriedades de algumas dessas fibras.

Tabela 1 – Propriedades das fibras.

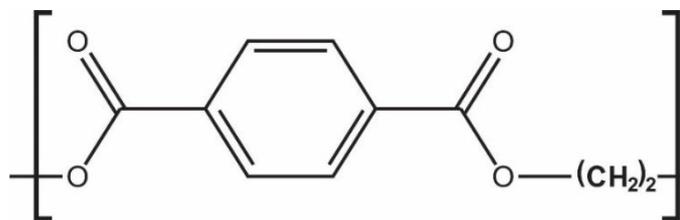
Fibra	Regain (%)	Massa específica (g/cm ³)	Tenacidade (g/den)	Temperatura de fusão (°C)	Alongamento (%)
Algodão	8,5	1,54	27	-	5 - 10
Poliéster	0,4	1,38	3,0 - 10,0	260	10
Polipropileno	0,01	0,90	2,0 - 5,0	160	5

Fonte: Adaptado de Raj; Yamunadevi (2016).

A partir de fibras convencionais foi possível desenvolver algumas tecnologias têxteis avançadas aplicadas ao esporte, com propriedades aperfeiçoadas. Atualmente, existe no mercado fibras sintéticas que protegem contra a radiação ultravioleta (UV) e que são adequadas a aplicação em artigos esportivos utilizados em ambientes abertos (STULIĆ, 2022).

Os materiais poliméricos podem ser aplicados a diferentes segmentos industriais de acordo com os níveis de exigência que desempenham, de modo que suas propriedades definem o uso final do produto (AHMAD et al., 2020). O poliéster utilizado em fibras têxteis é produzido a partir de uma massa polimérica sintética (STOJANOVIĆ; GERSAK, 2019; STULIĆ, 2022). A definição de poliéster, segundo a *International Standards Organization* (ISO), diz que este material é um polímero que compreende macromoléculas lineares sintéticas possuindo em sua cadeia pelo menos 85 % em massa de um éster de diol e ácidos tereftálicos (TEXCOMS, 2019). Há diversos tipos de fibras de poliéster disponíveis, no entanto, o polietileno tereftalato (PET) é predominantemente utilizado para a produção destas fibras (HUFENUS et al., 2020). A seguir é apresentada, na Figura 3, a fórmula química estrutural do PET.

Figura 3 – Fórmula estrutural do PET.



Fonte: Autor.

Os poliésteres são produzidos a partir de uma reação de policondensação entre ácidos dicarboxílicos e dióis, e podem ser classificados em poliésteres termoplásticos (utilizados para formação de fibras, filmes, entre outros) e poliésteres termofixos (utilizados em forma de resinas para o desenvolvimento de compósitos na fase matriz) (TEXCOMS, 2019). Fibras de PES podem ser aplicadas a diversos segmentos, de acordo com as propriedades que serão exigidas deste material.

Apesar de ser uma fibra essencialmente hidrofóbica (RAJ; YAMUNADEVI, 2016), quando utilizada no vestuário, o PES apresenta melhores características em relação à absorção de umidade quando comparado a artigos compostos por CO (HE et al., 2020), o que garante a rápida evaporação do suor e enfatiza sua utilização no setor esportivo (ATALIE et al., 2021; MADUNA; PATNAIK, 2020). Estas fibras ainda possuem excelente estabilidade dimensional

e propriedades mecânicas que variam de acordo com sua aplicação. São resistentes a sujeiras, ácidos diluídos, álcalis, à decomposição, mofo e aos solventes orgânicos (mais comuns), além de serem resistentes também ao calor (CASTILLO et al., 2021; TARAFDER, 2019). É uma fibra caracterizada pela capacidade de acumular energia eletrostática em sua superfície, além de possuir a maior uniformidade dentre todas as fibras sintéticas (STULIĆ, 2022).

As propriedades mecânicas da fibra de poliéster ainda incluem a excelente resistência à tração e ao alongamento, baixo nível de encolhimento, garantindo aos substratos desenvolvidos uma boa resistência à formação de rugas e a abrasão, além de ser de fácil cuidado e manuseio (TEXCOMS, 2019). Além disso, muitas empresas apresentam soluções sustentáveis para o poliéster, e, para reduzir seu desperdício, cerca de 7 % da produção desta fibra está sendo realizada com material reciclado e aplicada aos vestuários esportivos (AHMAD et al., 2020).

2.2.1.1.1 Microfibras

O objetivo inicial do desenvolvimento das microfibras foi alcançar tecidos com um toque mais sedoso a partir de fibras sintéticas (TEXCOMS, 2019). No entanto, o desenvolvimento dos têxteis técnicos esportivos concedeu a este segmento uma nova aplicação deste material (SABREEN, 2017). Atualmente, microfibras podem ser encontradas em diferentes tecnologias de marcas esportivas, especificamente à melhor gestão de umidade.

As microfibras podem ser definidas como filamentos que possuem densidade linear abaixo de 1,0 dtex, ou seja, massa entre 0,3 e 1,0 grama a cada 10000 metros de comprimento (GUILLÉN, 2001). Os filamentos mais finos podem alcançar diâmetros de 5 μm e densidade linear de 0,3 dtex (no caso de filamentos produzidos a partir de PES) (HUFENUS et al., 2020). Na maioria dos casos são compostas de PES ou PA. No entanto, também são encontradas microfibras de polipropileno, acrílicas e celulósicas (STOJANOVIĆ; GERSAK, 2019). A Tabela 2 apresenta a classificação das fibras de acordo com sua densidade linear.

Tabela 2 – Classificação das fibras de acordo com o título.

Diâmetro	Título (dtex)
Grosso	> 7,0
Médio	2,4 – 7,0
Fino	1,0 – 2,4
Microfibra	0,3 – 1,0
Super microfibra	< 0,3

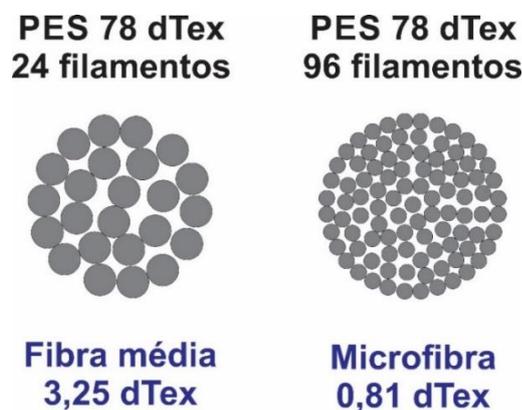
Fonte: Adaptado de Guillén (2001).

As microfibras são também categorizadas como uma das principais tecnologias têxteis utilizadas no gerenciamento de umidade. Devido ao diâmetro reduzido, elas aumentam a capacidade de secagem rápida do vestuário (ABDEL-MEGIED et al., 2020) a partir do aumento do efeito capilar obtido decorrente da elevada área de superfície de um fio composto por microfibras (RV, 2018).

Os vestuários produzidos com microfibras possuem características de leveza, maciez e conforto, especialmente para atividades de elevada transpiração (MADUNA; PATNAIK, 2020). Ademais, as microfibras podem ser produzidas em diferentes tipos de seções transversais, apresentando, por exemplo, uma constituição oca ou microporosa, proporcionando uma melhora nas propriedades funcionais do tecido de acordo com sua aplicação, como a melhor absorção e transporte da umidade (TARAFDER, 2019).

O reduzido diâmetro das microfibras permite que sejam concentrados cerca de 30 mil filamentos por centímetro quadrado (HAQUE, 2003). Na medida em que se aumenta o número de filamentos em um fio de determinada densidade linear (sistema direto), ocorre o aumento da área de superfície, e, em um tecido onde o fator de cobertura é mais elevado, os espaços entre os filamentos é menor. Isto garante que o artigo produzido com estes filamentos aumente seu grau de repelência à água (na parte externa) devido a sua elevada tensão superficial, tornando-o mais impermeável. Simultaneamente a estas características, o vapor d'água é também capaz de ultrapassar este tecido do meio interno para o externo, garantindo a rápida evaporação do suor e o conforto do atleta (TEXCOMS, 2019). A Figura 4 apresenta um esquema que indica a diferença entre fios de mesmo título, sendo um composto por fibras médias e o outro por microfibras.

Figura 4 – Comparação entre fios com multifilamentos médios e microfibras.



Fonte: Autor.

Conforme apresentado na Figura 4, os fios produzidos a partir das microfibras, quando comparados àqueles compostos por filamentos médios, possuem um maior número de micro espaçamentos distribuídos em sua seção transversal, responsáveis por aumentar seu efeito capilar e transportar mais efetivamente a umidade sobre estes canais. Ou seja, quanto menor estes espaçamentos, maior é o efeito capilar do vestuário, e mais rapidamente o suor é evaporado.

Atualmente, as microfibras são encontradas em diversas aplicações, devido à suas propriedades que oferecem aos artigos têxteis um grande potencial em tendências funcionais e estéticas (ABDEL-MEGIED et al., 2020). Elas são aplicadas a produtos distintos, no entanto, a maior parte destes produtos está relacionada com sua boa capacidade de absorção, como roupas íntimas, panos de limpeza e vestuários esportivos (HUFENUS et al., 2020).

2.2.1.1.2 Seção transversal

As propriedades das fibras estão diretamente relacionadas à sua estrutura física, química e morfológica, que influenciam aspectos de tenacidade, rigidez, abrasividade, absorção de umidade e conforto (TEXCOMS, 2019). A morfologia das fibras, bem como sua seção transversal, também influencia na propagação da luz (seja luz visível ou radiação infravermelha), sua refletância (TAO et al., 2018) e radiação térmica (HU et al., 2020). Apesar das seções transversais das fibras estarem a uma escala micrométrica, não perceptível a olho nu, elas influenciam fortemente nas propriedades do artigo têxtil desenvolvido.

As fibras de origem vegetal e animal possuem seções transversais específicas que se modelam naturalmente. Já as fibras de origem artificial e sintética podem apresentar diferentes formas de seção transversal que dependerão do perfil dos bicos utilizados ao extrudar o polímero (STULIĆ, 2022). Alguns modelos possíveis de seção transversal são apresentados na Figura 5.

Figura 5 – Diferentes seções transversais das fibras.

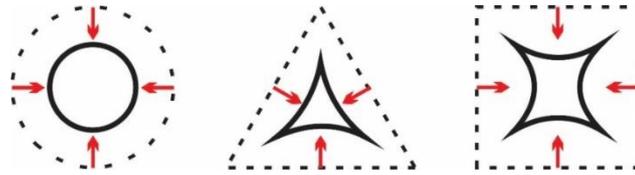


Fonte: Adaptado de Texcoms (2019).

O formato da seção transversal das fibras tem sido um fator reconhecido como uma estratégia muito útil para a retenção de ar nos artigos têxteis (PENG; CUI, 2020), bem como para o gerenciamento térmico e de umidade. Estudos indicam que fibras com seção transversal irregular (como a estrutura multilobal apresentada na Figura 5) possuem grande área superficial, e garantem ao artigo produzido uma elevada permeabilidade ao ar (YANG et al., 2019). A variação da seção transversal das fibras e filamentos (diâmetro, formato e porosidade), que é alcançada durante processo de extrusão, interfere diretamente nas propriedades relativas ao gerenciamento de umidade, possibilitando assim, o desenvolvimento de fios com forte efeito capilar (STOJANOVIĆ; GERSAK, 2019; ULLAH et al., 2021).

Concentrações elevadas de não solventes nos banhos de coagulação, utilizados na fiação a úmido, podem alterar a seção transversal do filamento produzido, causando irregularidades ao material (SARABIA-RIQUELME et al., 2019). Além disso, no processo de extrusão, os bocais projetam forças perpendiculares aos limites das bordas, ou seja, a maior força aplicada a extrusão é direcionada ao centro do orifício, devido a sua baixa resistência mecânica e ausência de atrito. Deste modo, ao serem extrudadas, as fibras não necessariamente sairão no mesmo formato dos bocais. Bocais triangulares podem resultar em fibras com seções transversais em formato de “Y”, e bocais quadrados em fibras com formato de “X” (YANG et al., 2019). A Figura 6 apresenta um esquema referente aos formatos dos bocais da fieira (traços pontilhados) e as fibras que são projetadas por eles quando estiradas (traços contínuos) de acordo com a força perpendicular projetada durante a extrusão (setas vermelhas).

Figura 6 – Bocais da fieira e projeções das seções transversais nos filamentos.



Fonte: Adaptado de Yang et al. (2019).

Atualmente, no mercado, diferentes artigos têxteis são considerados tecnológicos devido ao desenvolvimento de fibras especiais, que são produzidas em modelos de seção transversal modificados. Um exemplo é a tecnologia CoolMax®, que utiliza para o desenvolvimento de seus artigos fibras exclusivas com seção transversal que apresenta quatro canais, o que contribui no transporte de umidade (PENG; CUI, 2020).

2.2.1.2 Malhas

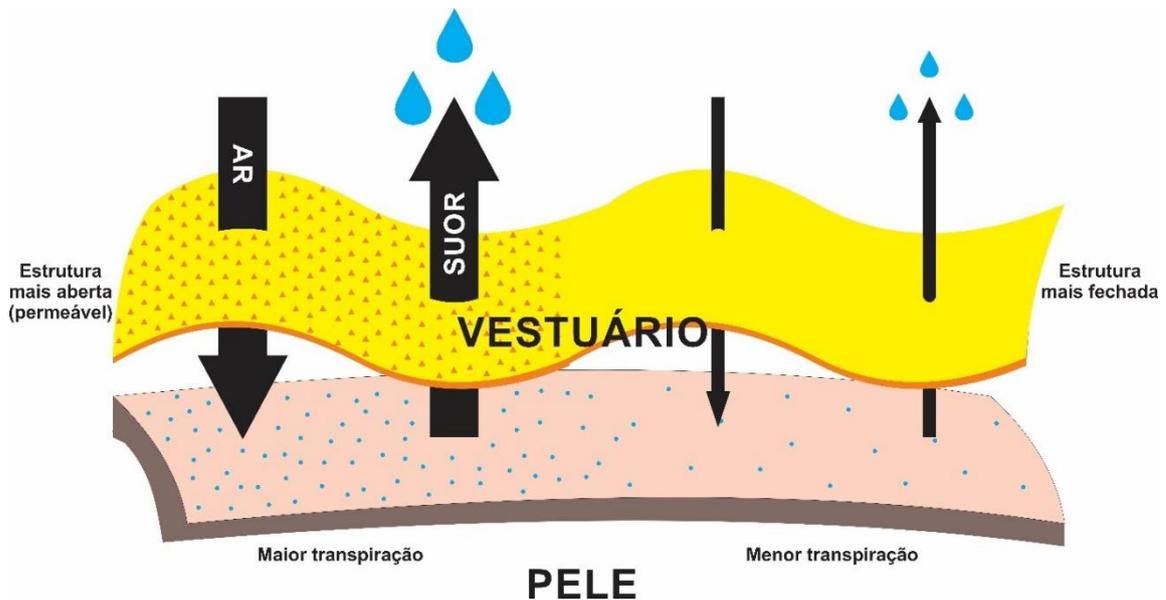
Os artigos de malha são classificados de acordo com o seu método produtivo em dois grandes grupos: as malhas por trama e por urdume, que darão origem a uma grande variedade de estruturas pode ser alcançada. As malhas por trama são produzidas por laçadas construídas na direção da largura do tecido. Já a malha por urdume é produzida a partir de laçadas construídas na direção vertical, ou seja, ao longo do seu comprimento (HAQUE, 2003).

Independente da estrutura da malha, as laçadas proporcionam ao artigo uma boa elasticidade (ABDEL-MEGIED et al., 2020). Especificamente na malharia por trama, a combinação dos diferentes tipos de pontos, bem como sua proporção, desempenha um importante papel na determinação das propriedades físicas da malha (MISHRA et al., 2021), influenciando na funcionalidade do vestuário e no desempenho físico do usuário. No estudo realizado por Mishra et al. (2021), onde comparou-se a permeabilidade entre malhas de estrutura jersey e pique lacoste (produzidas em tear com mesma galga e fios de mesma densidade linear), pode-se analisar que o segundo apresenta maior permeabilidade ao ar, devido aos pontos carregados em sua estrutura, que diminuem o fator de cobertura da malha.

A principal funcionalidade proporcionada aos artigos de malhas aplicados ao vestuário esportivo é garantir o conforto do atleta, proporcionando um microclima constante e agradável entre a pele e o vestuário, sem ser influenciado por condições climáticas externas (STYGIENÉ et al., 2020). Este microclima é mais bem gerenciado quando estruturas de malha com menor fator de cobertura são destinadas a regiões onde há uma maior transpiração do corpo

(VARADARAJU; SRINIVASAN, 2019), pois um menor fator de cobertura resulta na maior permeabilidade ao ar da malha. Devido a estas características, os artigos de malha possuem vantagens em relação a outros artigos têxteis utilizados na produção de roupas esportivas (STOJANOVIĆ; GERSAK, 2019). A Figura 7 ilustra o transporte de umidade do corpo para o meio, sendo mais bem executado na parte da estrutura de malha que apresenta menor fator de cobertura (lado esquerdo).

Figura 7 – Ilustração do transporte de umidade em função da estrutura de malha.



Fonte: Autor.

O esquema apresentado na Figura 7 simula o transporte de calor e umidade do corpo para o meio, e sua influência a partir da estrutura têxtil utilizada. A maior transpiração ocorre em regiões com menor fator de cobertura do substrato têxtil diminuindo o acúmulo de suor retido tanto no vestuário como sobre a pele.

A permeabilidade ao ar, quando comparada a tecidos planos produzidos com os fios de mesmo título, é maior em artigos têxteis de malha, devido ao raporte que torna sua estrutura mais aberta (porosa) e respirável, resultado da combinação entre as laçadas que a constituem, juntamente com seus parâmetros estruturais. No entanto, esta permeabilidade é diminuída quando o substrato está saturado com umidade, devido à redução dos poros (MADUNA; PATNAIK, 2020). Além das propriedades mencionadas, malhas apresentam melhores propriedades de alongamento e recuperação, o que auxilia na pressão adequada sobre o corpo (MISHRA et al., 2021).

As características estruturais dos artigos de malha são importantes para avaliar e simular muitas propriedades funcionais relacionadas ao resfriamento do vestuário (MISHRA et al., 2021). A densidade das malhas, sua espessura, razão entre volume de poros e rugosidade são características que se relacionam à frieza subjetiva do artigo, ou seja, a sensação de frescor percebida pelo usuário (PARK et al., 2018).

Devido às suas propriedades de conforto e flexibilidade, as malhas são exploradas em diversas áreas, como para aplicações médicas, de proteção, esportivas, entre outras (MISHRA et al., 2021). Para o setor de vestuário esportivo, os artigos de malha são preferíveis devido sua maior elasticidade, que proporciona maior liberdade de movimentos durante a atividade física (RAJ; YAMUNADEVI, 2016), boa resistência mecânica (LIU; ZHOU, 2019), boa permeabilidade ao vapor de água e ao ar, condutividade térmica e controle de umidade (STULIĆ, 2022).

