



Nuno Rafael dos Santos Moura

Kinesio taping - Caracterização mecânica da banda Kinesio e da interface entre a banda/pele TÍTULO

Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica
na Especialidade de Produção e Projecto

Fevereiro/2018



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Kinesio taping - Caracterização mecânica da banda Kinesio e da interface entre a banda/pele

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Mecânica na Especialidade de Produção e Projeto

Autor

Nuno Rafael dos Santos Moura

Orientadores

Professor Doutor Amílcar Lopes Ramalho

**Professor Doutor Pedro Alexandre de Almeida do Vale
Antunes**

Júri

Presidente	Professor Doutor Ricardo Nuno Madeira Soares Branco Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra Professor Doutor Pedro Alexandre de Almeida do Vale
Orientador	Antunes Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra Professor Doutor Luís Miguel Cardoso Vilhena Pereira da
Vogais	Silva Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Coimbra, Fevereiro, 2018

Agradecimentos

Este trabalho marca o fim de mais uma fase muito importante da minha vida, de mais um objetivo alcançado, e só foi possível com o apoio, incentivo e confiança de algumas pessoas. A essas pessoas quero deixar um sincero agradecimento.

Ao professor Doutor Amílcar Ramalho pela orientação nesta dissertação e todo o conhecimento transmitido.

Ao professor Doutor Pedro Antunes pela orientação, disponibilidade, partilha de conhecimento.

A todos os professores do laboratório de construções mecânicas do DEM pela ajuda, partilha de conhecimento e boa disposição.

Agradeço me especial aos meus pais, Fernando e Teresa, pelo seu amor incondicional, pelo carinho, dedicação e confiança que depositaram em mim.

Ao meu irmão João pelo companheirismo, amizade e cumplicidade que nos une.

Aos meus restantes familiares que de uma maneira ou outra ajudaram e contribuíram para esta longa caminhada.

A todos os meus amigos, que também são família, pela amizade, pelo apoio e por todas as memórias.

Obrigado!!!

Resumo

O objetivo desta dissertação é através da caracterização mecânica e tribológica das fitas *kinesio* a verificação do mito, que a existência de cores diferentes é indicador de diferentes propriedades, mas também conhecer melhor o comportamento mecânico destas fitas terapêuticas.

Com este objetivo estudaram-se três cores diferentes, azul, bege e preta. Os processos experimentais utilizados foram os ensaios de tração e relaxação de tensões para a caracterização mecânica e ensaios de atrito para a caracterização tribológica.

Nos ensaios de tração, usaram-se diversos parâmetros de análise de modo a que se verificasse a influência de cada um deles no comportamento mecânico das fitas *kinesio*. Assim, foram usadas cinco velocidades de deslocamento diferentes e três relações de comprimento/largura. Neste tipo de ensaios apresentam-se propriedades como a resistência à tração, força máxima, deformação máxima, rigidez e energia absorvida. Em alguns ensaios de tração utilizaram-se métodos complementares de análise, como o sensor piezoelétrico, para tentar compreender os mecanismos de dano que ocorriam na fita. Foi efetuada uma análise morfológica das fitas anteriormente ensaiadas.

Para a caracterização mecânica das fitas foram realizados também ensaios de relaxação de tensões. Usaram-se três deformações diferentes, para cada uma das fitas testadas, com um tempo de relaxação de 9000 segundos. Os resultados obtidos encontram-se de acordo com o modelo de Maxwell generalizado modificado, a utilização deste modelo tem com o objetivo de obtenção dos seguintes parâmetros: módulo de elasticidade, coeficiente de viscosidade e os diferentes tempos característicos.

Nos ensaios de atrito, apenas se analisou uma zona do corpo, a face ventral do antebraço, com o objetivo de calcular o coeficiente de atrito entre a pele humana e a superfície da fita.

Nas comparações feitas foi possível concluir, que ao contrário do que é indicado pela empresa Kinesio Taping®, que a alteração da cor pode indicar a diferença nas propriedades mecânicas, pelo menos entre a cor preta e as restantes existe variações significativas nos valores obtidos para as diferentes propriedades. Também se concluiu que o coeficiente de atrito é praticamente igual para as diferentes cores.

Palavras-chave: *Kinesio*, Cores, Resistência tração, Deformação, Rigidez, Coeficiente de atrito .

Abstract

The objective of this dissertation is to determinate the veracity of a myth regarding the kinesio tapes different colors behavior, through the mechanical and tribological characterization. These therapeutics tapes are widely used but their behavior is poorly understood.

Regarding this purpose three colors were studied, blue, beige and black. For what concerns the mechanical characterization the experimental procedures selected were traction tests and stress relaxation tests. The tribological characterization comprised a friction test.

In the tensile test, several parameters were used in order to have a clear understanding of their influence on the kinesio tape behavior. Therefore, five different displacement speeds and three ratios length / width were used. In this type of tests, the following properties were attained: tensile strength, maximum strength, maximum elongation, stiffness and breaking energy. In these tests, some complementary methods were used, such as a piezoelectric sensor, in order to understand the tape failure mechanism behavior, an morphological analysis was also done.

In the stress relaxation tests three different deformations were used with 9000 seconds duration time. The attained results were coherent with the modified generalized Maxwell model, which allowed to obtain the following properties: elastic modulus, viscosity coefficient and the relaxation characteristic time.

For what concerns friction tests, only one area of the body was analyzed, the ventral face of the forearm, with the purpose to calculate the coefficient of friction between the human skin and the tape's surface.

Through results comparison, it was possible conclude that color may influence the mechanical properties. For what concerns black colour tape there are significant values variations for different properties. It was also possible to concluded that the coefficient of friction is practically independent of the tape's colour.

Keywords Kinesio , colours ,tensile strength, elongation, stiffness, coefficient of friction.