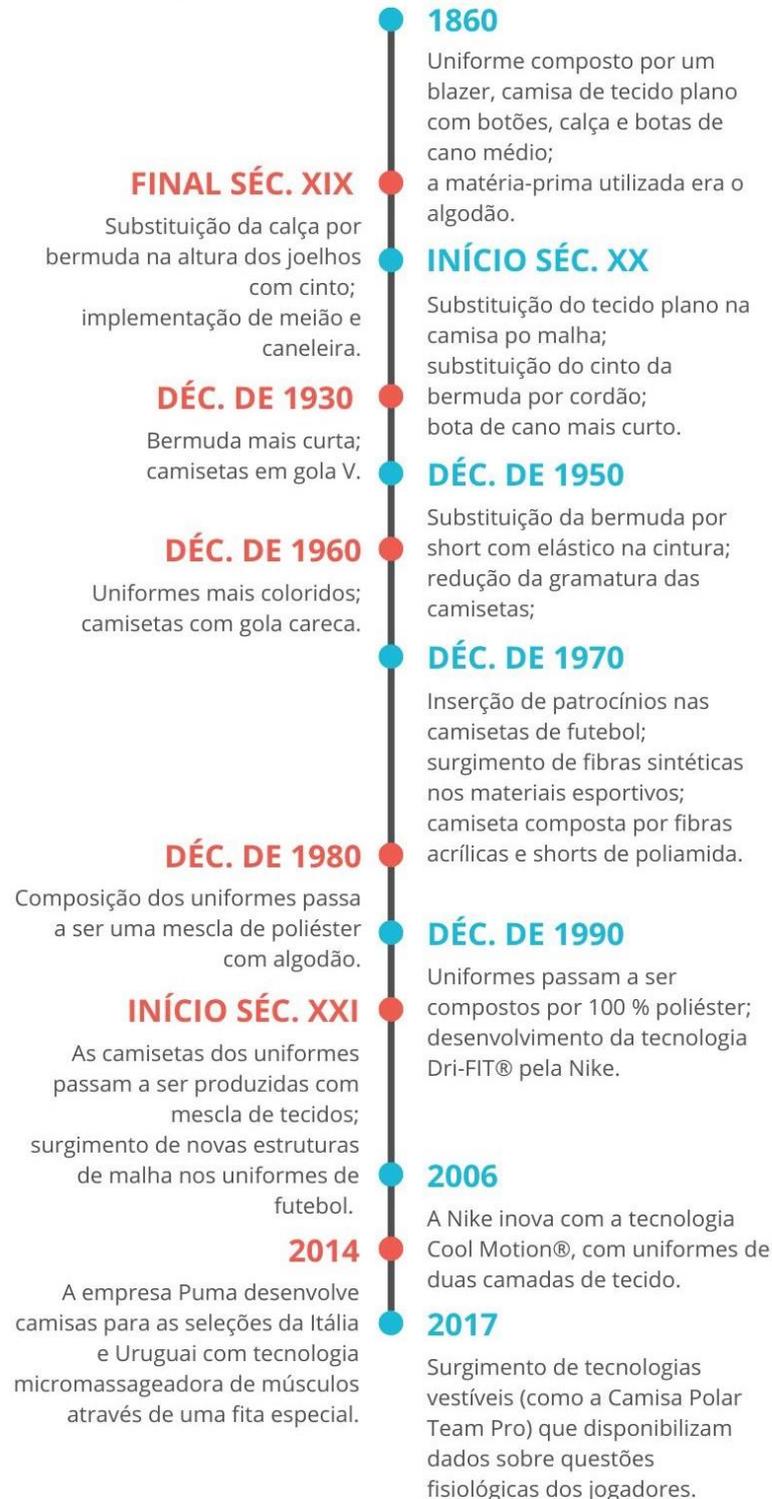
2.3 EVOLUÇÃO DAS TECNOLOGIAS TÊXTEIS NO FUTEBOL

Segundo a International Football Association Board (IFAB), que é o órgão regulamentador das regras de futebol dirigido pela FIFA, Inglaterra, Gales, Escócia e Irlanda do Norte, os uniformes de futebol devem ser obrigatoriamente compostos por uma camiseta com mangas, calção, meiões, caneleiras e calçado (IFAB, 2020). Apesar de atualmente haver novas tecnologias, como a inserção de eletrônicos vestíveis presentes nos uniformes dos jogadores, as tecnologias têxteis voltadas ao desenvolvimento deste vestuário não foram sempre promissoras, de modo que até prejudicava o desempenho dos atletas por intermédio do desconforto provocado.

O uniforme utilizado no século XVIII, especificamente em 1860 (composto por uma camisa de botões, blazer, calça, botas de cano médio e touca (para proteger os jogadores contra impacto das costuras existentes na bola) era produzido em tecido plano 100 % de fibras de CO. (SANCHES et al., 2010). Além das desvantagens proporcionadas pela utilização de tecidos planos nos uniformes, que em comparação aos artigos de malha apresentam níveis inferiores de elasticidade e eficiência na gestão de umidade (STOJANOVIĆ; GERSAK, 2019), as propriedades de alta absorção e retenção de umidade do algodão ainda aumentavam o desconforto sentido pelos atletas, devido ao uniforme “agarrar-se” a pele quando umedecido (RAJ; YAMUNADEVI, 2016).

A Figura 8 apresenta uma breve evolução dos uniformes de futebol no decorrer dos anos apresentada em uma linha do tempo. As informações foram coletadas dos textos dos autores Sanches et al. (2010), Neuner (2017), Kamal (2018) e Ellis (2019).

Figura 8 – Evolução do desenvolvimento dos uniformes de futebol.



Fonte: Autor.

O grande marco para o desenvolvimento de tecnologias têxteis esportivas foi à introdução dos materiais sintéticos, que atualmente são a base para todos os uniformes de futebol (geralmente compostos por poliéster). A partir do surgimento destes materiais, a produção destes uniformes foi direcionada ao conforto, leveza e maior respirabilidade do corpo dos jogadores (SANCHES et al., 2010). Além das atuais tecnologias de secagem rápida disponíveis no mercado que se preocupam com o desempenho e conforto dos atletas, percebe-se o grande avanço dos eletrônicos vestíveis, que são vistos como promissores para o esporte no futuro, apresentando soluções não somente referente ao desempenho, mas também a saúde do jogador, como o acompanhamento em tempo real da frequência cardíaca, temperatura e outras possibilidades (PENG; CUI, 2020).

2.4 CONFORTO TERMOFISIOLÓGICO E O VESTUÁRIO

O conforto pode ser interpretado de diferentes formas. Para os autores Raj e Yamudadev (2016), ao falar sobre o conforto relacionado ao vestuário, este pode ser dividido em quatro principais tópicos: conforto termofisiológico, que está relacionado ao equilíbrio térmico corporal; conforto sensorial, que está relacionado ao toque e ao sentimento tátil do sujeito ao entrar em contato com a superfície de um material (vestuário); conforto psicológico, que diz respeito à sensação despertada no indivíduo ao tocar uma superfície diferente do comum (como um vestuário umidificado pela transpiração); e mobilidade, que indica sobre a capacidade de mover-se livremente, sem que haja dificuldades.

O conforto termofisiológico está relacionado à transferência efetiva do calor produzido pelo corpo para a atmosfera, mantendo a temperatura corporal em uma faixa térmica tolerável, entre 36,5 e 37,5 °C (ULLAH et al., 2021). Esta faixa térmica está associada à sensação que o indivíduo reage a diferentes temperaturas (sensação térmica). Refere-se não somente à existência de estímulos frios ou quentes do ambiente, mas também a duração destes, bem como aos estados fisiológicos (taxa de fluxo sanguíneo, força muscular, espessura cutânea) e psicológicos (sensação de umidade, taxa de troca térmica entre pele, vestuário e ambiente) do indivíduo (HU et al., 2020). Isso indica que a troca térmica efetiva é um fator determinante para o conforto pessoal.

O gerenciamento térmico pessoal tem alcançado grande importância para o desenvolvimento de produtos e artigos, promovendo um próspero progresso ao segmento de têxteis esportivos (PENG; CUI, 2020). Quando este gerenciamento ocorre de forma inadequada

no vestuário, pode resultar em hipertermia, insolação e desconforto térmico ao usuário (ULLAH et al., 2021). O gerenciamento de umidade ocorre de forma conjunta ao conforto térmico, e pode ser definido como o transporte controlado de água líquida e vapor (transpiração) da superfície da pele para a atmosfera através do artigo têxtil (RV, 2018). O desenvolvimento de artigos altamente funcionais para gestão de calor e umidade está fundamentado em propriedades controladas microscopicamente no vestuário.

Um dos fatores responsáveis pela garantia do melhor gerenciamento termofisiológico em um vestuário é a transferência de calor por convecção. Este modelo abrange dois mecanismos: movimento molecular aleatório (difusão); e movimento global (macroscópico) do fluido, que está associado ao fato de que em determinado momento aleatório, muitas moléculas se movem coletivamente. Este movimento (aleatório ou global), adicionado ao gradiente de temperatura, é responsável pela transferência de calor (INCROPERA et al., 1996). Portanto, em um vestuário ocorre a troca de calor por convecção devido à diferença de temperatura do artigo têxtil e do ar (ou vento).

Em relação à eficácia da transferência de calor por convecção no vestuário, um aspecto relevante é a permeabilidade ao ar e ao vapor, visto que uma elevada permeabilidade reflete na maior troca térmica entre o corpo e o meio ambiente, devido à rápida evaporação de umidade fornecida pelo material (HU et al., 2020). Em um sistema ideal, o conforto térmico é alcançado através do equilíbrio entre o calor produzido e o perdido pelo corpo (ULLAH et al., 2021).

A condução de calor de um material descreve sua capacidade de transportar calor através de seu corpo, impulsionado por um gradiente de temperatura. A lei de Fourier expressa o fluxo de calor em corpos presentes em meio estacionário. Materiais poliméricos conduzem calor por meio de vibrações da rede cristalina (fônons), e na maioria dos casos, são classificados como maus condutores. De modo geral, a estrutura amorfa dos polímeros resulta na diminuição do caminho livre médio dos fônons, o que conseqüentemente reduz sua capacidade de conduzir calor (XUE; LOFLAND; HU, 2019). O Quadro 4 apresenta algumas propriedades têxteis relacionadas ao desenvolvimento de artigos destinados a melhor gestão de calor e umidade.

Quadro 4 – Propriedades têxteis relacionadas ao conforto térmico.

Propriedades	Definição
Isolamento térmico	Refere-se à perda de resistência de calor por condução proporcionada pela camada de ar (isolante) presente no tecido
Condutividade térmica	Determinada pela taxa de transmissão de calor por intermédio do tecido
Permeabilidade ao vapor de água	Representa a propensão de um tecido à transferência do vapor de água, também conhecido como transpiração insensível (perda de água pela pele,

Propriedades	Definição
	que não ocorre como suor perceptível), liberada quase que constantemente pelo corpo
Absorção de umidade	Capacidade de um tecido absorver o suor gerado pelo corpo e a velocidade com que ele é capaz de fazê-lo
Drenagem	Capacidade de um tecido transportar o suor absorvido para longe do local de absorção
Permeabilidade ao ar	Refere-se à medida de quão bem o ar é capaz de fluir através de um tecido
Taxa de secagem	Consiste na taxa na qual a água é evaporada da superfície externa de um tecido
Coefficiente de atrito superficial	O coeficiente de atrito geralmente aumenta significativamente quando um tecido fica molhado, levando a fricção ou atrito com a pele. Contribui para o conforto sensorial
Toque	Termo que descreve as qualidades táteis de uma peça de vestuário. Inclui propriedades como suavidade, caimento, compressibilidade e maleabilidade
Propriedades antimicrobianas, antibacterianas e antiodor	Propriedades importantes no vestuário que tende a permanecer em contato com o suor por longos períodos, visando reduzir a proliferação de agentes microbianos e bacterianos

Fonte: Adaptado de Raj; Yamunadevi (2016).

No vestuário esportivo, a condutividade térmica é um atributo relevante e complexo, pois reflete na capacidade do substrato têxtil de conduzir o calor produzido pelo corpo por intermédio da geração de suor – resultado da dissipação de calor – promovendo o acúmulo de umidade sobre a pele (ATALIE et al., 2021). O artigo têxtil destinado ao conforto térmico deve ser desenvolvido não somente para proporcionar efeitos de aquecimento ou resfriamento, mas também possuir a capacidade de se adaptar ao ambiente externo como aqueles que apresentam temperaturas mais elevadas (PENG; CUI, 2020). Portanto, as tecnologias têxteis, presentes nas fibras, fios, estruturas ou acabamentos, são estudadas e aplicadas de forma que se alcance o máximo de desempenho no que refere ao quesito termofisiológico.

De maneira sintetizada, os diversos aspectos que influenciam no desempenho térmico do substrato têxtil são: a composição do material; a microestruturação das fibras (seção transversal, longitudinal, porosidade); estruturas têxteis provenientes de diferentes tecnologias (tecidos planos, malhas, entre outros); espessura do substrato, densidades de fios; modelagem do vestuário; e até mesmo a possibilidade da integração de dispositivos eletrônicos flexíveis (PENG; CUI, 2020; ULLAH et al., 2021).

As características que promovem o conforto do vestuário esportivo são amplamente determinadas por suas propriedades de gerenciamento de umidade (RV, 2018), que podem se diferenciar entre si. O Quadro 5 apresenta diferentes tipos de tecidos de acordo com suas funcionalidades, relacionando-os com a umidade corporal, bem como suas características.

Quadro 5 – Diferentes tipos de tecidos e suas propriedades.

Tipo de tecido	Características
A prova d'água	Absorção muito lenta de umidade ou simplesmente não há seu transporte (sem penetração)
Repelente à água	Não molha; sem absorção; sem propagação; transporta umidade sem forças externas
Absorção e secagem lenta	Absorção lenta; baixo transporte de umidade
Absorção rápida e secagem lenta	Umedecimento e absorção entre médio a rápido; espalhamento lento e de pequena área; transporte de umidade ruim
Absorção e secagem rápida	Umedecimento e absorção entre médio a rápido; grande área de espalhamento; propagação rápida; transporte de umidade ruim
Penetração de água	Pequena área de espalhamento; excelente transporte de umidade
Gerenciamento de umidade	Umedecimento e absorção entre médio a rápido, promovendo o transporte satisfatório de umidade de uma superfície interna e externa

Fonte: Adaptado de RV (2018).

Em repouso e em condição atmosférica normatizada, ou seja, temperatura a 20 °C, pressão a 1 atm e umidade absoluta a 11 g/m³ de condições ambientais, o corpo humano libera aproximadamente 60 ml/h de vapor de água. Essa taxa é aumentada para 450 ml/h em esforços moderados (como uma caminhada) e durante práticas esportivas mais intensas, a transpiração atinge uma média de 840 ml/h (RV, 2018). O acúmulo de umidade no vestuário afeta o desempenho do usuário, pois impacta no equilíbrio térmico e em outros aspectos relacionados ao conforto (RACCUGLIA et al., 2018).

Durante a prática de exercícios físicos, a transpiração se intensifica e a umidade é relativamente absorvida pelos artigos têxteis. Caso a umidade fique retida no vestuário e não seja transportada para a superfície externa do tecido, o resfriamento do corpo não ocorre, resultando em seu aquecimento e no aumento da produção de suor (RV, 2018). Quando a temperatura da superfície corporal diminui, há uma sensação de frio, e se a temperatura diminui continuamente, pode causar hipotermia (MADUNA; PATNAIK, 2020). Portanto, além dos aspectos relacionados ao conforto, os têxteis destinados à gestão térmica e de umidade também se correlacionam aos aspectos de saúde e bem-estar dos atletas.

O vestuário esportivo exerce uma barreira para a transferência eficiente de calor, aumentando a temperatura corporal e a sudorese. O excesso de umidade no tecido reduz o calor do corpo e estimula a fadiga do atleta. Assim sendo, o vestuário utilizado deve possuir duas importantes propriedades para manter a pele seca: proporcionar a evaporação da transpiração

da superfície da pele, que ocorre devido a sua boa permeabilidade ao ar e vapor; e garantir a transferência da umidade para a atmosfera, a partir do efeito capilar do substrato têxtil (RV, 2018). Modelagens bem elaboradas abordam a utilização de diferentes estruturas em pontos estratégicos do corpo, de acordo com a produção de suor de cada parte (MADUNA; PATNAIK, 2020).

2.5 PRINCIPAIS MARCAS DE VESTUÁRIO ESPORTIVO

Atualmente, existem diversas marcas no mercado que se dedicam a produção de artigos esportivos, onde estas se distinguem em seus preços de venda, designs e qualidade de seus produtos. No entanto, este segmento é liderado por três principais marcas que são conhecidas mundialmente: Adidas, Nike e Puma (HEIDI, 2019). O destaque destas marcas está sustentando por anos de tradição, além das inovações tecnológicas que elas oferecem ao setor esportivo.

Durante os eventos esportivos internacionais mais populares, as principais marcas esportivas buscam promover seus produtos desenvolvidos. As marcas Puma e Adidas, por exemplo, fundadas em 1948 e 1949 por Adolf Dassler e Rudolf Dassler (irmãos que anteriormente possuíam juntos a empresa “Gebrüder Dassler Schuhfabrik”, fundada em 1924, na Alemanha), obtiveram níveis diferentes de sucesso que são refletidos até a atualidade, graças a suas divulgações em eventos esportivos. Durante a Copa do Mundo da FIFA de 1954, a Adidas patrocinou a seleção da Alemanha, que foi a grande campeã do torneio (SMIT, 2008). As três listras presentes nas chuteiras da seleção campeã (característica marcante da Adidas até os dias atuais) se popularizaram, resultando no grande destaque da empresa frente a sua concorrente Puma.

Apesar de seu surgimento ocorrer após suas principais concorrentes (Adidas e Puma), a Nike, fundada em 1972 por Bill Bowerman e Phillip Knight, nos Estados Unidos, tem se tornado líder em inovação na indústria de artigos esportivo devido à busca pelo entendimento do movimento e a fisiologia do corpo humano (JIN; CEDROLA, 2018).

A divulgação e patrocínio das empresas esportivas nas seleções participantes da Copa do Mundo da FIFA é ainda um fator que promove a competitividade entre as marcas, principalmente no que se refere à quantidade de títulos obtidos das seleções patrocinadas, além de alcançar maior número de clientes no setor esportivo (BOUREDJI et al., 2020). As informações das 32 seleções participantes da Copa do Mundo de 2022, referentes aos uniformes e seus patrocinadores, são expressas no Quadro 6.

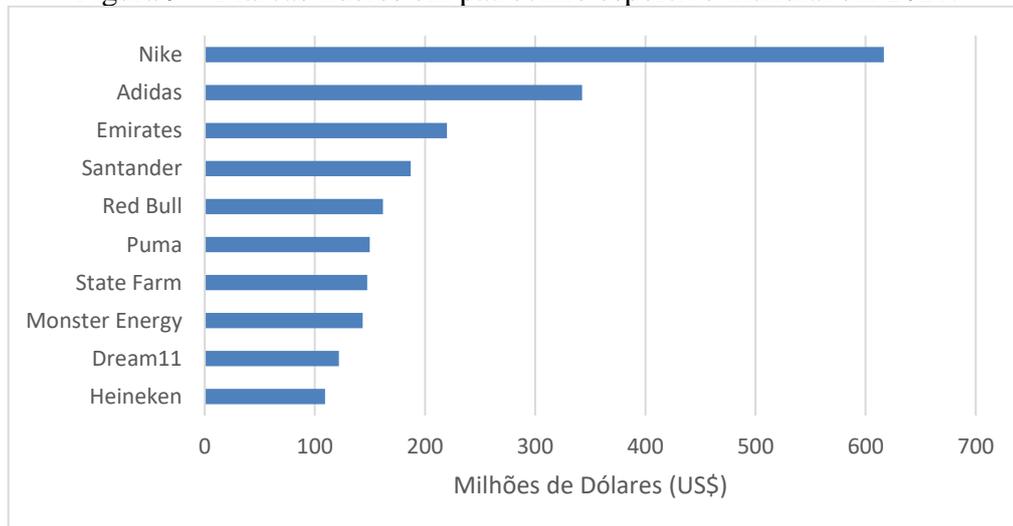
Quadro 6 – Marcas esportivas patrocinadoras das seleções da Copa do Mundo de 2022.

Seleções	Marcas			
	Adidas	Nike	Puma	Outras
		Arábia Saudita		
		Austrália		
		Brasil		
	Alemanha	Canadá	Gana	Camarões
	Argentina	Catar	Marrocos	Costa Rica
	Bélgica	Coréia do Sul	Senegal	Dinamarca
	Espanha	Croácia	Sérvia	Equador
	Japão	Estados Unidos	Suíça	Irã
	México	França	Uruguai	Tunísia
	País de Gales	Holanda		
		Inglaterra		
		Polônia		
		Portugal		
Total	7	13	6	6

Fonte: Autor.

Marcas como Adidas, Nike e Puma investem valores consideráveis em patrocínios de times de futebol por todo o mundo (BOUREDJI et al., 2020). O gráfico ilustrado na Figura 9 apresenta as marcas que lideram o patrocínio esportivo no que se refere ao seu valor de patrocínio¹.