Índice

Índice de Figuras	x
Índice de Tabelas	xii
[Simbologia] e [Siglas] [(remover se não aplicável)].....	xiv
[Simbologia] [(remover se não aplicável)].....	xiv
[Siglas] [(remover se não aplicável)]	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Motivação	1
1.2. Estrutura.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. <i>Kinesio taping</i>	3
2.1.1. História	3
2.1.2. Exemplos de outras fitas terapêuticas.....	5
2.1.3. Método.....	5
2.1.4. Características das fitas <i>kinesio</i>	7
2.2. Caracterização mecânica e tribológica	8
2.2.1. Caracterização mecânica	8
2.2.2. Caracterização Tribológica.....	14
3. Materiais e procedimentos experimentais	17
3.1. Material.....	17
3.2. Procedimentos e Equipamentos	18
3.2.1. Caracterização mecânica	18
3.2.2. Caracterização Tribológica.....	28
4. Apresentação e análise dos resultados.....	31
4.1. Caracterização mecânica.....	31
4.1.1. Ensaio de tração.....	31
4.1.2. Ensaio de relaxação de tensões.....	44
4.2. Caracterização tribológica	47
5. Conclusão e trabalhos futuros.....	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.- Diagrama esquemático da estrutura da pele[7].....	4
Figura 2.2.- Exemplos das diferentes formas de aplicação[10].	7
Figura 2.4.- Representação gráfica das duas analogias (mola e amortecedor)[24].	12
Figura 2.4.- Modelo de Maxwell [22].....	13
Figura 2.5.- Representação do modelo de Maxwell generalizado modificado[22].....	14
Figura 2.6.- Representação esquemática dos fatores que podem influenciar o atrito [28].	15
Figura 3.1.- Foto do material utilizado.....	17
Figura 3.2.- Foto das novas amarras antes e depois da colocação da lixa.	19
Figura 3.3.- Representação gráfica do cálculo da resistência à tração e deformação máxima.....	21
Figura 3.4.- Representação gráfica do cálculo da rigidez.	22
Figura 3.5.- Representação gráfica da área calcula na equação 3.5.....	23
Figura 3.6.- Foto de um ensaio de tração com piezoelétrico.	24
Figura 3.7.- Representação gráfica do cruzamento dos gráficos frequência-tempo e declive-tempo.	24
Figura 3.8.- Exemplos das zonas fotografadas na primeira análise.....	25
Figura 3.9.- Exemplos das zonas fotografadas na segunda análise.	25
Figura 3.10- Exemplo da aproximação ao Modelo Maxwell generalizado modificado.....	28
Figura 3.11- Foto do ensaio de atrito.	28
Figura 3.12- Retas de calibração da célula de carga.	29
Figura 3.13- Representação gráfica do modelo de regressão linear para o cálculo do coeficiente de atrito.....	30
Figura 4.1.- Registo fotográfico dos testes de tração fita azul a)100/50mm b)63/25mm c)150/50mm.....	32
Figura 4.2.-Representação gráfica dos valores tabelados para a fita <i>kinesio</i> azul.	36
Figura 4.3.- Registo fotográfico dos testes de tração fita bege a)100-50mm b)63-25mm c)150-50mm.	37
Figura 4.4.-Representação gráfica dos valores tabelados para a fita <i>kinesio</i> bege.....	39
Figura 4.5.- Registo fotográfico dos testes de tração fita preta a)100/50mm b)63/25mm c)150/50mm.....	40
Figura 4.6.-Representação gráfica dos valores tabelados para a fita <i>kinesio</i> preta.	42

Figura 4.7.- Linhas de aproximação obtidas no ensaio de relaxação de tensões
a) Deformação 87,5% b) Deformação 67,5% c) Deformação 17,5%. 45

Figura 4.8.- Coeficiente atrito médios para as diferentes fitas..... 47

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1. Exemplos dos diversos modelos existentes[25]	12
Tabela 3.1. Materiais em estudo, características e respetivo lote.	18
Tabela 3.2. Planificação dos ensaios de tração.	20
Tabela 3.3. Planificação dos ensaios de relaxação de tensões.	26
Tabela 4.1. Resultados dos testes de tração da fita azul na relação de comprimento/largura 100/50mm.	32
Tabela 4.2. Resultados dos testes de tração da fita azul na relação de comprimento/largura 63/25mm.	33
Tabela 4.3. Resultados dos testes de tração da fita azul na relação de comprimento/largura 150/50mm.	34
Tabela 4.4. Resultados dos testes de tração da fita bege.	37
Tabela 4.5. Resultados dos testes de tração da fita preta.	40
Tabela 4.6. Resultados da contabilização da primeira análise microscópica.	43
Tabela 4.7. Resultados da contabilização da segunda análise microscópica.	44
Tabela 4.8. Resultados dos ensaios de relaxação de tensões.	46
Tabela 4.9. Erro quadrático médio.	46
Tabela 4.10. Resultados dos ensaios de atrito.	47

Erro! A origem da referência não foi encontrada.

SIMBOLOGIA E SIGLAS

Simbologia

ε -Deformação

η -Viscosidade

μ -Coeficiente de atrito

σ - Tensão

τ -Tempo de relaxação característico

A-Área

E- Energia absorvida

EMQ-Erro médio quadrático

F- Força tração

FN-Força Normal

Ft-Força tangencial

k-Rigidez

l-Comprimento

L-Largura

m-Declive da reta

n1-número pontos utilizados

t- Tempo

Siglas

ASTM – American Society for Testing and Materials

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

EA-Energia absorvida

RT- Resistência à tração

Erro! A origem da referência não foi encontrada.