Figura 9 – Marcas líderes em patrocínio esportivo mundial em 2021.

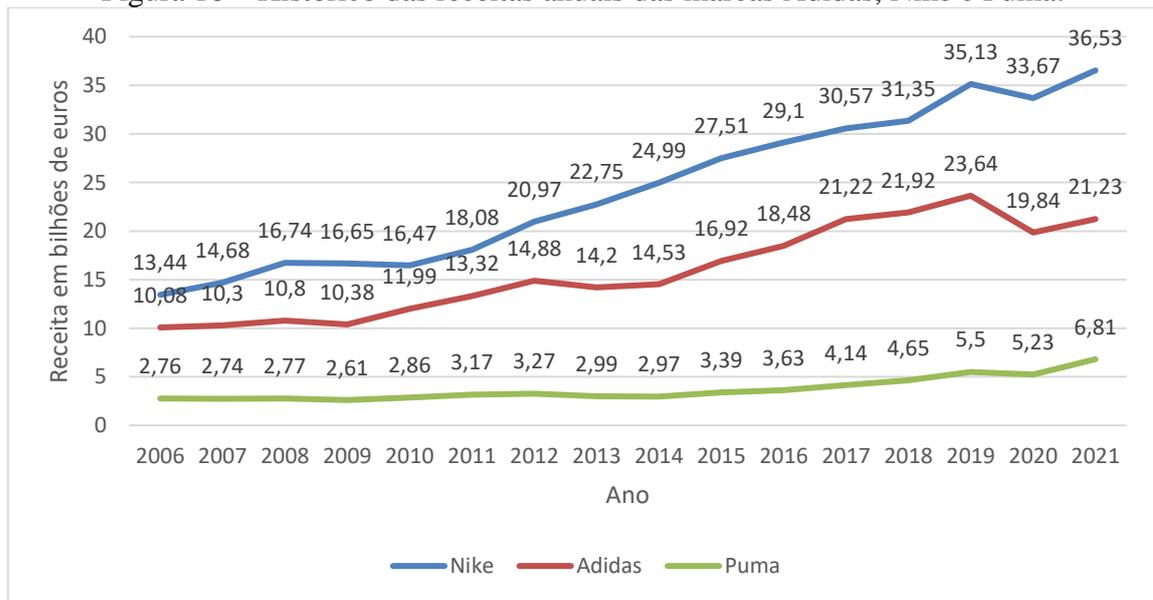


Fonte: Adaptado de López (2021).

¹ O valor de patrocínio é calculado a partir da multiplicação entre o valor potencial e a qualidade da promoção (LÓPEZ, 2021). O primeiro refere-se ao resultado do engajamento de mídia social (curtidas, comentários, compartilhamentos e visualizações de vídeos) e a estimativa do valor que a marca utilizaria para atingir esse nível de engajamento através do custo de publicidade na plataforma. Qualidade de promoção é o fator de desconto que pontua percentualmente a eficácia da promoção da marca que é realizada por parceiros (BREUM, 2021).

Além das grandes marcas esportivas citadas, outras empresas de diferentes segmentos do mercado (como as na Figura 9) possuem grande importância em patrocínios esportivos. A imagem ilustrada na Figura 10 apresenta uma comparação entre as receitas anuais das marcas Adidas, Nike e Puma, empresas que possuem maior destaque no setor de artigos esportivos.

Figura 10 – Histórico das receitas anuais das marcas Adidas, Nike e Puma.



Fonte: Adaptado de Tighe (2022).

Apesar do domínio dessas três marcas no mercado global de artigos esportivos, percebe-se, pelo gráfico da Figura 10, que a empresa Nike possui grande vantagem frente a suas concorrentes, onde superou em 2021 a receita da Adidas e Puma somadas.

2.6 TECNOLOGIA DRY-FIT

A tecnologia têxtil de secagem rápida destinada ao conforto térmico dos atletas é popularmente conhecida como Dry-FIT. Desenvolvida inicialmente para a aplicação em vestuários de corredores e composta por 100 % poliéster, esta tecnologia foi criada pela Nike na década de 1990 e nomeada como Dri-FIT® (JIN; CEDROLA, 2018). Presume-se que o termo “Dry-FIT” se popularizou em artigos têxteis de melhor gestão de umidade devido ao próprio lançamento da Nike, visto que foi esta marca que deu início a tecnologia e proporcionou uma grande revolução nos vestuários esportivos de elevado desempenho.

Após o sucesso da Nike no lançamento da tecnologia Dri-FIT®, outras grandes marcas do setor de artigos esportivos desenvolveram tecnologias semelhantes de secagem rápida Dry-FIT, como a Aeroready®, da Adidas (atual nome da tecnologia comercializada pela marca) e dryCELL®, da Puma (BOUREDJI et al., 2020; LIMNELL; BOX, 2021). Para as marcas Adidas, Nike e Puma tornou-se comum projetar vestuários esportivos de elevada tecnologia destinados ao melhor gerenciamento da transpiração (NUHRAT, 2020), promovendo uma melhor gestão de umidade no uniforme esportivo, o aumento do desempenho e do conforto termofisiológico do atleta.

A tecnologia Dry-FIT é caracterizada pela utilização de microfibras em sua estrutura, responsável por promover a melhor absorção da transpiração, direcionando-a para a área externa do vestuário, permitindo sua rápida evaporação através da convecção térmica (CASTILLO et al., 2021). A utilização de microfibras na produção de artigos esportivos Dry-FIT promove o aumento da microporosidade no interior dos fios (espaços livres na escala micrométrica) que facilitam o transporte de umidade por ação capilar (MADUNA; PATNAIK, 2020). Apesar das tecnologias Dry-FIT possuírem os mesmos princípios e características (utilização de microfibras e secagem rápida), cada marca utiliza seu próprio nome na busca por diferenciação.

2.6.1 Adidas Aeroready®

No ano de 2001, a Adidas passou por modificações administrativas, onde a nova gestão focou na inovação de seus produtos (ADIDAS, [2022]). Nesta temática, a primeira tecnologia Dry-FIT da marca foi lançada no ano de 2002 e nomeada de ClimaCool®, que consiste no emprego de microporos ao vestuário responsáveis por aumentar sua permeabilidade ao ar, sendo esta uma das principais tecnologias de elevado desempenho da Adidas, e que permaneceu em ênfase pela marca por anos, passando por contínuas atualizações (VUONG, 2021).

Segundo a Adidas ([2021]), a tecnologia de secagem rápida ClimaCool® permite maior respirabilidade e ventilação do tecido, canalizando o ar fresco do ambiente para a pele, o que resulta na redução do acúmulo de calor e suor. Esta tecnologia se ramificou em outras marcas desenvolvidas pela empresa voltadas ao conforto termofisiológico dos atletas, como o ClimaLite® e ClimaChill® (VUONG, 2021). A tecnologia de secagem rápida ClimaLite® foi projetada para manter os atletas secos em temperaturas elevadas, transportando mais facilmente

o suor do corpo para a superfície externa do vestuário, evitando também o acúmulo de calor e suor (KAAABPIA, 2021).

Até a Copa do Mundo de 2014, a Adidas introduziu nos uniformes das seleções patrocinadas as tecnologias ClimaCool® e Adizero®, que foram substituídas na Copa do Mundo de 2018 por ClimaLite® e ClimaChill®. A partir de 2020 a empresa passou a aplicar uma nova atualização de sua tecnologia de secagem rápida, o Aeroready®. Esta tecnologia principal possui ainda quatro subtecnologias, que são a Rain.RDY®, Heat.RDY®, Cold.RDY® e Wind.RDY® (NO MORE CLIMACOOOL..., 2020). O Aeroready® é a atual tecnologia de secagem rápida produzida e introduzida pela Adidas em seus artigos esportivos de elevado desempenho.

A tecnologia Aeroready® utiliza microfibras, promovendo a secagem rápida através da absorção e transporte eficiente de umidade para a parte externa do vestuário, propondo uma melhor gestão de umidade que permite a sensação de leveza dos atletas, mantendo-os mais frescos e secos, de modo que o corpo estabilize sua temperatura (ADIDAS, [2020]).

2.6.2 Nike Dri-FIT®

Até o final da década de 1980, a Nike não possuía como prioridade a busca por inovações voltadas ao desempenho do atleta durante a prática esportiva. Para o desenvolvimento de seus artigos, a empresa utilizava tecnologias externas, de outras empresas, como o Coolmax® e Thermax®. A tecnologia FIT (do termo em inglês *Functional Innovative Technology*, diferente do FIT de “Dry-FIT”) desenvolvida pela marca surgiu na década de 1990, quando a inovação de desempenho com ênfase voltada aos materiais tornou-se um dos principais objetivos da Nike (HEMMELL, 2021), levando ao desenvolvimento de tecnologias que mudariam a indústria de artigos esportivos, como o Dri-FIT® (JIN; CEDROLA, 2018).

A linha FIT desenvolvida pela Nike apresentou grande impacto na indústria esportiva. Os primeiros vestuários com a tecnologia Dri-FIT® serviram como modelo padrão para os artigos esportivos desenvolvidos posteriormente (HAMMELL, 2021). Ao passar dos anos esta tecnologia foi sendo aprimorada, de modo que houvesse a implementação de novas propriedades nos vestuários desenvolvidos, como a proteção ultravioleta e mapeamento corporal para resfriamento de partes do corpo específicas que apresentassem maior necessidade (JIN; CEDROLA, 2018).

Segundo a Nike ([2022]), a tecnologia Dri-FIT® é um tecido de microfibras de PES projetado para manter o atleta seco e confortável durante a atividade, absorvendo de maneira mais efetiva a transpiração e transportando-a para a superfície do material, promovendo a sua evaporação. Além disso, a marca ainda afirma que o gerenciamento de suor do Dri-FIT® tem efeito permanente durante toda a vida útil do vestuário.

Atualmente, o Dri-FIT® é uma das tecnologias de vestuário esportivo mais conhecidas (STOJANOVIĆ; GERSAK, 2019). Apesar de a Nike manter o nome da tecnologia desde sua criação, o Dri-FIT® ainda é um produto inovador ao mercado de vestuários esportivos, visto que constantemente passa por melhorias.

2.6.3 Puma dryCELL®

A tecnologia de secagem rápida desenvolvida pela Puma é nomeada como dryCELL®. De acordo com a marca, esta tecnologia promove melhores propriedades relacionadas ao gerenciamento e a absorção de umidade (transpiração), que auxiliam no conforto dos atletas mantendo-os mais secos durante as atividades esportivas (PUMA, [2022]). O dryCELL® garante a secagem rápida dos uniformes esportivos a partir da redução na retenção de umidade (PUMA, 2021).

Vestuários esportivos que utilizam a tecnologia dryCELL® no futebol são compostos por microfibras de poliéster, que aumentam a absorção, canalizam a umidade para a parte externa (de modo que seu interior fique seco), promovendo o espalhamento da umidade para a área externa da superfície. Consequentemente, a evaporação é mais rápida através da convecção térmica e redução da aderência do material à pele do utilizador (PUMA..., [2018]).

Esta tecnologia também tem sido aprimorada ao longo dos anos e combinada com outras tecnologias desenvolvidas pela Puma. Para a Copa do Mundo de 2022, além da tecnologia dryCELL®, a Puma aplicou aos uniformes das seleções tecnologias complementares a esta, que auxiliam na termorregulação corporal. (PUMA, [2022]).

3 METODOLOGIA

Para estudar as diferenças entre as tecnologias de secagem rápida aplicadas ao vestuário esportivo de futebol, fez-se a aquisição de três camisas destinadas a este esporte, das marcas Adidas, Nike e Puma, que possuem as tecnologias Aeroready®, Dri-FIT® e dryCELL®, respectivamente.

Para o desenvolvimento deste trabalho, a metodologia utilizada foi dividida em duas seções principais, sendo uma voltada à caracterização das camisas e a outra destinada à análise de desempenho das mesmas, referente a questões de gestão de umidade e conforto termofisiológico de um jogador profissional de futebol.

De acordo com as recomendações fornecidas pelas três marcas fabricantes, as camisas são destinadas ao uso da prática de futebol. São compostas por 100 % PES, de cor dominante branca e tamanho GG, conforme apresenta a Figura 11.

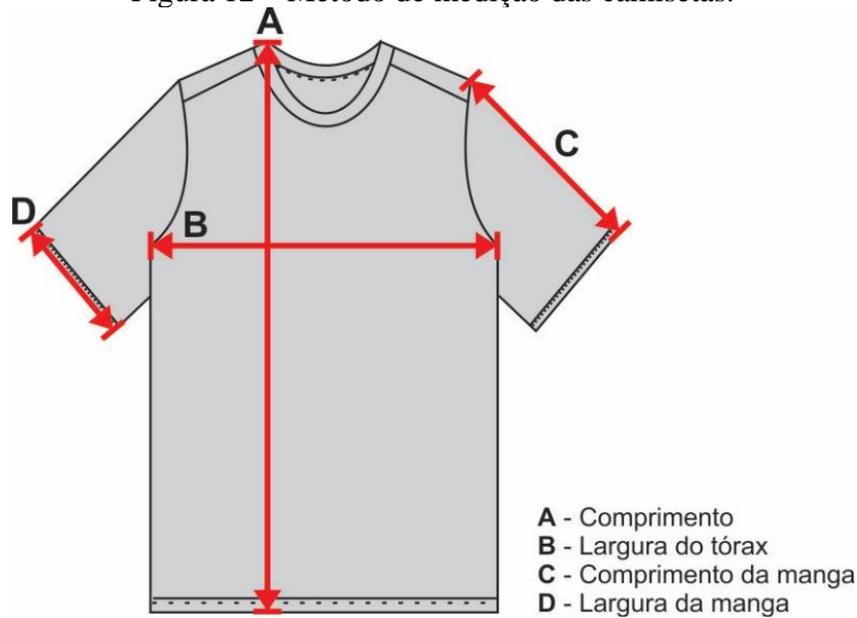
Figura 11 – Camisetas de futebol Adidas Aeroready® (a), Nike Dri-FIT® (b) e Puma dryCELL® (c).



Fonte: Autor.

Para coletar as informações técnicas da modelagem das camisas da Adidas, Nike e Puma, foram realizadas medições de forma padronizada para as três, conforme indicações apresentadas na Figura 12.

Figura 12 – Método de medição das camisetas.



Fonte: Autor.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

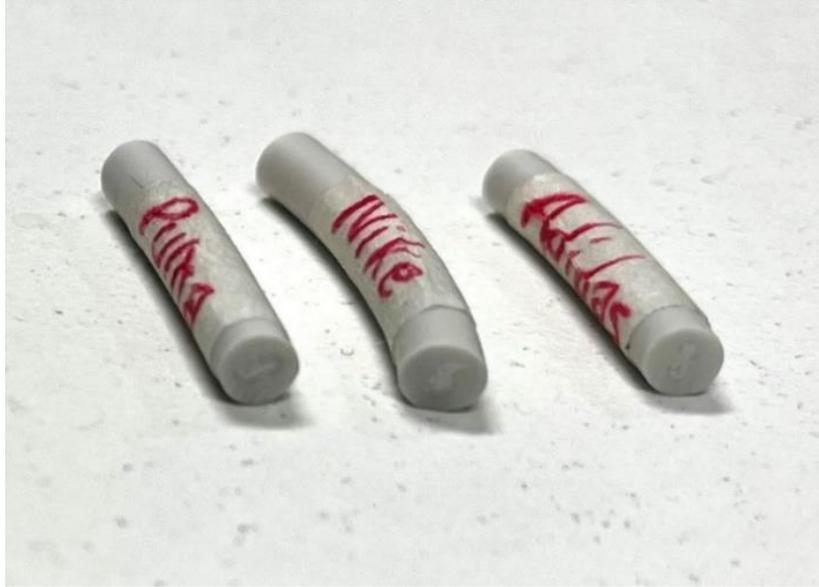
Os estudos de caracterização das fibras, fios e malhas que constituem as camisetas de futebol, foram realizados no Laboratório de Tecidos e Malhas (LABTEC) e no Laboratório de Microscopia e Análise Estrutural (LMAE) ambos da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus Blumenau, e no Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME) da UFSC do Campus Florianópolis.

3.1.1 Microscopia em fibras

As seções transversais e longitudinais dos filamentos utilizados nas camisetas foram identificados com o auxílio da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), em microscópio eletrônico da marca Jeol, modelo JSM-6390LV. As amostras foram inicialmente depositadas em um stub para recobrimento com ouro, feito a partir do método de “*sputtering*” em recobridora da marca LEICA, modelo EM SCD 500.

Para a seção longitudinal, separaram-se amostras dos fios utilizados. As amostras para análise da seção transversal foram dispostas em encapamentos de fios elétricos e cortadas suas extremidades com lâmina de bisturi, conforme exibe a Figura 13.

Figura 13 – Amostras de fibras encapadas para análise da seção transversal.



Fonte: Autor.

A partir da análise em MEV, foi possível identificar a morfologia dos filamentos.

3.1.2 Titulação de fios

Para determinar o título dos fios presentes nas malhas das camisetas, os fios desmalhados foram pesados na balança. O título de cada amostra foi calculado a partir da Equação 1, utilizada para determinação de títulos diretos.

$$K \times P = C \times T \quad (1)$$

Onde K é a constante referente ao título; P é a massa [g]; C o comprimento [m]; T é o título do fio [dTex]. O título do fio utilizado em cada camiseta foi definido a partir da média de cinco amostras coletadas.

3.1.3 Malhas

Utilizou-se para esta análise amostras de malhas das três camisetas, balança de alta precisão, lupa conta-fios, paquímetro e microscópio ótico.

3.1.3.1 *Estrutura de malha*

Os ensaios para a identificação das estruturas de malha foram baseados nas normas ABNT NBR 13460:1995 e ABNT NBR 13462:1995. As amostras coletadas foram observadas a partir da microscopia ótica e a evolução dos fios durante a desconstrução das malhas.

3.1.3.2 *Gramatura e espessura*

Para determinar a gramatura das malhas, duas amostras circulares de cada camiseta, de área 100 cm², foram coletadas e pesadas. A partir destes dados, fez-se a divisão da massa pela área, resultando na gramatura da amostra. Esta análise foi realizada conforme especificações da norma ABNT NBR 10591: 2008.

3.1.3.3 *Densidade das laçadas*

O ensaio para a obtenção da densidade das laçadas foi baseado na norma ABNT NBR 12060:1991. Esta caracterização foi obtida com o auxílio da lupa conta-fios, efetuando cinco medições em diferentes pontos da camiseta para cálculo da média. O valor da densidade é expresso pelo resultado da multiplicação entre a quantidade de colunas e carreiras presente em uma área específica.

3.1.3.4 *Espessura*

A espessura de cada malha foi determinada a partir de medições com o paquímetro em 5 diferentes locais da malha, e partir disso realizado o cálculo da média.

3.1.3.5 *Comprimento de laçada*

Para determinar o comprimento de laçada das malhas marcou-se uma coluna da estrutura, em seguida, foram contadas as 100 colunas seguintes e novamente marcou-se a coluna de posição 101. O fio desmalhado foi inserido no crimp tester para a verificação da medida disponível entre as duas marcações. Determinou-se o comprimento da laçada a partir

da média de 5 medições considerando a razão entre o comprimento do fio e a quantidade de colunas.

3.2 ANÁLISES EXPERIMENTAIS

A análise da influência das camisetas de futebol e suas tecnologias no desempenho físico dos atletas foram realizadas na academia disponibilizada pelo clube de futebol para a preparação física de seus jogadores.

Os ensaios referentes ao desempenho funcional das camisetas foram realizados no LABTEC, Laboratório de Fenômenos de Transporte (LAFET) e Laboratório de Meio Ambiente (LABMAM), da UFSC do Campus Blumenau, na Central de Análises do Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos (EQA) e no Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E), da UFSC do Campus Florianópolis.

3.2.1 Absorção de água

Os ensaios para análise de absorção das malhas foram baseados na norma ISO 20158:2018 “*Determination of water absorption time and water absorption capacity of textile fabrics*”, sob condições de ambiente conforme indica a norma ABNT NBR ISO 139 “Atmosferas-padrão para condicionamento e ensaio”. A coleta de dados foi realizada em triplicata para cada tecnologia Dry-FIT estudada, para que ao final fossem calculadas as médias.

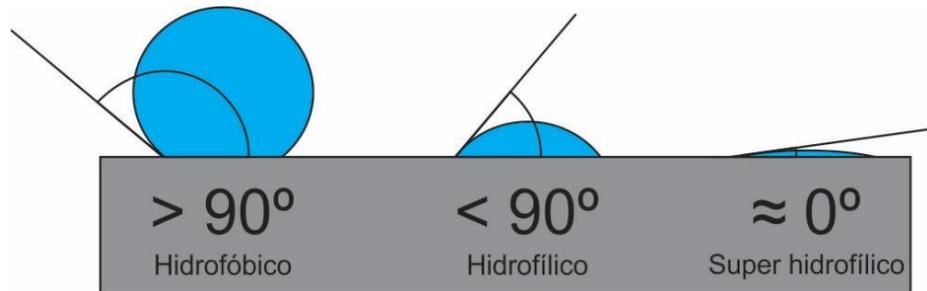
Este ensaio consiste na observação de uma amostra de dimensão 10 x 10 cm que é pesada inicialmente e colocada sobre um recipiente com água, de forma que fique na horizontal. A amostra absorve a umidade e, quando totalmente umedecida, imerge no recipiente. O tempo que leva para a amostra imergir é anotado e, em seguida, a amostra é retirada do recipiente e colocada na vertical por 30 segundos para que goteje o excesso de água. Após retirar o excesso, a amostra é pesada novamente.

3.2.2 Ângulo de contato

O ensaio de ângulo de contato fornece informações sobre a hidrofiliidade do material. Esta análise foi realizada no goniômetro modelo ramé-Hart 250, utilizando o método de gota sésil, no qual uma gota de matéria líquida (água) é depositada sobre a amostra sólida a ser

analisada, a fim de medir o ângulo de contato entre a gota e o material a ser estudado. Materiais considerados hidrofóbicos possuem ângulo de contato superior a 90° ; materiais hidrofílicos apresentam ângulos inferiores a 90° e materiais super hidrofílicos possuem ângulos de contato aproximados de 0° (SPASOVA; RAHNEV, 2021), conforme ilustrado na Figura 14.

Figura 14 – Determinação da hidrofiliidade a partir do ângulo de contato.



Fonte: Autor.

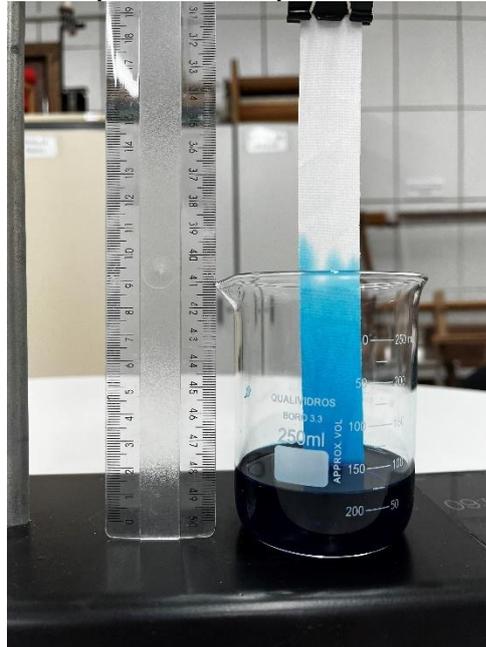
Para este ensaio, efetuou-se a análise do ângulo de contato no direito e avesso técnico de cada camiseta, em amostras de dimensão 4 x 1 cm.

3.2.3 Transporte de umidade

Os materiais utilizados neste experimento foram seis amostras de cada malha (três retângulos no sentido das colunas e três o sentido das fileiras), becker, água, corante direto turquesa Tricel (utilizado para facilitar a análise visual) e cronômetro. Este ensaio baseou-se na norma JIS L 1907 “*Testing methods for water absorbency of textiles*”.

Este ensaio consiste na análise da distância percorrida pela umidade em um determinado espaço de tempo, a partir do efeito capilar das amostras. Para isto, cada amostra foi estendida individualmente com o auxílio do suporte e parcialmente imersa (2 cm) em solução com água e corante, conforme ilustrado na Figura 15. Em seguida, anotou-se a distância percorrida pela solução durante o tempo de 2 minutos. O ensaio foi finalizado após 10 minutos que a amostra ficou submersa.

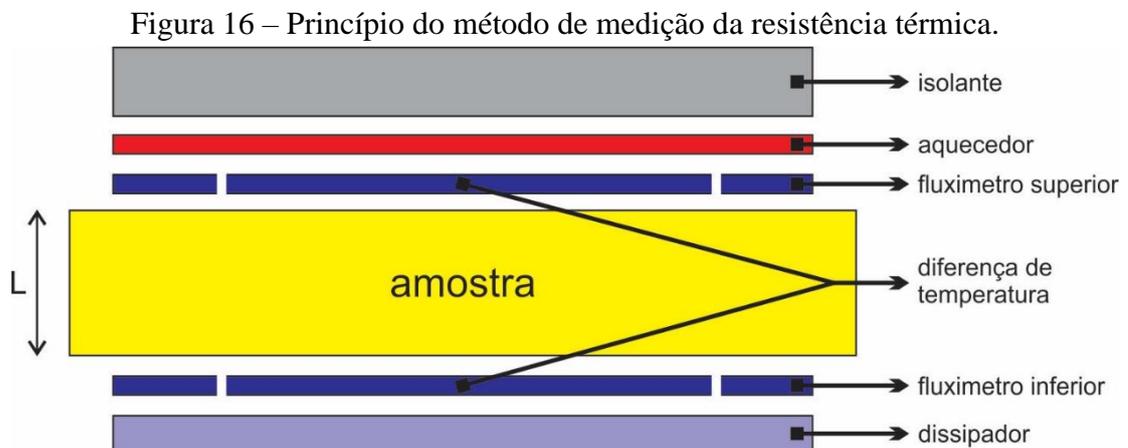
Figura 15 – Exemplo do ensaio para análise da capilaridade.



Fonte: Autor.

3.2.4 Transporte de calor por condução

Os ensaios de condutividade foram baseados nas Normas Técnicas ASTM C-518: “*Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus*” e ISO 8301:1991 “*Thermal insulation – Determination of steady-state thermal resistance and related properties – Heat flow meter apparatus*” empregando o equipamento fabricado pela LaserComp, modelo FOX 300. A Figura 16 apresenta o esquema do dispositivo utilizado para a análise.



Fonte: Autor.

A Lei de Fourier, expressa na Equação 2 (XUE; LOFLAND; HU, 2019) afirma que:

$$\frac{1}{A} \frac{dQ}{dt} = -\lambda \frac{dT}{dz} \quad (2)$$

Onde dQ/dt é a taxa de fluxo de calor ao longo da direção z e dT/dz o gradiente térmico resultante. A partir da Lei de Fourier, os dados sobre a condutividade térmica λ [W/m.K] (expressa na Equação 3) e a resistência térmica R [m².K/W] (Equação 4) do material podem ser obtidos.

$$\lambda = \frac{L}{R} \quad (3)$$

Onde L é a espessura [m] do material analisado.

$$R = \frac{T_1 - T_2}{\left(\frac{q}{A}\right)} \quad (4)$$

Onde q é o fluxo de calor médio medido pelos fluxímetros 1 e 2 [W], A é a área dos materiais [m²] e T_1 e T_2 as temperaturas médias nas superfícies das amostras [K].

A partir dos dados mencionados nas Equações 3 e 4 é possível comparar a capacidade de transporte térmico de cada camiseta, calculando a taxa de transferência de calor q [W] que é conduzida através da sua espessura, durante determinado tempo e gradiente de temperatura, conforme apresentado na Equação 5.

$$q = \frac{\lambda A \Delta T}{L} \quad (5)$$

Onde o gradiente ΔT [K] é a variação de temperatura $T_1 - T_2$.

Este ensaio foi realizado a uma temperatura média de 25 °C, para amostras com medidas 10 x 10 cm. A incerteza estimada é de 5 % e o intervalo de confiança 95 %.

3.2.5 Secagem por convecção forçada

O teste de secagem por convecção forçada indica o tempo que um determinado material leva para secar em condições controladas (velocidade de vazão do ar e temperatura). Os materiais utilizados neste ensaio foram amostras de malha de dimensão 14 x 14 cm, balança digital, becker, água, suporte de alumínio, cronômetro e um secador e túnel de vento composto por diferentes elementos, conforme apresentado na Figura 17:

- Túnel de vento para secagem composto de carcaça dupla e isolamento térmico, construído em aço carbono galvanizado resistente à corrosão, contendo um difusor de ar e um sensor de temperatura com controlador proporcional integral derivativo (PID);
- Módulo de aquecimento de carcaça dupla e isolamento térmico, construído em aço carbono galvanizado resistente à corrosão, contendo resistências elétricas;
- Sensor de temperatura com indicador, para segurança do sistema;
- Soprador centrífugo de 1 CV com controle de vazão por inversor de frequência;
- Medidor de velocidade de ar tipo anemômetro de fio quente, digital e portátil;
- Psicrômetro de bulbo seco e úmido com dois sensores de temperatura com indicador;
- Painel elétrico de comandos e indicações, construído conforme norma NBR 5410.

Figura 17 – Túnel de vento.

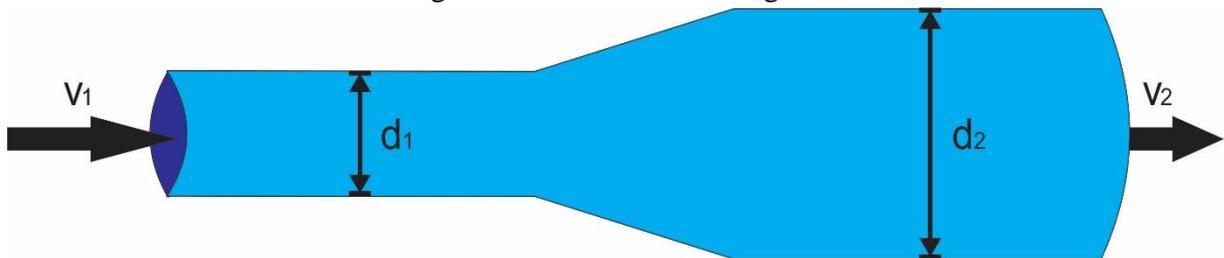


Fonte: Autor.

O método de análise consistiu na pesagem inicial das amostras, a seguir a submersão delas em água e segunda pesagem após 30 segundos estendida. No túnel de vento está acoplado uma balança, que possibilita a análise simultânea da pesagem do material quando este está estendido sobre o mesmo. A amostra foi submetida a uma corrente de ar a 25 °C e velocidade constante. Ao decorrer do experimento, efetuou-se a anotação da massa do material, de acordo com o tempo de exposição ao vento (secagem). A coleta de dados ocorreu a cada 20 segundos nos 3 primeiros minutos; a cada 30 segundos do 3º ao 10º minuto; a cada 1 minuto do 10º ao 15º minuto; a cada 3 minutos do 15º ao 30º minuto; e a cada 5 minutos após os 30 minutos iniciais do ensaio, finalizando em 45 minutos. Com estes dados foi possível elaborar um gráfico que ilustra a curva de secagem de cada tecnologia Dry-FIT estudada.

O sistema de secagem conta com um túnel de vento (tubo de Venturi) com variação no seu diâmetro interno (Figura 18), que resulta na variação da velocidade.

Figura 18 – Sistema de secagem.



Fonte: Autor.

A velocidade de saída e de secagem do material (padronizada para todas as amostras) foi calculada conforme a equação da continuidade, expressa na Equação 6.

$$\rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2 \quad (6)$$

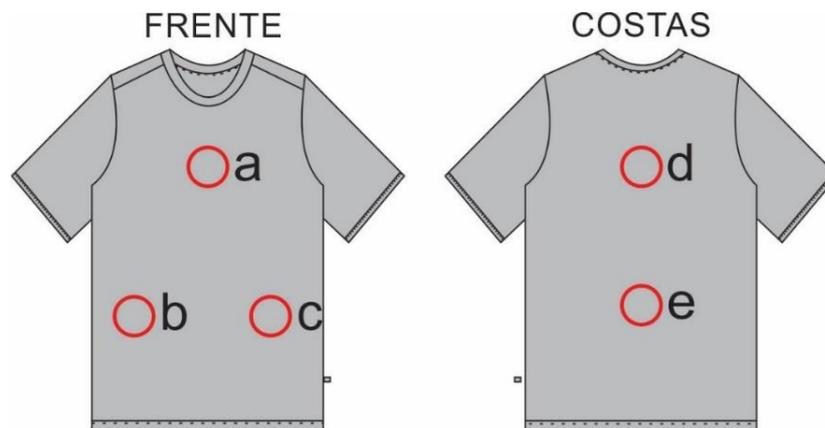
Onde ρ é a densidade do ar (que é a mesma de entrada e saída devido à igualdade de temperatura, portanto é anulada), v a velocidade [m/s] (v_1 a velocidade de entrada e v_2 a de secagem) e A a área do túnel. O diâmetro de entrada (d_1) é 10 cm e o de saída (d_2) 20 cm.

Também para definir a umidade relativa (%) e umidade absoluta (kg/m^3) do ar, utilizaram-se os valores de temperatura do bulbo seco e temperatura do bulbo úmido que serviram para identificar estas umidades a partir do diagrama psicrométrico (vide Anexo 1).

3.2.6 Permeabilidade ao ar

Para este ensaio utilizou-se o equipamento Textest Instruments/FX3360, que mede a permeabilidade ao ar. O teste foi replicado 5 vezes para cada camiseta, em 5 locais diferentes (a, b, c, d, e), conforme apresenta a Figura 19.

Figura 19 – Localização das áreas para ensaio de permeabilidade ao ar.



Fonte: Autor.

A vazão de ar foi mensurada em *Cubic Feet Minute* (CFM), que identifica o volume de ar em pés cúbicos que passa pela área definida de um pé quadrado durante o tempo de um minuto. Conforme as recomendações do fabricante do equipamento fizeram-se as medições em um orifício de medição com 4,5 cm de diâmetro, e seu resultado foi obtido a partir da leitura direta no visor do equipamento.

3.2.7 Avaliação de corrida com jogador profissional de futebol

Para esta avaliação, foi elaborado um projeto relativo a este TCC, que foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Santa Catarina (CEPSH-UFSC), com o Certificado de Apresentação de Apreciação Ética (CAAE) de número 59859522.2.0000.0121. O Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) foi lido e assinado pelos sujeitos participantes da pesquisa, e, em seguida, efetuou-se a coleta de dados necessários para o desenvolvimento do trabalho (temperatura corporal, frequência cardíaca e massa de suor absorvida pelas camisetas). Os dados coletados foram explorados e finalizados com o tratamento dos resultados obtidos e sua interpretação.

Reconhece-se que os resultados obtidos a partir desta análise, bem como suas interpretações, não podem ser generalizados, nem tampouco exprimem em verdades absolutas. Todavia, entende-se que a demonstração de uma real situação vivenciada por atletas, especificamente jogadores de futebol que utilizam em maior frequência uniformes incorporados pelas tecnologias têxteis supracitadas neste TCC durante suas atividades, proporciona a este trabalho um valor concebível, diferenciando as tecnologias presentes no mercado, podendo servir como base para futuros projetos, de forma que sigam as ideias deste ou as refutem.

Utilizaram-se, portanto, as camisas de futebol com tecnologias de secagem rápida, esteira ergométrica eletrônica, cronômetro, termo-higrômetro digital, termômetro digital Aiqura e balança digital para pesagem.

Segundo os autores Stojanović e Gersak (2019), o desempenho do atleta durante a prática esportiva está diretamente relacionado às características térmicas e de gerenciamento de umidade presentes nos uniformes. Deste modo, realizaram-se testes com um jogador profissional de futebol de um time regional, para analisar a influência dessas camisas no aspecto termofisiológico do jogador, bem como suas propriedades de absorção, transporte de umidade e secagem rápida.

O experimento foi efetuado em dois diferentes dias para as três camisas. No primeiro dia, a sequência de ensaios das tecnologias foi: Dri-FIT®, dryCELL® e Aeroready®. Já para o segundo dia, a ordem foi alterada de forma aleatória, para evitar qualquer interferência nos resultados. Desta forma, a sequência foi alterada para Aeroready®, dryCELL® e Dri-FIT®.

O método definido consistiu na atividade física sobre uma esteira, utilizando a camiseta de futebol analisada, onde o jogador de futebol caminhou durante 8 minutos a uma velocidade de 6 km/h; em seguida correu a uma velocidade de 10 km/h durante os 4 primeiros minutos; e 12 km/h nos 4 minutos restantes, totalizando 8 minutos de corrida. Por fim, o atleta ficou em repouso por 5 minutos. Ao final de cada uma dessas etapas (caminhada, corrida e repouso), foram coletados os dados referentes à temperatura do microclima formado entre o uniforme e a pele (parte peitoral, com o auxílio de um termômetro digital), frequência cardíaca do atleta e a massa de umidade absorvida e retida pela camiseta (pesada na balança). Para isso, contou-se com o peso inicial das camisas, antes de iniciar a atividade sobre a esteira.

Para respeitar as condições físicas do atleta e não proporcionar vantagens a qualquer tecnologia estudada, após cada ensaio, o jogador descansava até que sua frequência cardíaca retornasse à medida inicial e que ele se sentisse apto para um novo ensaio (o que levaria aproximadamente 15 minutos).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 MORFOLOGIA DAS AMOSTRAS

As características técnicas referentes à modelagem das camisetas estão expressas na Tabela 3.

Tabela 3 – Dados técnicos das camisas utilizadas.

Marca	Tecnologia	Comprimento (cm)	Largura do tórax (cm)	Comprimento da manga (cm)	Largura da manga (cm)	Massa (g)
Adidas	Aeroready	80	60	26,5	19,5	191
Nike	Dri-FIT	80	60	32,5	18,5	181
Puma	dryCELL	76	60	26	20,5	172

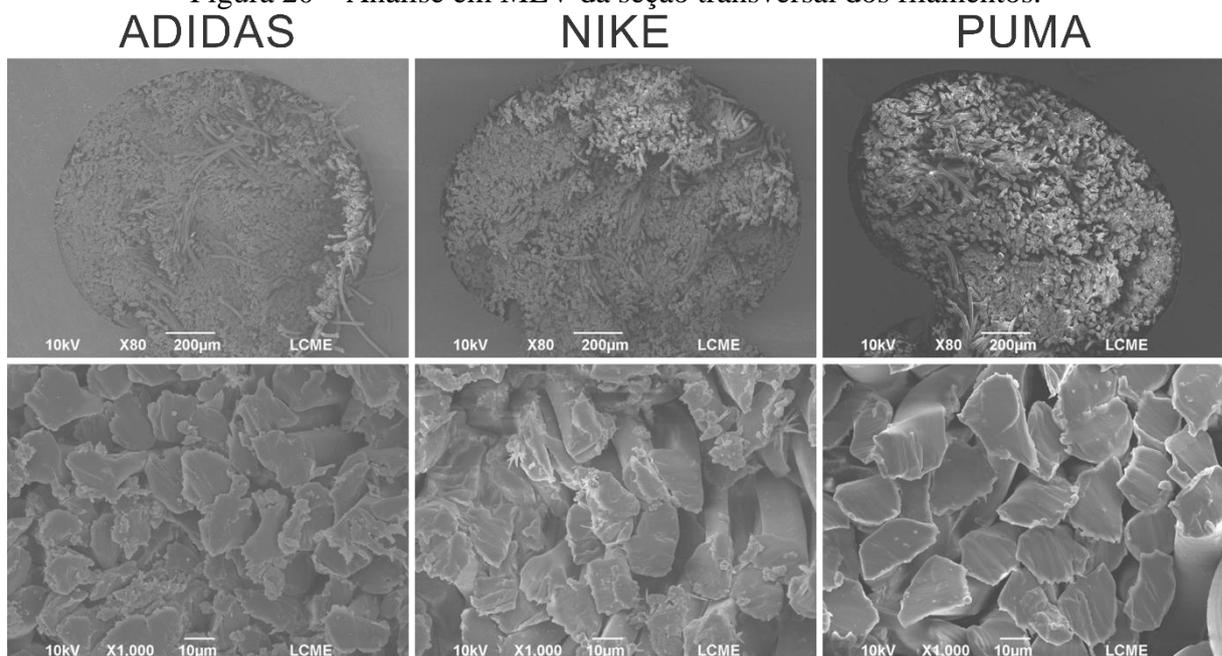
Fonte: Autor.