1. INTRODUÇÃO

A medicina e a engenharia estão cada vez mais interligadas. Devido à atual necessidade de melhorar a qualidade e eficácia da medicina, esta aliou-se à engenharia. O produto desta aliança tem trazido vários benefícios, como a melhoria de equipamentos, mas também o aparecimento de tratamentos alternativos. Uma das áreas que mais tem sido beneficiada por esta aliança, é a medicina desportiva. Nesta existe a constante necessidade de procura de novas formas que, não só, garantam o elevado desempenho físico do atleta, como também, de tratamentos que acelerem o processo de reabilitação do mesmo, em caso de lesão. O método *kinesio taping* é um dos resultados dessa procura.

Este método baseia-se em fitas terapêuticas elásticas e adesivas que, em contacto com a pele, proporcionam um mecanismo de pressão, o qual, para além de garantir o funcionamento de forma correta do músculo, também permite a diminuição do tempo de recuperação, quando este se encontra lesionado. Devido às suas propriedades específicas, as fitas *kinesio* comportam-se como uma segunda pele, permitindo uma adaptação mais natural e confortável. A estrutura única do adesivo estimula o alongamento e encurtamento dos músculos e descarrega a tensão acumulada na pele e nervos, enviando, desta forma, uma informação sensorial positiva ao organismo. Para além disso, este método tem a particularidade de prolongar os efeitos das terapias manuais convencionais, ao permitir que os benefícios terapêuticos se mantenham por um longo período de tempo, já que, as fitas *kinesio* têm vários dias de vida, mesmo quando submetidos a condições desfavoráveis/adversas. Os principais efeitos das fitas *kinesio* são: suporte muscular, redução do congestionamento de fluidos corporais, ativação do sistema analgésico endógeno e correção de problemas estruturais.

1.1. Motivação

Este é um método cada vez mais utilizado nos últimos anos e que ainda está em processo de investigação e conhecimento. Contudo muita da investigação incide na perspetiva médica deste método, na sua eficiência e nos modos de aplicação. Quanto ao conhecimento das propriedades mecânicas do material das fitas *kinesio*, existe muita pouca informação, e, por isso, ainda é desconhecido a capacidade mecânica da mesma.

Esta dissertação de mestrado procura colmatar essa lacuna, através da caracterização mecânica e tribológica das fitas *kinesio*. No que diz respeito à caracterização mecânica serão realizados dois tipos de ensaios: tração e relaxação de tensões. Os testes de atrito visam a caracterização tribológica do contacto da fita com a pele. Para além da caracterização da fita, também se testará a veracidade do mito de que a variação da cor é indicador de diferentes propriedades. Sobre este tema, Kenzo Kase [1], no seu livro, transmite a ideia de que a cor da fita em nada influencia os efeitos terapêuticos, nem é significado de diferentes propriedades das fitas, referenciando que a variância da cor é apenas para criar um leque maior de opções para a escolha do cliente. Kumbrink [2] afirma que não existe diferença na estrutura e propriedades das fitas com diferentes cores, dizendo que as cores escolhidas para as fitas tiveram como base a teoria das cores. A cor vermelha é considerada ativadora e estimulante, enquanto a cor azul, calmante. Por outro lado, o preto e o bege, são classificados como neutro. Porém, alguns fisioterapeutas defendem que as fitas com diferentes cores têm capacidades terapêuticas e propriedades diferentes. Por exemplo, para lesões ligeiras, onde o objetivo é a menor absorção de calor e, conseqüentemente, a maior vasoconstrição, defendem o uso de cores que refletem mais luz, como azul ou bege. Por outro lado, para casos crônicos, onde o calor é um fator benéfico, escolhem cores que absorvam mais luz, como vermelho ou preto. Em relação à cor preta defende que esta é mais rígida, portanto deve ser utilizada em correções estruturais.

1.2. Estrutura

Esta dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos. O primeiro capítulo diz respeito à introdução e motivação do trabalho. O segundo capítulo consiste da revisão bibliográfica que tem por objetivo apresentar o conhecimento acerca do método *kinesio*. Os vários trabalhos publicados e o que já foi feito em termos de caracterização do método e do material nele utilizado. No terceiro capítulo são apresentados os testes realizados para a caracterização mecânica e tribológica do sistema *kinesio*. Deste modo são apresentados os procedimentos experimentais, equipamentos e os materiais em estudo, mas também os processos de tratamento informação recolhida. No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos e é feita uma análise de resultados. Por fim, no quinto, e último capítulo, são apresentadas as conclusões retiradas e algumas propostas de possíveis trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. *Kinesio taping*

2.1.1. História

Em pleno século XXI o Homem tem acesso a recursos que permitem ter uma qualidade de vida superior aos nossos antepassados. Na área da saúde a qualidade tem evoluído consideravelmente nos últimos anos.

Hoje em dia um atleta, um trabalhador no qual a profissão exige trabalho físico, uma pessoa com uma doença motora ou até mesmo uma pessoa que tenha uma simples lesão física, todos eles pretendem que o seu bem-estar diário seja garantido, o qual, é influenciado pelos mais diversos tipos de lesões, como é o caso de um músculo ou um tendão lesado[3]. De modo a combater estes casos de mau estar existe a cinesiologia, ciência que estuda o movimento. Na saúde a cinesiologia estuda o movimento humano sob o ponto de vista físico, os movimentos que acontecem no nosso corpo pela ação muscular, mas também o estudo da estrutura esquelética. Os cinesiologistas têm como base a anatomia, ciência que estuda o corpo humano e a fisiologia, ciência que estuda o funcionamento organizacional do corpo[4].