Apesar de todas as camisetas serem de tamanho GG, nota-se que apenas as dimensões de largura do tórax possuem valores iguais, as demais se diferenciam ligeiramente entre si.

4.1.1 Análise de MEV das fibras

O formato e dimensões das seções transversais foram observados em MEV, com ampliações de 80 e 1000 vezes, conforme apresenta a Figura 20.

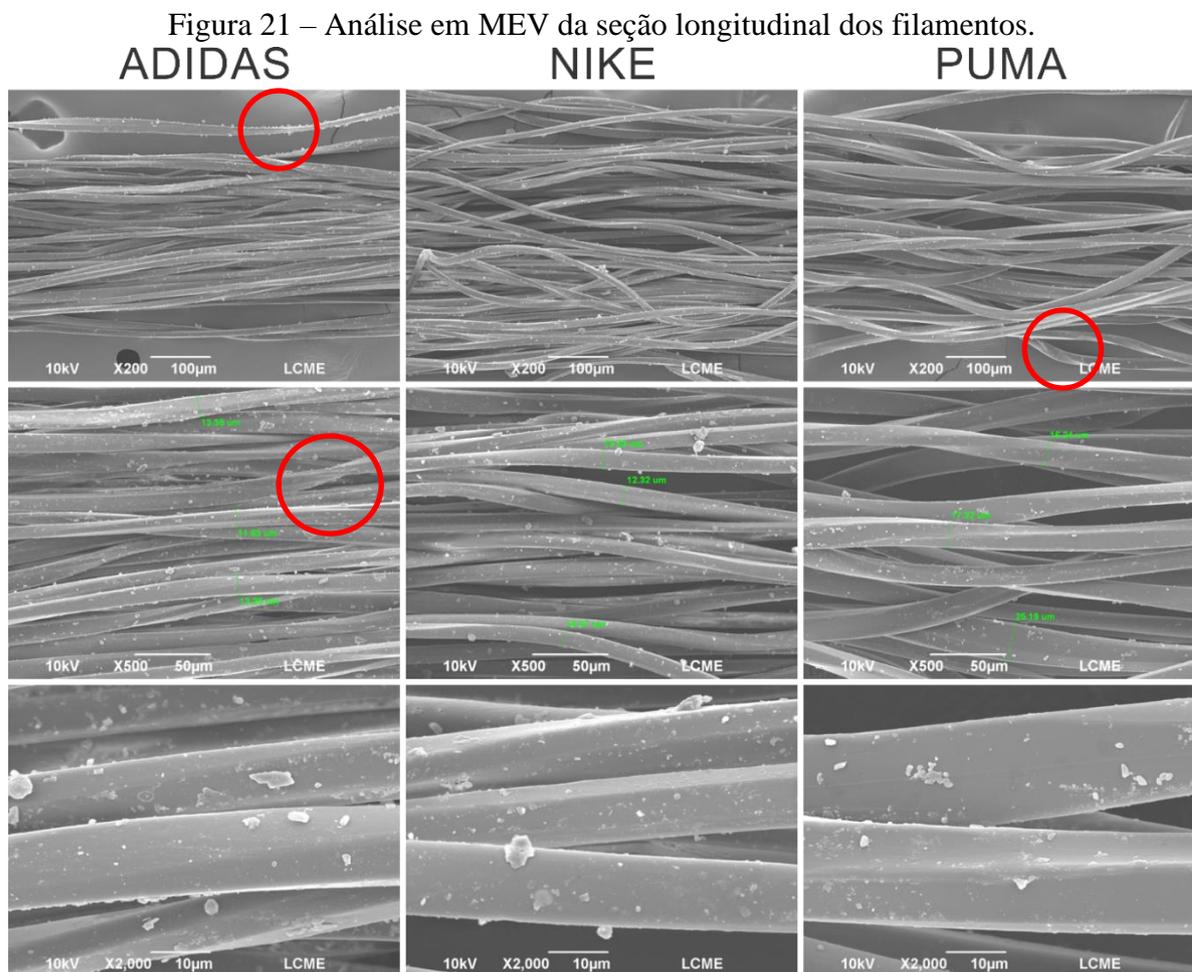
Figura 20 – Análise em MEV da seção transversal dos filamentos.



Fonte: Autor.

Observa-se, a partir da Figura 20, que a seção transversal dos filamentos da Adidas possui um formato mais achatado, lembrando uma semente de feijão. A seção transversal das fibras da Nike apresenta uma variação de formatos, sendo parte arredondada e parte trilobal. Já os filamentos da Puma apresentam estruturas com seções transversais mais arredondadas em sua grande maioria.

As seções longitudinais dos filamentos foram observadas em ampliações de 200, 500 e 2000 vezes em MEV, como apresenta a Figura 21. A partir das imagens capturadas, foi possível verificar o diâmetro médio dos filamentos, que estão expressos na Tabela 4.



Fonte: Autor.

Tabela 4 – Diâmetro médio dos filamentos.

Amostra	Tecnologia	Diâmetro (μm)
Adidas	Aeroready®	12,74
Nike	Dri-FIT®	11,80
Puma	dryCELL®	16,78

Fonte: Autor.

A partir das imagens da Figura 21, é possível observar que os filamentos apresentam uma leve torção ao longo da sua seção longitudinal (círculos em vermelho), o que acaba interferindo na variação do diâmetro dos filamentos (mais perceptível nas amostras da Adidas e Puma). É possível também verificar, pelas imagens, que os filamentos da Nike são os mais finos, enquanto que da Puma os mais grossos. Os filamentos do Dri-FIT®, por sua vez, apresentam de maneira menos intensa a torção, o que acaba proporcionando filamentos mais uniformes.

Conforme expresso na Tabela 4, o diâmetro médio dos filamentos é maior para a camiseta da Puma, seguido pelas camisetas da Adidas e Nike, nesta ordem.

4.1.2 Fios – Massa linear

Os títulos dos fios calculados em dTex (constante $K = 10000$) estão expressos na Tabela 5.

Tabela 5 – Título dos fios.

Amostra	Tecnologia	Título fio (dTex)
Adidas	Aeroready®	87,2
Nike	Dri-FIT®	89,0
Puma	dryCELL®	93,5

Fonte: Autor.

A estrutura de malha da Puma conta com mais de um fio em sua construção. Este segundo fio, que é menos frequente (1 para cada 6 do fio principal) possui menor massa linear, menor quantidade de filamentos e é utilizado exclusivamente para unir o direito e avesso técnico deste tecido.

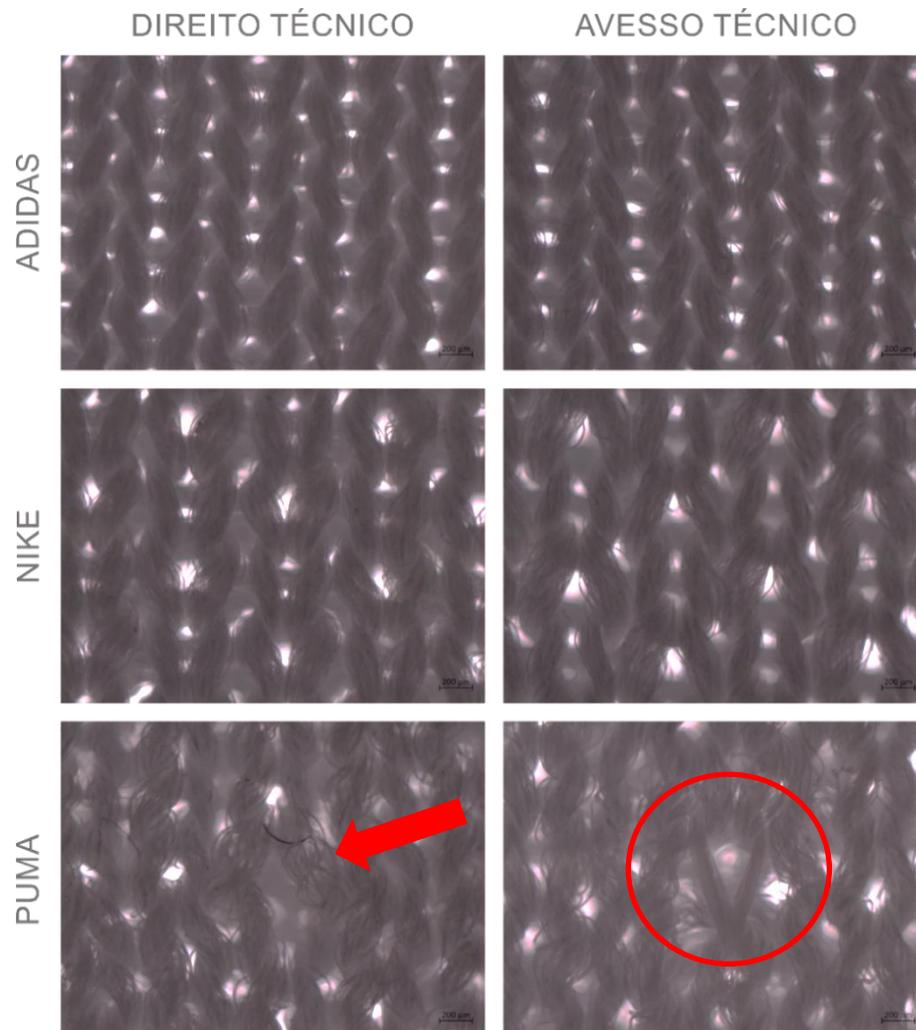
Observa-se que a camiseta Dri-FIT® é constituída por fios de menor densidade linear direta e maior quantidade de filamentos (vide Figura 21, ampliação X200). Em seguida, a tecnologia Aeroready® possui um título semelhante, mas com mais filamentos em sua composição. O dryCELL® é o que apresenta maior densidade linear, e, seus filamentos possuem um título superior ao definido como microfamento.

4.1.3 Malhas – Características

4.1.3.1 Estruturas

As imagens das malhas obtidas a partir da microscopia ótica podem ser observadas na Figura 22. Todas as imagens foram tiradas com uma ampliação de 5 vezes.

Figura 22 – Micrografias das estruturas de malha das camisetas.

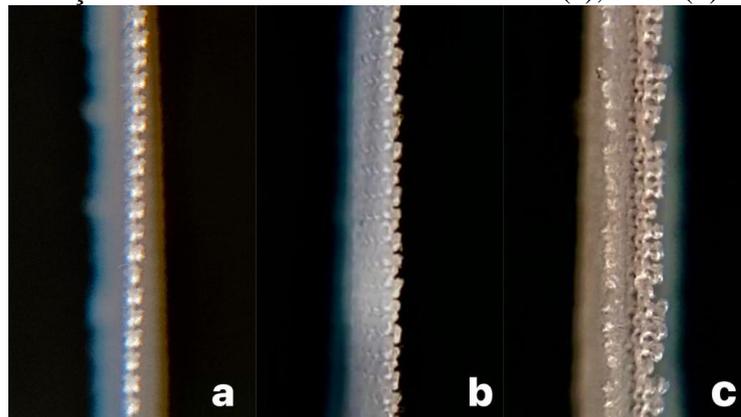


Fonte: Autor.

A partir da Figura 22 é possível observar que as três camisetas correspondem a estruturas produzidas em malharia por trama, onde a construção das laçadas se dá na horizontal, sendo formadas lado a lado por um mesmo fio. Além disso, observa-se que as três camisetas são produzidas em tear duplafrentura, de modo que tanto no direito como no avesso técnico da

malha as pernas das laçadas estejam expostas. No entanto, diferente da Adidas e Nike – que apresentam estruturas mais semelhantes – a camiseta da Puma possui pontos flutuantes (círculo em vermelho no avesso técnico, no lado que há contato com o corpo). Além disso, verifica-se que há maiores espaços vazios (sem laçadas) que estão sinalizados por setas (direito técnico). O dryCELL® ainda é constituído por uma estrutura que é unificada por um fio complementar, como se duas estruturas de monofrontura fossem conectadas, conforme apresenta a Figura 23.

Figura 23 – Seção transversal das malhas da Adidas (a), Nike (b) e Puma (c).



Fonte: Autor.

Consequentemente, devido a presença de espaços vazios, pode-se observar que a camiseta da Puma apresenta uma estrutura de malha de menor densidade – seguida pela estrutura da Nike e Adidas, nesta ordem – que é percebida a partir dos espaçamentos entre os fios e laçadas (espaços onde há passagem de luz). Além disso, os filamentos dos fios da Adidas e Nike são mais compactados, enquanto a malha da Puma apresenta, por intermédio do microscópio, um aspecto mais piloso.

4.1.3.2 Densidade

A quantidade de fileiras, colunas e laçadas (densidade) das malhas em 1 cm² foram observadas e expressas na Tabela 6.

Tabela 6 – Densidade das malhas.

Amostra	Tecnologia	Colunas/cm	Fileiras/cm	Densidade (laçadas/cm ²)
Adidas	Aeroready®	18	23	414
Nike	Dri-FIT®	17	22	374
Puma	dryCELL®	17	21	357

Fonte: Autor.

Observa-se que a camiseta com tecnologia Aeroready® possui maior densidade de laçadas, seguida pelas tecnologias Dri-FIT® e dryCELL®, o que corrobora a questão da porosidade destas três estruturas (vide espaços vazios entre das malhas na Figura 22). Ou seja, a maior porosidade está diretamente relacionada à densidade das malhas.

4.1.3.3 Gramatura, espessura e comprimento de laçada

As características dimensionais das estruturas de malha, como as médias da gramatura, espessura e comprimento de laçada estão mensuradas na Tabela 7.

Tabela 7 – Características das estruturas de malha.

Amostra	Tecnologia	Gramatura (g/m ²)	Espessura (mm)	Comprimento de laçada (mm)
Adidas	Aeroready®	152	0,447	2,024
Nike	Dri-FIT®	144	0,547	2,050
Puma	dryCELL®	156	0,797	2,304

Fonte: Autor.

Nota-se que a camiseta com tecnologia dryCELL® apresenta maiores valores de gramatura, espessura e comprimento de laçada quando comparada as outras duas tecnologias analisadas. Estes valores são coerentes ao que é observado a partir da Figura 23, que esclarece sobre a formação da camiseta desta tecnologia a partir da unificação de duas estruturas de malha, que a torna mais espessa. A camiseta Dri-FIT® possui a menor gramatura, enquanto a Aeroready® apresenta menor espessura e comprimento de laçada entre as três.

4.1.4 Hidrofilidade das camisetas

4.1.4.1 Absorção de água

Para os ensaios de absorção, todas as amostras, em seu direito e avesso técnico, ultrapassaram o tempo definido pela norma utilizada (180 segundos) e não imergiram no recipiente. No entanto, percebeu-se que todas umedeceram totalmente na superfície da água. O fato de nenhuma das amostras afundarem pode ser explicado devido às suas baixas gramaturas em conjunto com a maneira em que elas foram dispostas sobre a água (horizontalmente). Estes

dois parâmetros podem ter dificultado que os substratos superassem a tensão superficial da água quando parada.

Em um líquido, há duas camadas de moléculas que se comportam de diferentes maneiras, são elas a superfície (disposta acima) e a profundidade (disposta abaixo). As moléculas que constituem a superfície do líquido estão sujeitas a fortes forças de coesão que são exercidas pelas moléculas que compõem a camada da profundidade, de modo que a superfície do líquido se comporte como uma “membrana”, tendendo a comprimir o líquido nesta região. A força resultante deste sistema atua de forma perpendicular ao plano da superfície e é conhecida como tensão superficial, dada no Sistema Internacional em N/m (ADAMSON, 1967). Portanto, o material pode permanecer sobre a superfície de um líquido devido a esta tensão criada pelas moléculas desta camada, mesmo que a massa específica do material seja maior do que a do líquido (como neste ensaio).

Ainda por meio dos ensaios de absorção, foi possível mensurar a quantidade de água que ficou retida nas amostras de malha após serem retiradas do recipiente e estendidas por 30 segundos, a fim de eliminar o excesso. Para esta análise, calculou-se a diferença entre a massa final úmida e massa inicial seca, e em seguida as médias, que são expressas na Tabela 8.

Tabela 8 – Massa de água retida nas malhas.

Amostra	Tecnologia	Água retida por unidade de área (g/m²)	Desvio Padrão
Adidas	Aeroready®	282	10,05
Nike	Dri-FIT®	383	7,86
Puma	dryCELL®	548	11,29

Fonte: Autor.

Estes resultados expressam que, em um curto espaço de tempo (30 segundos), a camiseta com tecnologia dryCELL® foi a que mais absorveu e reteve a umidade em sua estrutura, seguida pelas tecnologias Dri-FIT® e Aeroready®, sendo esta última a que menos aumentou sua massa total (no estado umedecido). Os autores Raj e Yamunadevi (2016), e o autor RV (2018) pontuam sobre os problemas relacionados à elevada retenção de suor sobre os artigos têxteis esportivos, que podem gerar o desconforto físico dos atletas.

Nota-se que há também uma relação entre a espessura do substrato com a retenção de umidade, ou seja, quanto mais espesso o material, maior tendência há na retenção de água. Maduna e Patnaik (2020) expressam em sua pesquisa que a água pode ficar retida nos poros da estrutura de malha, de modo que afetem a permeabilidade ao ar deste material.

Desta forma, considerando que a massa específica da matéria-prima das três camisetas é a mesma (PES), e tendo conhecimento da gramatura e espessura de cada uma, é possível determinar o volume poroso (regiões livres) que cada malha possui a partir da Equação 7.

$$Volume\ livre = (e \times A) - \frac{Gramatura \times A}{\rho} \quad (7)$$

Onde o *Volume livre* é dado em cm³, *e* é a espessura em cm, *A* é a área dada em cm² e ρ a massa específica do PES, dada por 1,38 g/cm³.

Assim sendo, calculou-se o volume livre de poros em 1 m² de cada malha, que estão expressos na Tabela 9.

Tabela 9 – Volume poroso das malhas.

Amostra	Tecnologia	Volume livre (cm³)
Adidas	Aeroready®	336,8
Nike	Dri-FIT®	442,6
Puma	dryCELL®	683,9

Fonte: Autor.

Desta forma, a partir da análise das Tabelas 8 e 9, é possível relacionar a hidrofiliidade da malha com o seu volume livre. Nota-se também que a camiseta da Puma possui maior volume livre em sua estrutura de malha, o que está diretamente direcionado a porosidade do material, observada na Figura 22.

4.1.4.2 Ângulo de contato

Os ensaios de absorção de umidade e os realizados no goniômetro fornecem informações referentes às propriedades de hidrofiliidade do material.

Para a análise do ângulo de contato, todas as camisetas, em ambos os lados (direito e avesso técnico) apresentaram caráter totalmente hidrofílico, ou seja, não houve qualquer formação de ângulo entre o substrato e a gota de água, de modo que os materiais absorveram a gota imediatamente após o contato com a superfície. Desta forma, não foi possível capturar imagens que demonstrassem o ângulo formado entre os dois componentes, já que a absorção foi tão rápida a ponto de não formar o ângulo.

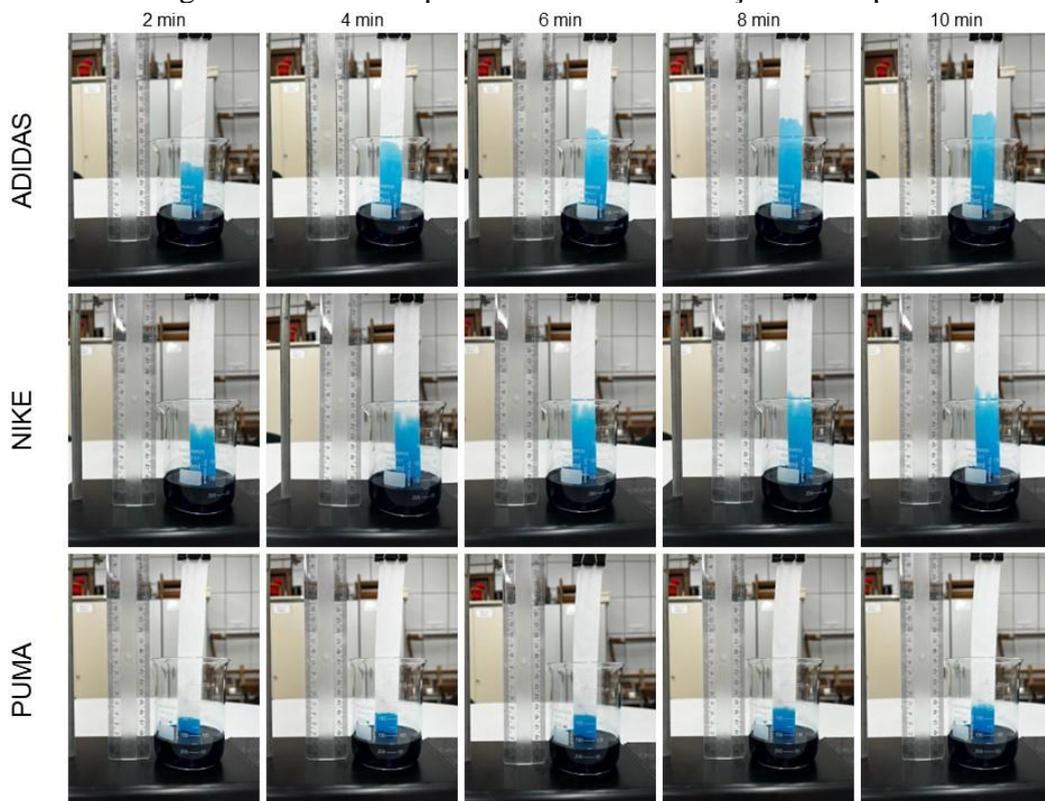
Estes resultados evidenciam a maior eficiência na absorção de umidade proposta pelas tecnologias de secagem rápida Dry-FIT, eficiência essa que é também expressa por alguns

pesquisadores, como Castillo et al., (2021) e Nuhrat (2020). Além disso, as marcas Adidas ([2020]), Nike ([2022]) e Puma ([2022]) reiteram sobre a elevada capacidade de absorção de umidade em suas tecnologias para manter a pele seca durante as atividades esportivas.

4.1.5 Capilaridade

O transporte da água absorvida pode ser observado a partir da capilaridade do substrato. Estes resultados são expressos de acordo com a distância percorrida durante um determinado espaço de tempo, conforme apresenta a Figura 24.

Figura 24 – Efeito capilar nas malhas em função do tempo.



Fonte: Autor.

As informações coletadas para as três tecnologias ocorreram tanto na direção das colunas como das fileiras. A partir dos resultados coletados, calculou-se a média e elaborou-se a Tabela 10, que expressa informações sobre a velocidade média e distância percorrida de umidade através dos microespaçamentos do material.

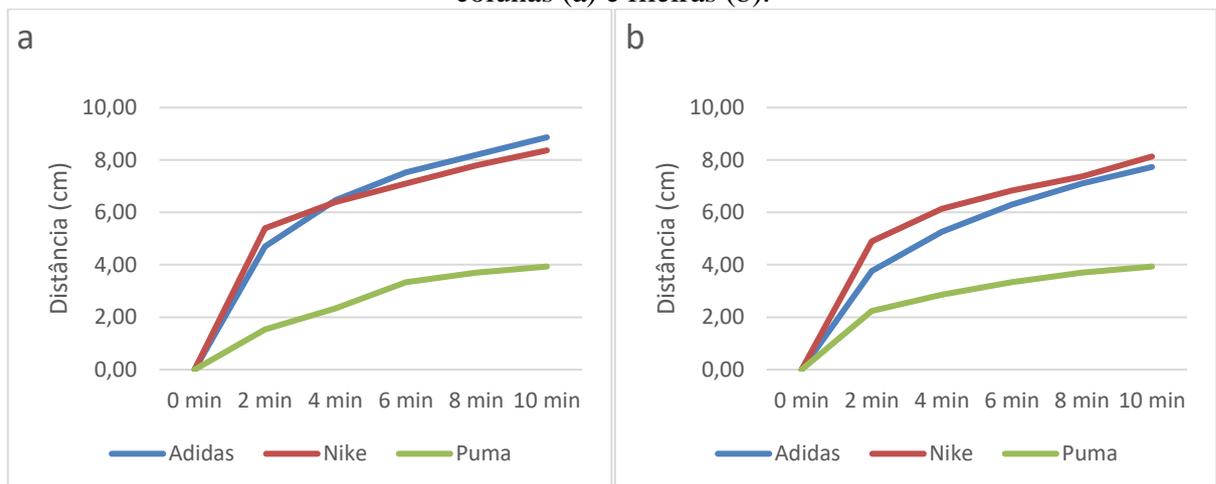
Tabela 10 – Capilaridade das malhas.

Amostras	Tecnologia	Direção	Distância percorrida (cm) em:					Vel. média (cm/min)
			2 min	4 min	6 min	8 min	10 min	
Adidas	Aeroready®	Colunas	4,7	6,5	7,5	8,2	8,9	0,89
		Fileiras	3,8	5,3	6,3	7,1	7,7	0,77
Nike	Dri-FIT®	Colunas	5,4	6,4	7,1	7,8	8,4	0,84
		Fileiras	4,9	6,1	6,8	7,4	8,1	0,81
Puma	dryCELL®	Colunas	1,5	2,3	2,9	3,1	3,5	0,35
		Fileiras	2,2	2,9	3,3	3,7	3,9	0,39

Fonte: Autor.

A partir dos dados coletados elaborou-se um gráfico de distância percorrida em função do tempo, que é ilustrado na Figura 25.

Figura 25 – Transporte de umidade das malhas em função do tempo na direção das colunas (a) e fileiras (b).



Fonte: Autor.

Nota-se a partir dos gráficos da Figura 25 que o transporte de água através dos tecidos de malha analisados possui uma tendência logarítmica de crescimento, de modo que a maior taxa de umidade transportada ocorre inicialmente e ao decorrer do tempo o material passa a transportar esta umidade de maneira mais lenta. Além disso, é possível observar que a camiseta com tecnologia dryCELL® transporta mais lentamente a água quando comparada as tecnologias Aeroready® e Dri-FIT®, que apresentam resultados próximos, tanto no sentido das colunas, como no sentido das fileiras.

O transporte de água analisado neste ensaio ocorre por efeito capilar. Os pesquisadores Abdel-Megied et al. (2020), Maduna e Patnaik (2020) e RV (2018) expressam que a utilização de filamentos com reduzido diâmetro, como as microfibras, em vestuários com tecnologia Dry-

FIT, resulta no aumento de seu efeito capilar por intermédio das regiões microporosas dos filamentos que o constituem.

Em pesquisas realizadas por Ullah (2021), Stojanović e Gersak (2019), discute-se ainda que a capilaridade pode ser aumentada a partir de diferentes formatos de seções transversais. Desta forma, a partir da caracterização dos filamentos (vide Tabelas 4 e 5 e Figuras 21 e 22) é possível relacionar os resultados de capilaridade com a morfologia das microfibras (diâmetro e formato da seção transversal). Nota-se que o maior efeito capilar ocorreu nas camisetas da marca Adidas e Nike, sendo estas a que possuem filamentos de menor diâmetro em sua estrutura. Além disso, estas duas tecnologias possuem filamentos de seções transversais mais irregulares, diferente do que ocorre na seção transversal da Puma, que apresentou aspecto mais circular quando comparada as demais.

Ademais, segundo pesquisas realizadas por Park et al. (2018), a densidade e porosidade das malhas podem também influenciar nos resultados de capilaridade, visto que quanto menor os espaçamentos entre as fibras e/ou fios que constituem a malha, maior será o efeito capilar. Portanto, pode-se também relacionar os resultados de capilaridade com a morfologia das malhas (vide Tabelas 6, 7 e 9 e Figura 22). A tecnologia dryCELL® da Puma é a que possui maiores espaçamentos livres, e possivelmente devido a esta característica que ela apresenta uma menor capacidade no transporte de umidade a partir do efeito capilar, quando comparada as outras tecnologias analisadas.

4.1.6 Condutividade térmica

Os resultados referentes à condutividade e resistência térmica de cada tecnologia, estão expressos na Tabela 11.

Tabela 11 – Condutividade e resistência térmica das camisetas.

Amostra	Tecnologia	Condutividade Térmica λ (W/m.K)	Resistência Térmica R (m²K/W)
Adidas	Aeroready®	0,094	0,00476
Nike	Dri-FIT®	0,113	0,00484
Puma	dryCELL®	0,144	0,00554

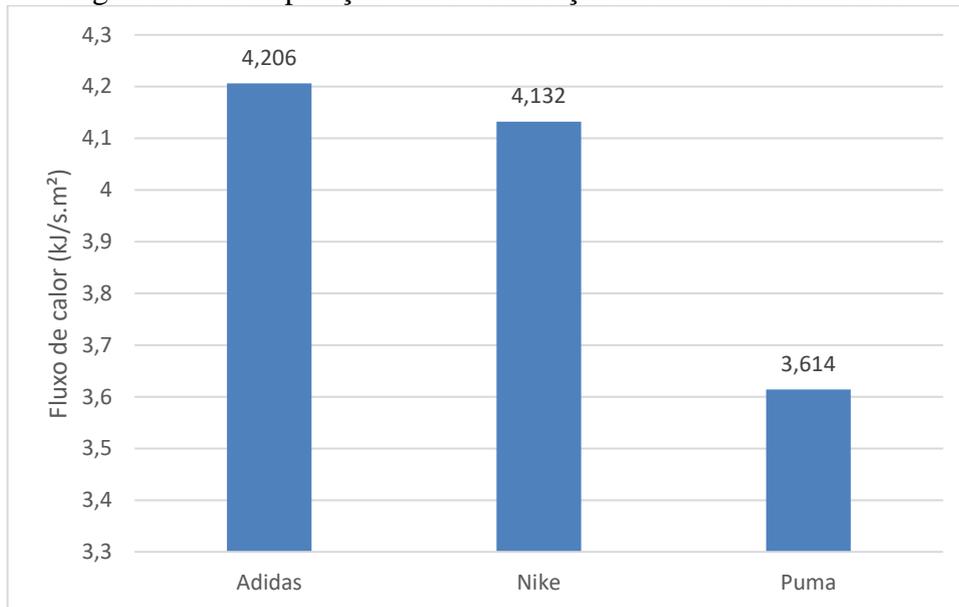
Fonte: Autor.

A resistência térmica indica a capacidade que a amostra tem de reter o calor (isolar), ou seja, quanto menor a resistência, mais facilmente o calor é dissipado (XUE; LOFLAND; HU, 2019). Apesar das tecnologias Aeroready® e Dri-FIT® apresentarem menores valores de

resistência térmica, a tecnologia dryCELL® acaba apresentando maior condutividade térmica, devido a sua maior espessura que aumenta este resultado (vide Equação 3).

Para uma comparação mais efetiva, calculou-se a taxa de calor que é conduzida por unidade de área [kJ/s.m^2] das camisetas, a partir da Equação 5. Para isso, algumas variáveis foram pré-definidas de forma padronizada, para que a comparação fosse realizada em mesmas condições: $T_1 = 40\text{ }^\circ\text{C}$ (313,15 K); $T_2 = 20\text{ }^\circ\text{C}$ (293,15 K). Os resultados podem ser observados na Figura 26.

Figura 26 – Comparação entre a condução de calor nas camisetas.



Fonte: Autor.

É evidente que, devido as espessuras das malhas (Tabela 7), a camiseta com tecnologia dryCELL® da Puma, que possui a maior condutividade térmica das três, acabou apresentando resultados inferiores na taxa de condução de calor. Ainda, a camiseta com tecnologia Aeroready®, que por sua vez apresentou a maior condutividade térmica dentre as três, é a que mais pode transportar calor por condução de maneira mais efetiva. Já a camiseta com tecnologia Dri-FIT® apresentou um resultado muito próximo a camiseta da Adidas.

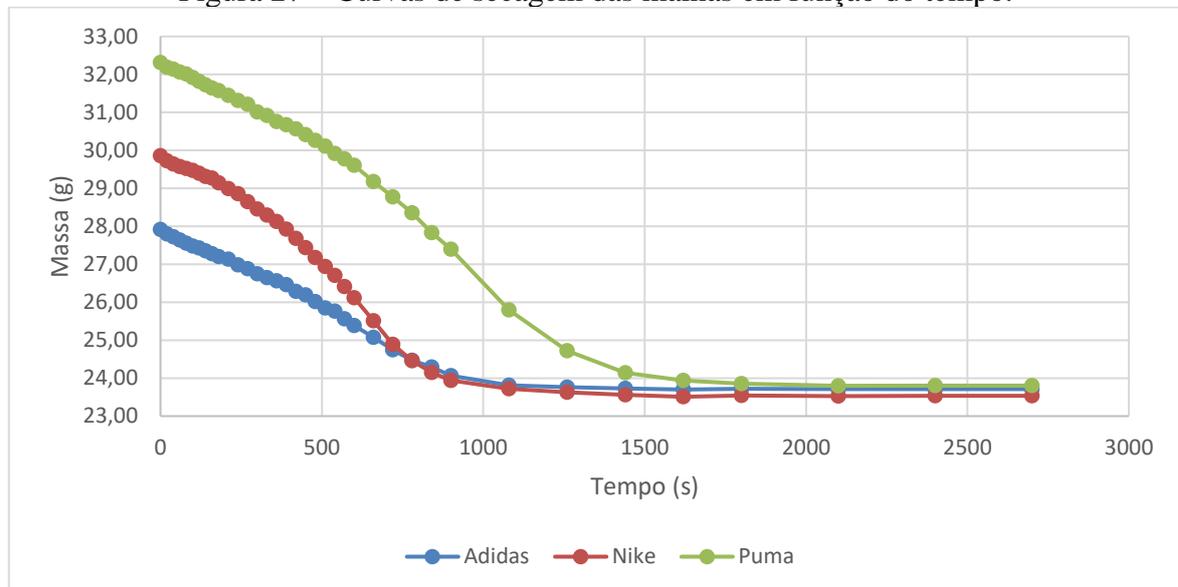
Os pesquisadores Peng e Cui (2020) apresentam em suas pesquisas que a espessura dos substratos é um fator determinante no desempenho térmico do vestuário, de modo que, quanto menor a espessura, maior a sensação de frescor, devido a relação direta com a taxa de transferência de calor expressa na Equação 5. Portanto, as espessuras de 0,447 mm para o Aeroready®, 0,547 mm para o Dri-FIT® e 0,797 mm para o dryCELL® foram os fatores mais determinantes para os resultados de transferência de calor por condução.

4.1.7 Secagem

Os ensaios de convecção forçada fornecem dados referentes à velocidade de secagem do material. Para isto, os experimentos para cada camiseta foram reproduzidos duas vezes (em mesmas condições) e assim calculadas suas médias.

Os ensaios foram realizados em condições iguais de temperatura (bulbo seco e bulbo úmido), e conseqüentemente de umidade relativa e umidade absoluta. A partir dos dados coletados para cada camiseta, calcularam-se as médias e elaborou-se uma curva de secagem em função do tempo, conforme apresenta a Figura 27.

Figura 27 – Curvas de secagem das malhas em função do tempo.



Fonte: Autor.

A velocidade do ar de secagem, umidade relativa e umidade absoluta dos ensaios foram calculadas e estão expressos na Tabela 12, juntamente com as demais condições de ensaio.

Tabela 12 – Condições do ensaio de secagem.

Temperatura de secagem (°C)	Temperatura bulbo seco (°C)	Temperatura bulbo úmido (°C)	Umidade relativa do ar (%)	Umidade absoluta do ar (kg _{vapor} /kg _{arseco})	Velocidade do ar de secagem (m/s)
25,0	24,8	20,4	66	0,0125	5,4

Fonte: Autor.

Os valores das massas que estão expressos na Figura 27 referem-se à soma das massas do suporte metálico, da malha umedecida e dos prendedores utilizados para fixar as malhas durante o ensaio, conforme apresentado na Figura 28.

Figura 28 – Malhas da Adidas (a), Nike (b) e Puma (c) dispostas no túnel de vento.



Fonte: Autor.

As massas das malhas secas e úmidas, e a quantidade de água efetivamente absorvida e evaporada neste ensaio, estão expressos na Tabela 13.

Tabela 13 – Massa das amostras de malha e água nos ensaios de secagem.

Amostra	Tecnologia	Ensaio	Massa malha seca (g)	Massa malha úmida (g)	Massa água absorvida e evaporada (g)
Adidas	Aeroready®	1	2,94	8,04	5,10
		2	2,95	8,03	5,08
Nike	Dri-FIT®	1	2,82	9,74	6,92
		2	2,83	10,17	7,34
Puma	dryCELL®	1	3,02	12,20	9,18
		2	3,00	12,45	9,45

Fonte: Autor.

A partir dos resultados expressos nas curvas de secagem da Figura 27 é possível analisar que o comportamento das três camisetas segue um determinado padrão, apesar de apresentarem resultados diferentes. Nota-se ainda que a camiseta com tecnologia dryCELL® retém mais umidade em sua estrutura, conforme indica a Tabela 13, resultado este que é acentuado a partir dos ensaios de absorção, conforme expressa a Tabela 8.

A partir dos resultados expressos na Figura 27 e na Tabela 13, é possível pontuar algumas características das camisetas com tecnologia Dry-FIT analisadas. A camiseta da Puma é a que mais retém umidade em sua estrutura e é a que mais tempo leva para secar totalmente, visível quando a curva se estabiliza e apresenta valores constantes em função do tempo. A camiseta da Adidas foi a que menos reteve umidade. A camiseta da Nike, porém, secou em um

tempo similar à secagem da Adidas, onde ambas estabilizaram suas massas em um mesmo período de tempo.

A absorção e retenção da umidade são fatores que impactam fortemente nos resultados de secagem. Portanto, devem-se considerar estes parâmetros de forma simultânea para o desenvolvimento do vestuário de elevado desempenho. Os pesquisadores Stojanović e Gersak (2019) consideram que o desenvolvimento de um vestuário eficaz está relacionado ao conjunto de parâmetros relacionados a absorção e retenção de agentes líquidos, transporte de umidade e secagem rápida.

4.1.8 Permeabilidade ao ar

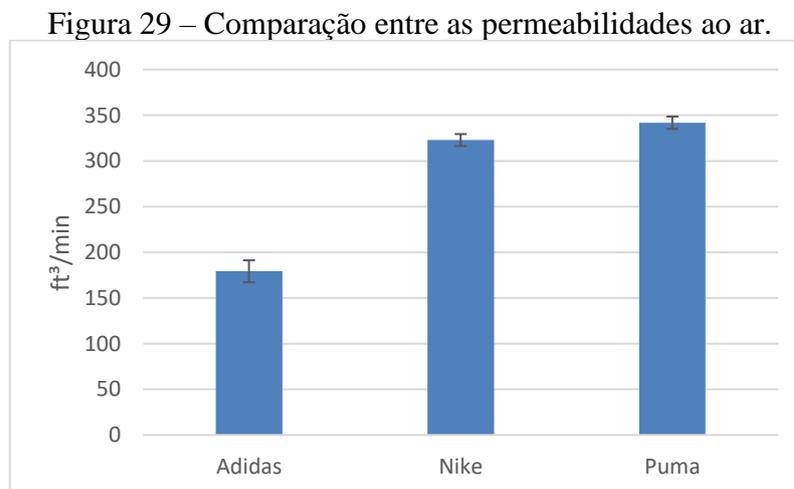
Os resultados referentes à permeabilidade ao ar nas amostras secas das tecnologias de secagem rápida estão expressos na Tabela 14 para cada marca e região observada da camiseta (conforme expresso na Figura 19).

Tabela 14 – Permeabilidade ao ar das camisetas.