Com a maior especialização e, conseqüente, aumento do conhecimento de funcionamento dos músculos, o tratamento de músculos lesados melhorou ao longo do tempo. Tradicionalmente, os tratamentos restringiam o movimento do músculo lesado, situação que com os conhecimentos adquiridos atualmente, sabemos que é prejudicial, pois dificulta a circulação, aumenta a dor e, conseqüentemente, diminui a velocidade de tratamento[3]. Assim, com todos os conhecimentos obtidos através da cinesiologia e da experiência adquirida na fisioterapia, o Dr. Kenzo Kase criou o método *kinesio taping*.

Kenzo Kase, quiroprático japonês, reforçava a ideia que os músculos e outros tecidos moles, tais como as fáscias, ligamentos e tendões, poderiam ser ajudados através de um apoio ou suporte externo, e para isso era somente necessária uma fita elástica que fosse capaz de auxiliar a função normal dos tecidos moles[5]. Isto é, com a introdução da fita terapêutica que funcionasse como aporte proprioceptivo e nervoso, direcionado através da pele, esta fazia com que os sistemas de comunicação fossem afetados, e como, a pele e o cérebro trocam informação constantemente de modo a que o corpo responda às condições internas e externas, criando assim o apoio/suporte externo para ajudar os tecidos moles. A

pele, o maior órgão do nosso corpo, cobrindo em média cerca de 1,8 m² de área superficial em pessoas adultas[6], atua como fronteira e primeira linha de defesa contra a invasão de agentes externos e é, além disso, um órgão sensorial, um agente de secreção e excreção e um regulador de temperatura corporal. A Figura 2.1 apresenta esquematicamente a estrutura da pele.

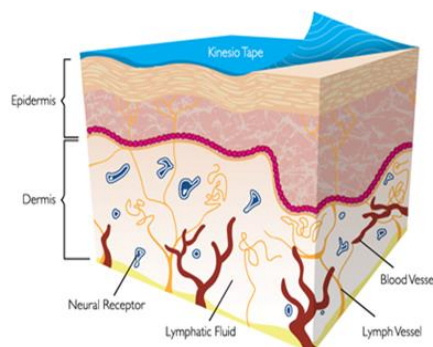


Figura 2.1.- Diagrama esquemático da estrutura da pele[7].

Neste sentido, iniciou uma pesquisa por um material que fosse capaz de obter os resultados que ele pretendia, tendo como resultado, na década de 70, o método *kinesio taping*, o qual despertou interesse de toda a comunidade da saúde[8]. Inicialmente, foi utilizado em clínicas de reabilitação em diversos países orientais e tomou proporções internacionais após as Olimpíadas de Seoul, em 1988, onde 50000 rolos foram distribuídos gratuitamente por 58 países, levando, desta forma, a que o material fosse exposto ao cenário mundial. Logo em seguida, em 1995, foi introduzido nos EUA e na Europa. Mas foi só em 2012 que estas fitas elásticas despertaram a atenção dos mais distraídos. Com os jogos Olímpicos de Londres e o campeonato europeu de futebol realizados na Polónia e Ucrânia, onde se viu com grande frequência os atletas com as fitas aplicadas, o que levou a que a popularidade das mesmas explodisse[9].

Com a fama vieram as dúvidas. Surgiram questões como, do que eram aquelas fitas, e da sua eficácia quando utilizadas. Atualmente encontramos muita investigação da utilidade e eficácia do *kinesio taping* em pessoas com deficiência de movimentos, nos vários desportos, mas também em lesões do dia-a-dia. A verdade é que este método veio revolucionar a medicina, mas também o mercado. A sua utilização tem estado em crescimento, e é previsível continuar, visto ainda ser um método que está em conhecimento.

2.1.2. Exemplos de outras fitas terapêuticas

As ligaduras clássicas e o método de *taping* McConnell são exemplos de outros tipos de fitas terapêuticas. Existem algumas diferenças entre estes métodos e o *kinesio taping*.

A ligadura elástica tradicional é usada para reduzir a amplitude do movimento do músculo e o seu principal efeito é criar uma ponte sobre as áreas lesadas para que os atletas possam executar determinados movimentos sem sintomatologia álgica. Estas ligaduras são removidas após o término da atividade desportiva.

O método *taping* McConnell é uma técnica que usa uma fita adesiva muito rígida devendo permanecer no corpo até 18 horas. Tem o contra de provocar muito desconforto ao paciente, motivo pelo qual, muitas vezes, a fita é retirada antes do tempo previsto[10]. Este método criado por Jenny McConnell em 1984, é usado principalmente para o tratamento e prevenção da dor na parte anterior do joelho. Este método tem vários estudos na comunidade científica que mostram resultados inconsistentes, apesar de, mesmo assim, continuar a ser uma escolha dos fisioterapeutas em certos tratamentos [11].

2.1.3. Método

O método *kinesio taping* consiste na aplicação de uma fita terapêutica elástica adesiva na pele para reduzir os sintomas e melhorar a funcionalidade dos músculos. Este tipo de fita age sobre o tecido muscular e fascial, sob as articulações e nos sistemas circulatório, linfático e nervoso. Este método é de fácil de aplicação e tem a particularidade de a fita ter uma vida de três a cinco dias, mesmo quando sujeita ao contato com a água e transpiração, sem que perca as suas propriedades[10].

O método *kinesio taping* pretende assim garantir os seguintes resultados[12]:

- Manutenção da amplitude completa dos movimentos;
- Normalização da pressão muscular, bem como ativação de músculos danificados;
- Diminuição da dor e sensibilidades patológicas na pele;
- Desaparecimento de bloqueios linfáticos;
- Reabsorção de edemas;
- Correção de posições comuns inapropriadas;
- Posição adequada da fáscia e da pele;

- Microcirculação melhorada;
- Melhoria da propriocepção;

Segundo Dr. Kase a fita deve ser aplicada segundo duas direções. Se o objetivo for o alívio e diminuição da dor dos músculos que estão lesados ou usados em excesso, a fita deve ser aplicada sem tensão, a partir dos tendões que seguram o músculo ao osso, ou seja da inserção do músculo, em direção à origem deste. No caso de músculos cronicamente lesados ou enfraquecidos, que necessitam de suporte e ganho amplitude de movimentos, a aplicação da fita deve ser feita com tensão leve, e em direção contrária, ou seja, com início na origem do músculo em direção à sua inserção. Após aplicação da fita esta deve ser esfregada durante alguns segundos para ativar o adesivo[3].