Amostra	Tecnologia	Região da análise				
		a	b	c	d	e
Adidas	Aeroready®	183	168	167	196	182
Nike	Dri-FIT®	312	324	322	328	328
Puma	dryCELL®	334	344	340	339	352

Fonte: Autor.

A partir destes resultados, calculou-se a média para cada camiseta e elaborou-se um gráfico de barras para análise comparativa visual, conforme pode ser visualizado na Figura 29.



Fonte: Autor.

A permeabilidade ao ar de uma camiseta está diretamente relacionada à constituição dos filamentos, fios e estrutura, neste caso de malhas, bem como sua composição (matéria-prima). Como todas as camisetas são compostas exclusivamente por poliéster, o maior fator responsável pela diferença entre os resultados de permeabilidade está na porosidade de cada amostra (vide Tabela 9) dada principalmente por sua estrutura de malha, decorrente da densidade da malha, comprimento de laçada e do título do fio utilizado.

Observa-se que a camiseta com tecnologia dryCELL® da Puma apresenta maior permeabilidade ao ar (341,8 ft³/min), com uma diferença positiva de 19 ft³/min com o Dri-FIT® da Nike (322,8 ft³/min) e de 162,6 ft³/min com o Aeroready® da Adidas (179,2). Este resultado se dá devido a estrutura de malha da Puma possuir pontos flutuantes (vide Figura 22), que são responsáveis por aumentar os espaços vazios da malha e conseqüentemente sua porosidade (MISHRA et al., 2021).

As camisetas da Nike e Adidas possuem estruturas de malha similares (conforme Figura 22). No entanto, elas diferenciam-se em sua porosidade (volume livre apresentado na Tabela 9) espessura (Nike 0,1 mm maior), comprimento de laçada (Nike 0,026 mm maior) e densidade de laçadas (Adidas com 40 laçadas a mais por cm²). Devido a estas características, a camiseta com tecnologia Dri-FIT® torna-se mais permeável ao ar quando comparada a Aeroready®.

4.2 DESEMPENHO FÍSICO DO ATLETA E GESTÃO DE UMIDADE DA CAMISETA

Conforme discutido, ao realizar atividades físicas em intensidades variadas (repouso, caminhada e corrida), o corpo humano libera diferentes níveis de suor, os quais devem ser absorvidos e transportados pela vestimenta. Caso a camiseta não absorva o suor liberado durante uma atividade física excessiva, pode ocorrer do corpo aquecer (causando desconforto e provavelmente fadiga ao utilizador). Este aquecimento ocorre devido a incapacidade de transportar o calor, gerada pelo acúmulo de umidade (em forma de vapor) entre a pele e o vestuário. Por outro lado, caso a camiseta absorva o suor e retenha-o, não transportando ao meio externo de modo que facilite a sua secagem, pode também resultar no aquecimento do microclima, além de deixar o vestuário mais pesado.

Para identificar os resultados dos dois dias de teste, nomearam-se as camisetas a partir de sua marca e dia de ensaio. As condições de ensaio (temperatura ambiente e umidade relativa do ar) estão expressas na Tabela 15.

Tabela 15 – Condições atmosféricas dos ensaios com jogador de futebol.

Amostra		Umidade relativa do ar (%)		Temperatura ambiente (°C)	
Marca	Dia	Inicial	Final	Inicial	Final
Adidas	1	68	68	21,7	22,1
	2	76	74	21,2	22,3
Nike	1	70	68	21,2	21,5
	2	72	71	22,7	22,7
Puma	1	68	68	21,0	21,2
	2	73	73	22,3	22,7

Fonte: Autor.

Durante o primeiro dia, a temperatura ambiente variou entre 21 e 22,1 °C (1,1 °C), e a umidade relativa do ar entre 68 e 70 % (2 %). No segundo dia a variação de temperatura ocorreu entre 21,2 e 22,7 °C (1,5 °C) e a de umidade relativa entre 71 e 76 % (5 %). Nota-se, portanto, que não houve grandes variações de temperatura ambiente entre os dois dias, no entanto, a maior concentração de umidade no segundo dia pode resultar na diminuição de suor liberado pelo corpo.

A Figura 30 demonstra o jogador de futebol durante os ensaios.

Figura 30 – Jogador de futebol durante a avaliação com as camisetas da Adidas (a), Nike (b) e Puma (c).



Fonte: Autor.

4.2.1 Gestão de umidade das camisetas

A Tabela 16 expressa os resultados referentes à retenção de umidade de cada uma das camisetas, a partir da massa medida após cada etapa de treino.

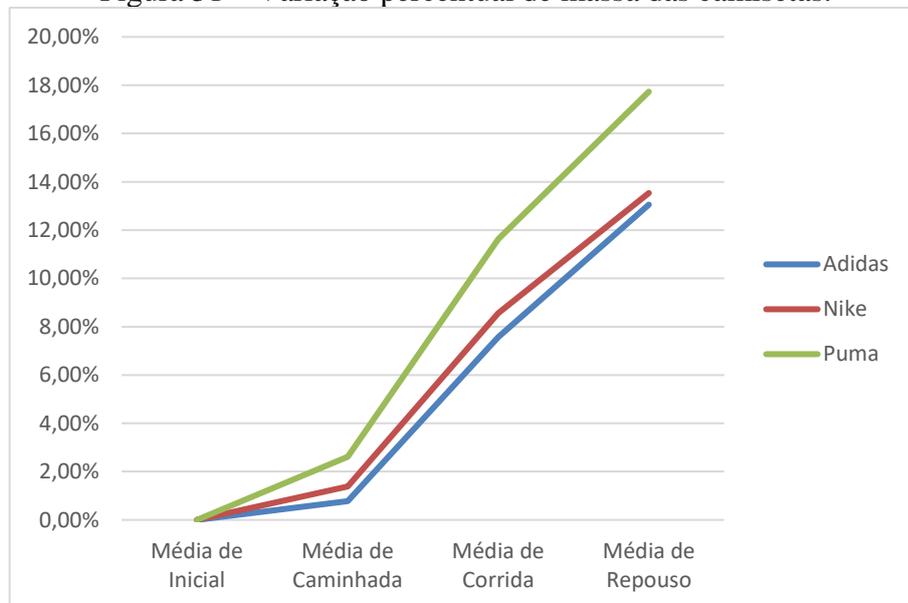
Tabela 16 – Massa das camisetas durante os ensaios.

Amostra		Massa (g)			
Marca	Dia	Inicial	Caminhada	Corrida	Repouso
Adidas	1	191	192	202	212
	2	191	194	210	221
Nike	1	181	182	191	198
	2	181	185	202	213
Puma	1	172	176	189	197
	2	172	177	195	208

Fonte: Autor.

A partir dos resultados obtidos durante os dois dias de ensaio, foram calculadas as médias das massas que cada camiseta alcançou durante as etapas e em seguida a variação percentual da massa da camiseta, que indica o quanto cada uma variou sua massa final em relação a sua massa inicial. Estes resultados podem ser observados no gráfico da Figura 31.

Figura 31 – Variação percentual de massa das camisetas.



Fonte: Autor.

A partir do gráfico da Figura 31 é possível analisar que, em relação à retenção de umidade, a camiseta com tecnologia Aeroready®, da Adidas, foi a que menos reteve umidade, seguida pelas tecnologias Dri-FIT® e dryCELL®. As tecnologias da Adidas e Nike obtiveram resultados similares. Já a tecnologia da Puma reteve maior quantidade de suor na camiseta.

É possível observar também que o comportamento do gráfico de absorção e retenção de umidade é semelhante para as três tecnologias estudadas. Isso indica que o corpo humano segue um padrão na questão da liberação de suor após cada repetição das etapas do ensaio, onde a maior liberação e absorção de suor ocorreu após a corrida, seguido do momento de descanso e, com menos intensidade no momento da caminhada (atividade moderada).

A partir desta análise, é possível relacionar os resultados com os ensaios de absorção, transporte de umidade, secagem e permeabilidade realizados em laboratório. Estes quatro parâmetros estão diretamente relacionados aos resultados de absorção e retenção de suor durante a atividade física, considerando que o corpo produz suor constantemente (RV, 2018) e o vestuário deve absorvê-lo e transportá-lo da parte interna para a externa (ATALIE et al., 2021). Desta forma, há uma maior facilidade na evaporação a partir da convecção forçada (CASTILLO et al., 2021) que os atletas estão sujeitos ao correr. Além disso, Hu et al. (2020) afirmam em sua pesquisa que a permeabilidade ao ar e ao vapor auxilia a evaporação do suor para o ambiente, antes mesmo do transporte por efeito capilar.

Desta forma, é possível relacionar os resultados que a camiseta da Puma apresentou durante os ensaios. O dryCELL® possui a maior absorção e retenção de umidade (Tabela 8), a menor velocidade média no transporte de umidade por efeito capilar (Tabela 10) e levou maior tempo para que secasse totalmente a partir da convecção forçada (Figura 27). Estas características corroboram com os resultados desta análise, visto que a camiseta da Puma apresentou os resultados mais discrepantes no que se refere a gestão de umidade durante a atividade física.

No entanto, notou-se que a permeabilidade ao ar não foi um fator relevante para a gestão de umidade, visto que, apesar da camiseta com tecnologia dryCELL® da Puma possuir a maior permeabilidade ao ar (Figura 29), esta apresentou entre as três uma maior retenção do suor liberado pelo jogador durante o ensaio.

As camisetas da Adidas e Nike apresentaram valores próximos na variação percentual de massa das camisetas, onde a retenção de umidade e permeabilidade ao ar foi menor para a tecnologia Aeroready®, e os resultados de capilaridade e secagem foram semelhantes a tecnologia Dri-FIT®.

4.2.2 Controle termofisiológico

A Tabela 17 expressa os resultados referentes à temperatura do microclima formado entre o corpo e cada uma das camisetas, após cada uma das etapas do ensaio.

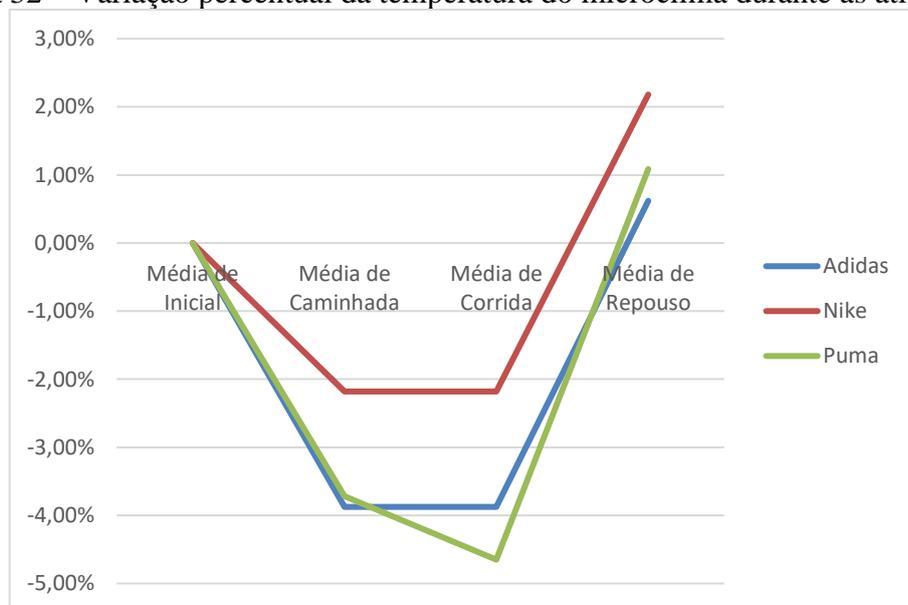
Tabela 17 – Temperatura do microclima durante os ensaios.

Amostra		Temperatura microclima (°C)			
Marca	Dia	T inicial	T caminhada	T corrida	T repouso
Adidas	1	33	31,7	31,7	33,1
	2	32	30,3	30,3	31,8
Nike	1	32,2	32,1	32,1	32,6
	2	32	30,7	30,7	33,0
Puma	1	32,5	31,2	30,4	32,3
	2	32	30,9	31,1	32,9

Fonte: Autor.

A partir destes resultados, calculou-se para cada camiseta a temperatura média do microclima e em seguida a variação percentual em relação à temperatura inicial, que apresenta a variação da temperatura durante cada etapa do ensaio (condições iniciais, caminhada, corrida e repouso). Estes resultados estão expressos na Figura 32.

Figura 32 – Variação percentual da temperatura do microclima durante as atividades.



Fonte: Autor.

Pode-se analisar a partir do gráfico da Figura 32 que a temperatura do microclima para todas as tecnologias caiu durante as atividades físicas (caminhada e corrida). Observa-se também que a camiseta com tecnologia Dri-FIT® apresentou menor oscilação percentual na temperatura do microclima, mas ainda assim foi a que mais se excedeu após o descanso das atividades. A tecnologia Aeroready® comportou-se de forma semelhante ao Dri-FIT®, no entanto, manteve sua temperatura mais baixa em todas as etapas. Já o dryCELL® apresentou um comportamento distinto as demais tecnologias, resultando em maiores oscilações na diferença percentual de temperatura.

Podem-se relacionar os resultados desta análise aos ensaios de hidrofiliidade (retenção de umidade), condutividade térmica e permeabilidade ao ar. Pesquisas realizadas por Ullah et al. (2021) expressam que a retenção de suor no vestuário pode causar hipertermia, devido a incapacidade do corpo de trocar calor com o ambiente. Raj e Yamunadevi (2016) apresentam que o conforto térmico promovido pelo vestuário está também relacionado à sua capacidade de conduzir o calor liberado pelo corpo humano. Já em pesquisas feitas por Varadaraju e Srinivasan (2019) indicam que a maior permeabilidade ao ar pode ajudar a resfriar o corpo em regiões mais críticas de liberação do suor.

Assim sendo, nota-se que apesar de apresentar a menor taxa de transferência de calor (Figura 26), a camiseta da Puma apresentou menores temperaturas no microclima, devido a sua maior permeabilidade ao ar. O ar que mais facilmente passa por sua estrutura acaba resfriando o suor que está sobre a pele do atleta, região esta onde foram coletadas as temperaturas.

A camiseta da Adidas apresentou resultados similares aos da Puma na temperatura alcançada pelo microclima, no entanto, o maior resfriamento da tecnologia Aeroready® pode ter sido resultado de sua boa capacidade de conduzir calor através de sua espessura. Ela ainda possui a menor retenção de umidade, o que facilita a troca térmica com o ambiente. Já a camiseta da Nike apresentou maior equilíbrio térmico no microclima, que é um fator determinante para o conforto do atleta (RV, 2018; ULLAH et al.,2021).

4.2.3 Fadiga do atleta

A fadiga do atleta está diretamente relacionada à sua capacidade física e seu rendimento cardíaco, de modo que, quanto maior sua frequência cardíaca, maior a sensação de cansaço e menor o seu desempenho físico. A Tabela 18 apresenta os dados de frequência cardíaca obtidos pelo jogador após cada etapa do ensaio.

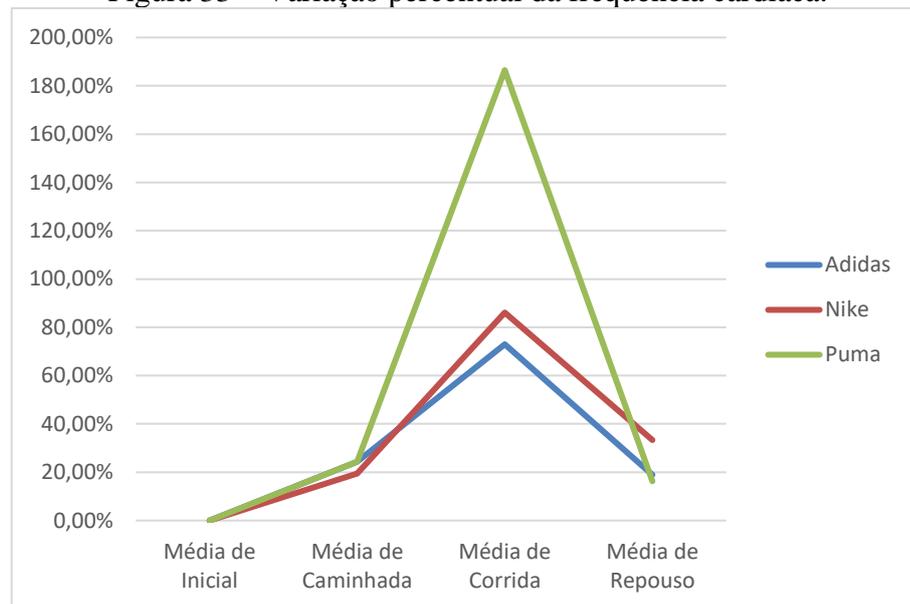
Tabela 18 – Frequência cardíaca durante os ensaios.

Amostra		Frequência cardíaca (bpm)			
Marca	Dia	Inicial	Caminhada	Corrida	Repouso
Adidas	1	68	96	132	88
	2	80	88	124	88
Nike	1	64	84	136	100
	2	80	88	132	92
Puma	1	68	88	216	84
	2	80	96	208	88

Fonte: Autor.

Com base nestes resultados, calculou-se a frequência cardíaca média de cada etapa para as três camisetas ensaiadas, e, posteriormente, a variação percentual em relação à frequência cardíaca inicial. Esta variação pode ser observada na Figura 33, que ilustra o gráfico formado nesta análise.

Figura 33 – Variação percentual da frequência cardíaca.



Fonte: Autor.

O gráfico da Figura 33 indica que a frequência cardíaca aumenta moderadamente após a caminhada e mais fortemente após corrida. Em seguida, ela tende a voltar a sua condição inicial após o descanso.

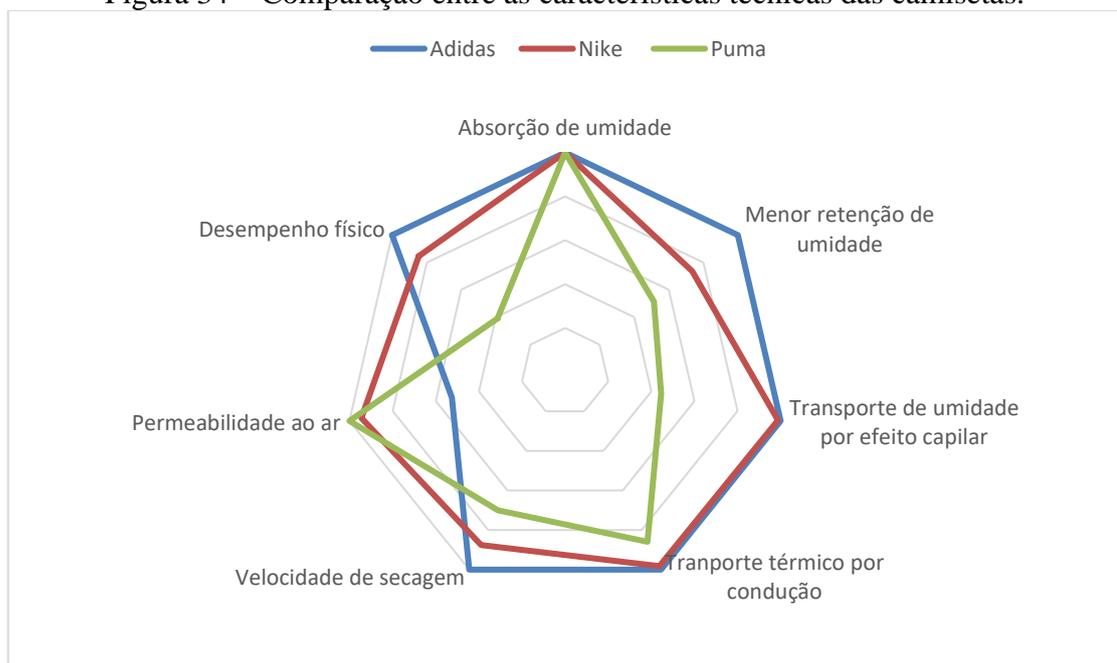
Durante os ensaios, o jogador, quando utilizava a camiseta com tecnologia Aeroready®, apresentou a menor variação na frequência cardíaca. O Dri-FIT® apresentou

resultados semelhantes à tecnologia da Adidas. No entanto, após a corrida, sua variação foi um pouco maior. Já a tecnologia dryCELL®, da Puma, apresentou um grande pico na frequência cardíaca após a corrida do atleta, causando maior cansaço e fadiga do indivíduo durante a atividade, aumentando seu nível de suor.