O método, apesar de ter uma aplicação relativamente fácil, também a forma como é aplicada pode influenciar o seu efeito terapêutico. Assim, a fita de *kinesio* pode ser aplicada com as seguintes formas: “Y”, “I”, “X”, “*Fan Cut*”, “*Web Cut*”, “*Donut Hole Cut*”, “*Basket Cut*”, “*Jellyfish Cut*” e “*Star*” [1], [13].

A forma “Y” é usada em zonas de tendão e ligamentos, onde a fita rodeia o músculo de forma a facilitar ou inibir os estímulos musculares. Contudo, também pode ser utilizada em técnicas de correção miofascial. A forma “I” pode ser usada no lugar da forma “Y” para um músculo ligeiramente lesado, quando este apresenta apenas edema e/ou alguma dor. Esta é a forma usada em quase todos os problemas clínicos. A forma “X” é utilizada quando a origem e a inserção de um músculo podem mudar dependendo do padrão de mobilidade da articulação, no entanto, normalmente é usada em lesões miofasciais. A faixa “*Fan*” é usada para a drenagem linfática, inflamação, edema, mas também na melhoria da circulação sanguínea. A forma “*Web*” é utilizada em zonas de inflamação, mais intensa do que a anterior, edema e melhoria da circulação sanguínea e linfática. A forma “*Donut*” é usada principalmente para edemas numa área específica, onde o centro, “buraco do *donut*”, é colocado diretamente sobre a área a ser tratada, tendo como objetivo reduzir a área edematosa ou dolorosa. “*Basket Cut*” é mais forte do que a “*Web Cut*” e é usado quando o objetivo é reduzir edemas sólidos ou crônicos e alguma tromboflebite. “*Jellyfish Cut*” é usado em contexto neurológicos principalmente para o alívio de dor e/ou inflamação. Por fim, a forma “*Star*” é usada em pontos de dor e algumas roturas[1], [13].



Figura 2.2.- Exemplos das diferentes formas de aplicação[10].

Os efeitos terapêuticos dependem da direção e tensão aplicada à fita de *kinesio*. As deformações recomendadas para os vários efeitos são [13]:

- 0 - 10%: usado para os limites da zona de aplicação;
- 10 - 15%: usado para drenagem de fluidos e inibição miofascial;
- 15 - 25%: usado para inibição muscular se colocada de distal para proximal;
- 25 - 35%: usado para facilitação muscular se colocada de proximal para distal;
- 50 - 75%: usado para zonas de tendão e ligamentos ou correções mecânicas;
- 75 - 100%: usado para correções mecânicas e técnicas de ligamento.

2.1.4. Características das fitas *kinesio*

As fitas *kinesio* apresentam propriedades muito particulares que lhe permitem garantir resultados aquando da sua utilização. Desde do início que o Dr. Kase apostou nas propriedades da fita, sendo que certas características, como o peso e a espessura, assumiram especial importância para Kenzo Kase. Assim, as fitas *kinesio* têm a espessura aproximada da epiderme e o seu peso é relativamente baixo[8]. A epiderme é uma camada com profundidade diferente conforme a região do corpo, podendo ter até 2 mm de espessura. A sua espessura é máxima, ou seja, de 2mm, em zonas sujeitas a maior atrito, como nas palmas das mãos e dos pés[14]. Estas características, permitem à fita, ao fim de algum tempo, quando bem aplicada, passarem despercebidas ao paciente que as utiliza, para além de não causarem nenhum incómodo funcional, e portanto, não afetarem adversamente a sua biomecânica.

Estas misteriosas fitas terapêuticas são feitas de um conjunto de fios de um polímero elástico envolvido por fibras 100% algodão, sem latex, porosas, à prova de água e

transpiração, onde a parte adesiva hipoalergénica é ativada pelo calor. Devido ao pouco conhecimento deste método ainda existe a ideia que estas têm na sua constituição qualquer medicamento para fins terapêuticos, de modo a acelerar e a facilitar a cura. Mas a verdade é que as fitas não têm na sua constituição qualquer elemento químico com fins medicinais. Uma das propriedades mais importantes desta fita, e a que a caracteriza mais, é a sua elasticidade. A capacidade de alongamento desta fita pode ir até aos 120-140% do seu tamanho original. Outra propriedade que a destaca das suas concorrentes de mercado é o seu tempo de vida, isto é, o seu tempo de duração. Estas fitas conseguem durar de três a cinco dias sem perder as propriedades, pelo menos, de forma considerável, mesmo em condições desfavoráveis/adversas. Este método também tem a seu favor o vasto leque de cores que dispõe ao cliente, afinal a estética conta cada vez mais no dia-a-dia. [1] A fita quando é fabricada é colocada no papel que protege a zona adesiva com uma pré deformação de 10%. [2]

2.2. Caracterização mecânica e tribológica

2.2.1. Caracterização mecânica

Apesar do método já ter mais de quarenta anos existe ainda muita pouca informação acerca das propriedades mecânica. Para a caracterização mecânica é necessário recorrer a ensaios mecânicos.

Os ensaios mecânicos podem ser classificados quanto à integridade geométrica e dimensional da peça ou quanto à velocidade de aplicação da carga. Quanto à integridade geométrica e dimensional da peça os ensaios podem ser destrutivos, quando provocam a inutilização parcial ou total das peças (tração, dureza, fadiga etc.), e não-destrutivos, quando não comprometem a integridade da peça (raios X, ultra-som etc.). Quanto à velocidade de aplicação da carga, os ensaios podem ser estáticos, quando a carga é aplicada de maneira suficientemente lenta, induzindo a uma sucessão de estados de equilíbrio, caracterizando um processo quase-estático (tração, compressão, flexão, torção e dureza), dinâmicos, quando a carga é aplicada rapidamente ou ciclicamente (fadiga e impacto) e os de carga constante, quando a carga é aplicada durante um longo período (fluência).

Os ensaios de tração são dos ensaios mais utilizados na caracterização dos materiais. Este consiste na aplicação carga de tração uniaxial, de forma crescente ao longo

do tempo, nas extremidades do material em caracterização. Com estes ensaios podemos retirar quase instantaneamente o gráfico força-deslocamento, que depois nos permite chegar com simples cálculos matemáticos ao gráfico tensão-deformação. Com o auxílio do gráfico podemos retirar características mecânicas como deformação no ponto de rotura, tensão máxima. Normalmente é aconselhável, aquando a realização de testes de tração seguir as normas técnicas, para existir uma uniformização na obtenção de resultados e assim ser comparáveis. Nesta dissertação a norma seguida foi a ASTM D3759 M da *American Society for Testing and Materials*[15]. Nela podemos encontrar como tratar a informação retirada dos ensaios de tração de modo a chegarmos a algumas propriedades mecânicas de forma a caracterizar o material.

Na literatura são vários os casos onde se realizam testes de tração para caracterizar mecanicamente a fita *kinesio* ou outras fitas terapêuticas[16]–[21]. A metodologia mais utilizada é a comparação de fitas *kinesio* de diferentes marcas.

As propriedades mais faladas são: resistência à tração, deformação máxima, absorção de energia e força necessária para alcançar uma dada deformação.

Matheus *et al* [21] compara várias marcas de fitas *kinesio*, apresentando quatro propriedades, tensão máxima, deformação máxima, força máxima e rigidez. As deformações máximas atingidas variam entre os 305% e os 424%, o que são valores bastante elevados. As forças máximas atingidas variam entre os 4,56N e 11,18N, forças bastante baixas, justificando assim talvez as deformações elevadas. Com deformações elevadas e forças máximas baixas a rigidez da fita deu valores baixos, entre 0,07 N/mm e 0,21 N/mm.

Rodriguez *et al* [16] apresenta uma comparação de marcas também, mas adiciona a variável cor, isto é, para além da comparação entre marcas este apresenta resultados dentro de cada marca para diferentes cores. Por exemplo, dentro da marca Sport TexTM são comparadas as cores azul, preta e vermelha, onde a cor preta apresenta uma deformação máxima mais baixa, 72,5%, contra os 102% e 103% da fita azul e vermelha, respetivamente. É apresentado o valor da espessura da fita, idêntica para as três cores (0,48mm, 0,49mm e 0,52mm). O valor da espessura permite o cálculo da tensão e do módulo de Young, que indica a rigidez do material. Nestas propriedades, e ainda dentro da marca Sport TexTM, para a tensão máxima a preta volta a apresentar valores mais baixos, 5,87MPa, enquanto a azul apresenta 7,30MPa e a vermelha 6,93MPa, no módulo de Young a preta

apresenta valores superiores aos das outras cores, 0,0809MPa contra os 0,0715MPa da azul e 0,0672MPa da vermelha.

Tunakova *et al*[19] ao contrários dos anteriores, não aposta na comparação de marcas, usando outra variável, a relação comprimento-largura. Usando o mesmo comprimento, 100mm, varia a largura da fita em cinco dimensões, 50mm, 40mm, 30mm, 25mm e 20mm. São estudadas várias propriedades, como resistência à tração, deformação máxima e rigidez. Na resistência à tração os valores variam entre os 75,9N aos 184,9N, onde se depara com um aumento do valor da resistência à tração com o aumento da largura, ou seja, o valor mais baixo, 75,9N, corresponde à largura de 20mm e o valor mais alto, 184,9N à largura de 50mm. Na rigidez o comportamento é semelhante, onde o valor mínimo é de 25N/m e o máximo é de 61N/m. Na deformação máxima, apesar de também existir um aumento com o aumento da largura, os valores são bastante mais próximos uns dos outros, 102,4%, 97,1%, 95,7%, 97,3% e 96% para as larguras de 50mm,40mm,30mm,25mm e 20mm, respetivamente.

Os ensaios estáticos tipicamente utilizados para estudar o comportamento viscoelástico dos materiais são os de fluência. Dentro dos ensaios de fluência, existem três categorias, resistência à fluência, rutura à fluência e relaxação. Nos ensaios de relaxação aplica-se subitamente uma deformação no material em teste e analisa-se a variação da tensão no tempo, mantendo-se a deformação inicial constante ao longo do tempo. Na literatura não é utilizado este tipo de ensaios.

Um material viscoelástico apresenta propriedades mecânicas que em determinados aspetos se assemelham a um material elástico, que obedece à lei de Hooke, e a um líquido viscoso, que obedece à lei de Newton.

Para explicar as várias nuanças da viscoelasticidade, é feito uso de analogias mecânicas como a uma mola e um amortecedor. Estas analogias foram desenvolvidas com objetivo de serem criados modelos matemáticos possíveis de tratar e retirar conclusões.