O resultado referente ao desempenho físico do atleta e fadiga proporcionado por cada camiseta é uma consequência do conjunto das características técnicas que foram analisadas em laboratório. A absorção e retenção de umidade – sem o transporte para a favorecer a secagem rápida – resulta na incapacidade de resfriamento do corpo e aumento na produção de suor, gerando limitação física do atleta (RV, 2018). Por sua vez, a eficiência no transporte de umidade por efeito capilar permite que o substrato seja seco mais facilmente a partir da convecção térmica (MADUNA; PATNAIK, 2020; CASTILLO et al., 2021), evitando assim a hipertermia. A condutividade térmica do vestuário em conjunto a permeabilidade ao ar, proporciona ao atleta maior conforto térmico, devido a capacidade de liberar e trocar o calor produzido pelo corpo para o ambiente durante as atividades físicas (ATALIE et al., 2021; HU et al., 2020).

Portanto, associando os resultados dos ensaios realizados em laboratório a fadiga do atleta, é possível identificar os parâmetros que mais influenciam no desempenho físico do atleta. A Figura 34, elaborada a partir da variação percentual dos resultados (onde 100 % foram destinados aos resultados mais expressivos e os demais foram calculados a partir deste), apresenta a comparação entre diferentes parâmetros relacionados ao desempenho das camisetas.

Figura 34 – Comparação entre as características técnicas das camisetas.



Fonte: Autor.

Propõe-se, a partir da Figura 34, que a tecnologia Aeroready® da Adidas foi a que mais se destacou dentre as tecnologias de secagem rápida analisadas. Esta, a partir dos resultados de absorção (que é igual para as três), menor retenção e transporte de umidade, transporte de calor por condução e velocidade de secagem, garantiu ao jogador de futebol um melhor rendimento físico. A tecnologia Dri-FIT® da Nike, que apresentou resultados satisfatórios, proporcionou também ao jogador um rendimento, de modo que esta, diferente da Adidas, apresentou valores interessante relativas a permeabilidade ao ar em sua estrutura. Já a tecnologia dryCELL®, da Puma, apresentou valores expressivos somente na absorção de umidade, transporte de calor por condução e permeabilidade ao ar (onde obteve destaque). No entanto, esta combinação não foi suficiente para proporcionar ao atleta um rendimento físico ideal, de modo que a elevação excessiva de sua frequência cardíaca resultou em sua rápida fadiga.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho de conclusão de curso possibilitou a exploração dos têxteis técnicos esportivos, especificamente aqueles que apresentam a tecnologia Dry-FIT, composta por PES. A partir da coleta de dados de três tecnologias de diferentes marcas comerciais, verificou-se as características morfológicas e suas propriedades físicas, bem como sua relevância para o bom desempenho termofisiológico. A capacidade do transporte térmico e de umidade exercida pelo vestuário interfere diretamente no rendimento físico de atletas, onde nesta situação, verificou-se sua influência em atividades esportivas realizadas por um jogador de futebol profissional. No entanto, a ênfase deste trabalho foi compreender o que de fato é a tecnologia Dry-FIT e comparar as produzidas pelas marcas esportivas Adidas, Nike e Puma, respectivamente Aeroready®, Dri-FIT® e dryCELL®.

A partir da caracterização das camisetas, foi possível identificar a morfologia dos microfilamentos que dão origem ao Dry-FIT. Observou-se também que a combinação ideal entre a microestruturação dos fios e filamentos com as características de malha, podem interferir positivamente no bom gerenciamento térmico e de umidade do vestuário. Neste sentido, propõe-se que filamentos de menor diâmetro e estruturas de malha com menor porosidade e volume livre podem garantir uma melhor gestão de umidade devido ao aumento do efeito capilar, e, por conseguinte, promover a partir de camisetas tecnológicas um maior conforto termofisiológico de atletas.

As tecnologias da Adidas e Nike apresentaram resultados mais pertinentes no que se diz respeito a gestão termofisiológica, observada durante os ensaios com um jogador de futebol, com destaque para a tecnologia Aeroready®, que se aprimorou da combinação mais efetiva entre a morfologia dos fios e a estrutura da malha.

Verificou-se, portanto, que alguns parâmetros do vestuário esportivo são determinantes para um bom desempenho físico, como a boa gestão de umidade (absorção e transporte do meio interno para o externo), boa gestão térmica e facilidade de secagem. Percebeu-se também que, ao contrário do que indica a literatura, a permeabilidade ao ar (de forma isolada) pode não ser um dos fatores mais determinantes para o bom gerenciamento térmico do vestuário esportivo, de modo que necessita da combinação com outras características relacionadas ao gerenciamento térmico.

Por fim, relacionaram-se os resultados experimentais obtidos em laboratório com os observados durante o teste de desempenho físico do jogador de futebol. Nota-se que o conjunto

das tecnologias utilizadas na produção dos filamentos, fios e malhas atribuem ao vestuário características que garantem o elevado desempenho do atleta durante as atividades esportivas. Pontua-se, portanto, que as características de gerenciamento termofisiológico de um vestuário esportivo, especificamente o Dry-FIT, está baseado na microestruturação do material, que abrange desde a escolha da matéria-prima (fibras e filamentos) até sua modelagem.

5.1 PERSPECTIVAS FUTURAS

A partir das análises e resultados alcançados neste trabalho de conclusão de curso, compreende-se que para futuros projetos de pesquisa futuros podem ser abordados os seguintes tópicos:

- a) Compreender o funcionamento dos filamentos em questões relacionadas à absorção e transporte de umidade, de modo que seja identificada em gráficos a curva de eficiência em relação ao seu diâmetro;
- b) Estudar a possibilidade de melhora na gestão de umidade de vestuários esportivos a partir de tratamentos superficiais e/ou inserção de eletrônicos (*e-textiles*);
- c) Analisar a influência de camisetas esportivas no desempenho físico de atletas em longo prazo, bem como seu rendimento durante partidas oficiais de futebol (distância percorrida, velocidade média, etc.);
- d) Identificar a influência de tecnologias de secagem rápida na produção de suor de atletas.
- e) Comparar o desempenho termofisiológico entre camisetas Dry-FIT e camisetas casuais (como as compostas por algodão, por exemplo).

REFERÊNCIAS

- ABDEL-MEGIED, Z. M. et al. The enhancement of the functional properties of polyester microfiber single jersey using some nano-materials. **Egyptian Journal of Chemistry**, v. 63, n. 1, p. 145–154, 2020.
- ADAMSON, Arthur W. et al. **Physical chemistry of surfaces**. New York: Interscience publishers, 1967.
- ADIDAS. About History. **Adidas**, [2022]. Disponível em: <https://www.adidas-group.com/en/about/history/>. Acesso em: 10 de mai. de 2022.
- ADIDAS. Product information in this PDF is subject to change. **Adidas**, [2021]. Disponível em: http://adidasmedia.s3.amazonaws.com/adidas-team/_sports/FW21/FW21_Team_Tennis.pdf. Acesso em: 10 de mai. de 2022.
- ADIDAS. Ready for anything. **Adidas Wrestling**, [2020]. Disponível em: <https://adidaswrestling.com/aeroready/>. Acesso em: 10 de mai. de 2022.
- AHMAD, Z. et al. Fibers for Other Technical Textiles Applications. **Topics in Mining, Metallurgy and Materials Engineering**, n. September, p. 201–220, 2020.
- ALAM, F.; CHOWDHURY, H.; MORIA, H. A review on aerodynamics and hydrodynamics in sports. **Energy Procedia**, v. 160, n. 2018, p. 798–805, 2019.
- ANANDHAKUMAR, J. Developments in sports textiles. **Textile Today**, 15 ago. 2021. Disponível em: <https://www.textiletoday.com.bd/developments-in-sports-textiles/>. Acesso em: 05 de abr. de 2022.
- ATALIE, D. et al. Thermo-Physiological Comfort Properties of Sportswear with. p. 1– 12, 2021.
- BOUREDJI, K. et al. EveryWear Marketing Plan. 2020.
- BREUM, Roger. Hookit Insight | What makes the 50 Most Marketable Brands?. **SportsPro 50MM**, 20 set. 2021. Disponível em: <https://50mm.sportspromedia.com/analysis/2021/hookit-insight-what-makes-the-50-most-marketable-brands/>. Acesso em: 04 de mai. de 2022.
- CAETANO, M. Sportswear Da função à Moda. p. 76, 2019.
- CASTILLO, M. et al. Plan de negocios para la creación de una microempresa de uniformes deportivos personalizados en dry fit en el sector de Pomasqui. 2021.
- CONFEDERAÇÃO BRASILEIRA DE FUTEBOL. Regras de Futebol 2019/20. p. 231, 2019.

ELLIS, Jasha. The evolution of the soccer jersey. **Soccer365**, 13 ago. 2019. Disponível em: <http://www.soccer365.com/the-evolution-of-the-soccer-jersey/>. Acesso em: 05 de mai. de 2022.

GUILLÉN, J. G. Microfibras. 2001.

HALÁSZ, M. et al. Study on the compression effect of clothing on the physiological response of the athlete. **Materials**, v. 15, n. 1, 2022.

HAQUE, H. **Handbook of Technical Textiles**. [s.l: s.n.]. v. 3

HE, C. et al. Real-time humidity measurement during sports activity using optical fibre sensing. **Sensors (Switzerland)**, v. 20, n. 7, p. 1–12, 2020.

HEIDI, N. Sustainability in the sporting goods industry: How Nike, Adidas and Puma have developed company sustainability. **European Management**, 2019.

HEMPELL, Drew. A Look Back: The Creation of Nike Dri-F.I.T. **Eastbay**, 19 fev. 2021. Disponível em: <https://blog.eastbay.com/sneakerhistory/a-look-back-the-creation-of-nike-dri-f-i-t/>. Acesso em: 10 de mai. de 2022.

HEYSE, P. et al. MULTITEXCO - High Performance Smart Multifunctional Technical Textiles for the Construction Sector. **Procedia Engineering**, v. 114, p. 11–17, 2015.

HOGANS, K.; MCQUERRY, M. Assessment of Ventilated Athletic Uniforms for Improved Thermal Comfort and Human Performance. p. 1–2, 2017.

HU, R. et al. Emerging Materials and Strategies for Personal Thermal Management. **Advanced Energy Materials**, v. 10, n. 17, p. 1–23, 2020.

HUFENUS, R. et al. Melt-spun fibers for textile applications. **Materials**, v. 13, n. 19, p. 1–32, 2020.

IFAB. Laws of the game 2020/21. **FIFA**, 01 jun. 2020. Disponível em: <https://digitalhub.fifa.com/m/1cf301829f1cf996/original/ifab-laws-of-the-game-2020-21.pdf>. Acesso em: 04 de mai. de 2022.

INCROPERA, Frank P. et al. **Fundamentals of heat and mass transfer**. New York: Wiley, 1996.

JIN, B.; CEDROLA, E. **Product Innovation in the Global Fashion Industry**. [s.l: s.n.].

KAMAL, Nabil. The evolution of the football uniform. **Masses**, 11 jul. 2018. Disponível em: <http://masses.com.my/fashion/evolution-football-uniform/>. Acesso em: 05 de mai. de 2022.

LIMNELL, V.; BOX, P. O. Professional players, their brands, and the competitive strategies of tennis clothing companies Bachelor's Thesis Aalto University School of Business Fall 2021. 2021.

LIU, S.; ZHOU, J. Analysis of the dynamic properties of elastic knitted fabric for sportswear: inverse stress relaxation. **Textile Research Journal**, v. 89, n. 9, p. 1673–1683, 2019.

LÓPEZ, Ana M. Most valuable sports sponsors worldwide 2021. **Statista**, 01 dez. 2021. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/1049117/sports-sponsorship-value-main-brands-worldwide/#:~:text=Nike's%20sponsorship%20value%20in%202021,nearly%20343%20million%20U.S.%20dollars..> Acesso em: 04 de mai. de 2022.

MADUNA, L.; PATNAIK, A. Heat, moisture and air transport through clothing textiles. **Textile Progress**, v. 52, n. 3, p. 129–166, 2020.

MAESTÁ, A. C. Inovação do design ergonômico na produção de vestuário para futsal. 2015.

MCQUERRY, M. et al. A review of garment ventilation strategies for structural firefighter protective clothing. 2016.

MCROBERTS, L. B.; BLACK, C. M.; CLOUD, R. M. Evaluation of a Prototype SoftStructured Thoracic Posture Support Garment. **Clothing and Textiles Research Journal**, v. 34, n. 2, p. 143–158, 2016.

MEHRA, Aashish. Technical Textile Market by Material (Natural Fiber, Synthetic Polymer, Metal, Mineral, Regenerated Fiber), by Process (Woven, Knitted, Non-woven), by Application (Mobiltech, Indutech, Protech, Buildtech, Packtech), and Region - Global Forecast to 2025. **Markets and Markets**, 02 ago. 2021. Disponível em: <https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/technical-textile.asp>. Acesso em: 26 de jan. de 2022.

MISHRA, R. et al. Thermo physiological comfort of single jersey knitted fabric derivatives. **Fashion and Textiles**, v. 8, n. 1, 2021.

NEUNER, Matthias. The Future of Soccer Jerseys. **Wearable Technologies**, 20 jan. 2017. Disponível em: <https://www.wearable-technologies.com/2017/01/the-future-of-football-jerseys/>. Acesso em: 05 de mai. de 2022.

NIKE. What is Nike Dri-FIT? **Nike**, [2022]. Disponível em: <https://www.nike.com/help/a/nike-dri-fit>. Acesso em: 10 de mai. de 2022.

NO MORE CLIMACOOOL: In Depth: All-New Adidas 2020 Kit Technologies Revealed - HEAT.RDY vs AEROREADY. **Footy Headlines**, 07 jan. 2020. Disponível em: <https://www.footyheadlines.com/2019/11/all-new-adidas-2020-kit-technologies-heat-rdy-vs-aeroready.html>. Acesso em: 31 de mar. de 2022.

NUHRAT, Y. Bodies, Football Jerseys, and Multiple Male Aesthetics through Football in Turkey. **Fashion Theory - Journal of Dress Body and Culture**, v. 24, n. 5, p. 679–696, 2020.

PARK, J. et al. Knitted fabric properties influencing coolness to the touch and the relationship between subjective and objective coolness measurements. **Textile Research Journal**, v. 88, n. 17, p. 1931–1942, 2018.

PENG, Y.; CUI, Y. Advanced Textiles for Personal Thermal Management and Energy. **Joule**, v. 4, n. 4, p. 724–742, 2020.

PERRY, A.; LEE, J. Satisfaction with current martial arts' uniforms and purchase intention of new uniforms. **Fashion and Textiles**, v. 4, n. 1, p. 1–18, 2017.

PUMA dryCELL Explained. **Champions League Shirts**, [2018]. Disponível em: <https://championsleagueshirts.com/puma-drycell-explained#:~:text=Puma%20dryCELL%20is%20a%20moisture,dry%20and%20comfortable%20during%20games..> Acesso em: 31 de mar. de 2022.

PUMA. Evoknit Football and Chill. **Puma**, [2022]. Disponível em: <https://about.puma.com/en/innovation/innovation-landmarks>. Acesso em: 11 de mai. de 2022.

PUMA. Puma breaks performance barriers with lightest ever jersey featuring revolutionary ultraweave technology. **Puma**, 06 out. 2021. Disponível em: https://about.puma.com/en/newsroom/brand-and-product-news/2021/10-05-21-pumaxultra_weave. Acesso em: 11 de mai. de 2022.

RACCUGLIA, M. et al. Spatial and temporal migration of sweat: from skin to clothing. **European Journal of Applied Physiology**, v. 118, n. 10, p. 2155–2169, 2018.

RAJ, A. E. N.; YAMUNADEVI, S. Application of textile fibres for technical and performance enhancements in sports. v. 3, n. 12, p. 40–45, 2016.

RASHEED, Abher. Classification of technical textiles. In: **Fibers for Technical Textiles**. Springer, Cham, 2020. p. 49-64.

REVAIAH, R. G.; KOTRESH, T. M.; KANDASUBRAMANIAN, B. Technical textiles for military applications. **Journal of the Textile Institute**, v. 111, n. 2, p. 273–308, 2020.

RV, A. Moisture Management Properties of Textiles and Its Evaluation. **Current Trends in Fashion Technology & Textile Engineering**, v. 3, n. 3, 2018.

SABREEN, Mahmoud Shtaiwi. The Convenience of Sportswear Functional Properties with the Football Player Body. p. 57–80, 2017.

SANCHES, Regina Aparecida et al. Contemporâneo: Evolução dos tecidos no uniforme de futebol. **dObra [s]: revista da Associação Brasileira de Estudos de Pesquisas em Moda**, v. 4, n. 9, p. 21-23, 2010.

SARABIA-RIQUELME, R. et al. Effect of Drawing on the Electrical, Thermoelectrical, and Mechanical Properties of Wet-Spun PEDOT:PSS Fibers. **ACS Applied Polymer Materials**, v. 1, n. 8, p. 2157–2167, 2019.

SMIT, Barbara. Sneaker Wars: The Enemy Brothers Who Founded Adidas and Puma and the Family Feud That Forever Changed the Business of Sports. **Harper Perennial**, 2008.

SPASOVA, M.; RAHNEV, I. Preliminary comparison of contact angle and wetting resistance of water-repellent treated cotton woven fabric. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 1188, n. 1, p. 012002, 2021.

STOJANOVIĆ, S.; GERSAK, J. Textile materials intended for sportswear. **Tekstil**, v. 68, n. 4–6, p. 77–88, 2019.

STULIĆ, D. Fizikalno-mehanička svojstva pletiva za sportsku odjeću. 2022.

STYGIENÉ, L. et al. Investigation of thermoregulation properties of various ceramiccontaining knitted fabric structures. **Journal of Industrial Textiles**, v. 50, n. 5, p. 716–739, 2020.

SUN, C. et al. Novel ventilation design of combining spacer and mesh structure in sports T-shirt significantly improves thermal comfort. **Applied Ergonomics**, v. 48, p. 138–147, 2015.

TAO, Y. et al. The influence of fiber cross-section on fabric far-infrared properties. **Polymers**, v. 10, n. 10, 2018.

TARAFDER, N. Textiles in Sportswear, Sports Goods and Sports Equipment-A Discussion. **Journal of Mechanical Robotics**, v. 4, n. 3, p. 2582–2187, 2019.

TEXCOMS. Textile Fibres: Textile Technology Knowledge Series 1. v. I, p. 1–301, 2019.

TIGHE, D. Adidas, Nike & Puma revenue comparison 2006-2021. **Statista**, 27 jul. 2022. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/269599/net-sales-of-adidas-and-puma-worldwide/#statisticContainer>. Acesso em: 25 de abr. de 2022.

ULLAH, H. M. K. et al. A review of noteworthy/major innovations in wearable clothing for thermal and moisture management from material to fabric structure. **Textile Research Journal**, 2021.

VARADARAJU, R.; SRINIVASAN, J. Design of sports clothing for hot environments. **Applied Ergonomics**, v. 80, n. February 2018, p. 248–255, 2019.

VUONG, Minh. Material matters: feeling the breeze of adidas climacool. **Sneaker Freaker**, 06 out. 2021. Disponível em: <https://www.sneakerfreaker.com/features/material-matters/material-matters-feeling-the-breeze-of-adidas-climacool-technology>. Acesso em: 10 de mai. de 2022.

XUE, Ye; LOFLAND, Samuel; HU, Xiao. Thermal conductivity of protein-based materials: A review. **Polymers**, v. 11, n. 3, p. 456, 2019.

YANG, Z. et al. On the cross-section of shaped fibers in the dry spinning process: Physical explanation by the geometric potential theory. **Results in Physics**, v. 14, n. February, p. 12–14, 2019.

ΚΑΛΑΒΡΙΑ, ΤΗΣ Σ. Ι. Η χρήση των νέων τεχνολογιών στο άθλημα της αντισφαιρίσης.
2021.

ANEXO A – DIAGRAMA PSICROMÉTRICO