A analogia a uma mola tem como objetivo caracterizar o comportamento elástico instantâneo após aplicação da carga e a posterior recuperação aquando da remoção da carga. Nessa zona o material tem um comportamento de acordo com a lei de Hooke, a deformação é diretamente proporcional à tensão aplicada, ou seja, a tensão depende apenas da deformação (equação 2.1). Aplica-se a lei de Hooke (equação 2.1), onde E , o módulo de

Young, ou módulo de elasticidade, é a constantes de proporcionalidade entre a tensão aplicada e a deformação.

$$\sigma = E\varepsilon \quad (2.1)$$

A analogia a um amortecedor para caracterizar o comportamento viscoso, ou seja, a resposta retardada do material à aplicação da carga, ao crescimento da deformação com o tempo e a impossibilidade de relaxação total, mesmo em tempos infinitos. O material tem um comportamento Newtoniano, a tensão é diretamente proporcional à velocidade de deformação e o coeficiente de proporcionalidade é designada por viscosidade (η).

$$\sigma = \eta \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (2.2)$$

O conceito de viscoelasticidade linear pode ser descrito pela equação 2.3. Onde σ é a tensão, η a viscosidade, E o modulo de Young, $\frac{d\varepsilon}{dt}$ a velocidade de deformação[22].

$$\sigma + E \frac{d\sigma}{dt} = \eta \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (2.3)$$

Para estágios de deformação onde as deformações atingem valores maiores que uma dada deformação crítica, a tensão σ , por conseguinte, o módulo de relaxação, deixam de ser dependentes apenas do tempo e passa a depender também da deformação, e a viscoelasticidade deixa de ser linear para ser não linear. Estes casos são descritos pela equação 2.4[22].

$$E(t, \varepsilon)_{\varepsilon > \varepsilon_c} = \frac{\sigma(t, \varepsilon)_{\varepsilon > \varepsilon_c}}{\varepsilon} \quad (2.4)$$

O módulo de Young está relacionado com a energia necessária para deformar as ligações entre os átomos da cadeia polimérica. Quanto mais rígida a cadeia polimérica for maior será E . A viscosidade está relacionada com o atrito entre as moléculas poliméricas gerado durante a deformação. Quanto maior for a ocorrência de atrito, maior será o valor de η . A velocidade de deformação indica a influência do tempo na resposta de um polímero a uma determinada carga[23].

Na Figura 2.3.- Representação gráfica das duas analogias (mola e amortecedor)[24]. está representado graficamente estas duas analogias.

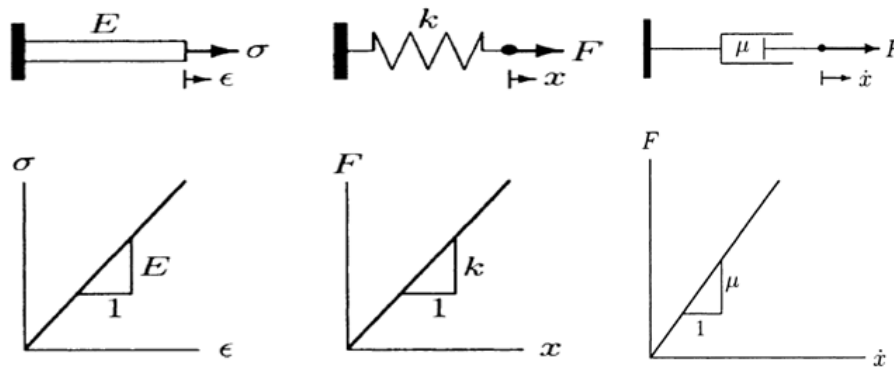


Figura 2.3.- Representação gráfica das duas analogias (mola e amortecedor)[24].

Como as analogias apresentadas em separado não caracterizam mais do que uma fase da viscoelasticidade, foram apresentados vários modelos, utilizando associações entre mola e amortecedor, de modo a tentar caracterizar todas as fases da viscoelasticidade. Alguns, de tão simples, nem apresentam todas as fases nem encontram aplicações práticas, outros, de tão complexos, nem sequer são utilizados mesmo que possam apresentar todas ou quase todas as fases da viscoelasticidade. Na tabela 2.1 são apresentados alguns desses modelos.

Tabela 2.1. Exemplos dos diversos modelos existentes[25]

Model	Representation	Constitutive equation
Hooke (elastic)		$\sigma = E\epsilon$
Newton (viscous)		$\sigma = \eta\dot{\epsilon}$
Maxwell (viscoelastic)		$\frac{\sigma}{\eta} + \frac{\dot{\sigma}}{E} = \dot{\epsilon}$
Voight (viscoelastic)		$\sigma = E\epsilon + \eta\dot{\epsilon}$
Standard linear solid		$(1 + \frac{E_1}{E_2})\sigma + \frac{\eta}{E_2}\dot{\sigma} = E_1\epsilon + \eta\dot{\epsilon}$
Pointing Thomson		$\frac{\sigma(\eta+E_1)}{\eta} = \frac{(E_1+E_2)\eta\dot{\epsilon}+E_1E_2\epsilon}{\eta}$

O modelo Maxwell é um dos modelos mais simples e serve como base para os modelos mais complexos. Este modelo apresenta apenas uma mola e um amortecedor em série, como se pode ver na Figura 2.4.

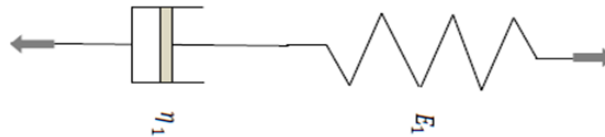


Figura 2.4.- Modelo de Maxwell [22].

Como estão em série, a tensão é a mesma na mola e no amortecedor ($\sigma = \sigma_m = \sigma_p$), e a deformação é a soma das deformações de cada elemento ($\varepsilon = \varepsilon_m + \varepsilon_p$). Os índices m e p representam a mola e amortecedor, respetivamente.

Resumindo todo este comportamento numa equação, obtém-se a equação 2.5, que é a equação do movimento para o modelo de Maxwell.

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{1}{E_1} \frac{d\sigma}{dt} + \frac{\sigma}{\eta_1} \quad (2.5)$$

A equação 2.5 serve como ponto de partida para o tratamento de resultados de ensaios de fluência, relaxação e carregamentos harmónicos. No caso particular da relação de tensões, como já foi descrito, é aplicada uma carga inicial de modo a obter uma deformação constante. Reduzindo assim a equação 2.5 a:

$$\frac{1}{E_1} \frac{d\sigma}{dt} + \frac{\sigma}{\eta_1} = 0 \quad (2.6)$$

Como,

$$d\sigma(t) = -\frac{\sigma(t)}{\tau} dt \quad (2.7)$$

Separando as variáveis e integrando a equação 2.7, obtemos:

$$\ln \frac{\sigma(t)}{\sigma_0} = -\frac{t}{\tau} \quad (2.8)$$

Obtém-se,

$$\sigma(t) = \sigma_0 e^{-t/\tau} \quad (2.9)$$

Onde $\tau = \frac{\eta}{E}$, que é o tempo de relaxação característico.

Assim, de forma a obter o módulo de relaxação do Modelo de Maxwell basta dividir ambos os lados da equação 2.9 pela deformação constante (ϵ_0), resultando assim a equação 2.10.

$$E(t) = E_1 e^{-t/\tau} \quad (2.10)$$

O modelo Maxwell Generalizado Modificado utiliza três elementos de Maxwell em paralelo, com mais uma mola em paralelo com os restantes, como está representado na Figura 2.5.

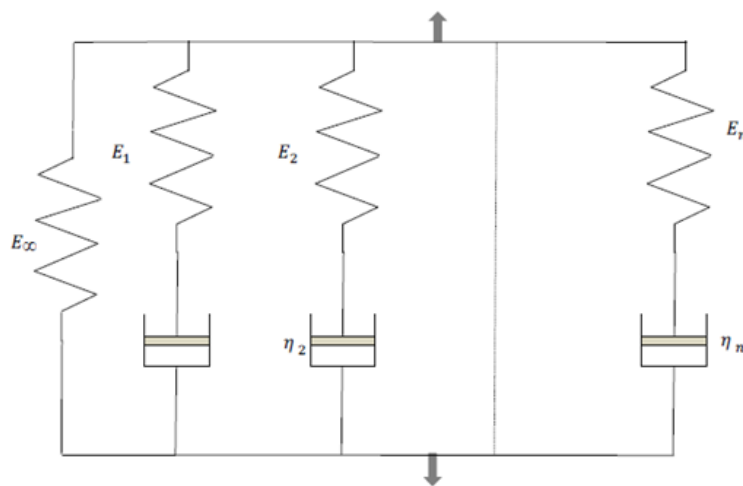


Figura 2.5.- Representação do modelo de Maxwell generalizado modificado[22].

A tensão do modelo será a soma das tensões dos ramos.

$$\sigma_t = \sigma_0 + \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \quad (2.11)$$

O ramo que apresenta apenas a mola tem somente comportamento elástico, logo aqui, pode-se aplicar a lei de Hooke (equação 2.1). Os outros três ramos são semelhantes ao modelo de Maxwell, definido anteriormente (equação 2.10).

Dessa feita, para o cálculo da tensão no modelo, basta substituir a Lei de Hooke e o módulo de relaxação do Modelo de Maxwell na equação 2.11, obtendo,

$$\sigma_t = E_0 \epsilon + E_1 e^{-t/\tau_1} + E_2 e^{-t/\tau_2} + E_3 e^{-t/\tau_3} \quad (2.12)$$

Na literatura é possível observar-se outro tipo de ensaios, ensaios de fadiga e de aderência [17], [21], [26].

2.2.2. Caracterização Tribológica

A tribologia é o ramo da ciência que estuda a interação entre superfícies com movimento relativo, o que inclui o estudo de: atrito, lubrificação e desgaste.

Nesta dissertação para a caracterização tribológica foram realizados testes de atrito.

O teste de atrito consiste em deslizar a sonda de medição na zona onde a fita está aplicada no corpo e aumentar simultaneamente a carga normal. Deste ensaio retira-se o coeficiente de atrito.

O atrito define-se como sendo uma força que se opõe ao movimento de uma superfície relativamente a outra com a qual está em contacto. Contudo, Johnson *et al* [27] afirma que a pele humana tem um comportamento característico de um material viscoelástico não linear e, conseqüentemente, a lei Amontons-Coulomb, que afirma que a força de atrito é diretamente proporcional à força normal e independente da área de contacto, não é válida para toda a gama de forças aplicadas à pele.

As fitas *kinesio* têm uma capacidade de adesão significativa e segundo Adams *et al* [28] a adesão é considerada a principal contribuição para o atrito da pele humana, enquanto que os mecanismos de deformação desempenham um papel menor.

Luís Afonso na sua dissertação de mestrado [29] apresenta os fatores que podem influenciar o coeficiente de atrito de forma esquemática, (Figura 2.6).



Figura 2.6.- Representação esquemática dos fatores que podem influenciar o atrito [28].

3. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Depois de uma pequena apresentação do material em estudo e de alguns conceitos teóricos, com o objetivo de facilitar a compreensão dos métodos experimentais utilizados e de toda análise e tratamento de resultados que foi feita, explicados neste capítulo. De salientar que todos os testes foram realizados no laboratório de construções mecânicas no Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, e todos os equipamento e *softwares* pertencem a esta instituição. A análise e tratamento de dados foi realizada com recurso ao Microsoft Excel® e OriginLab.

3.1. Material

O material em estudo nesta dissertação são as fitas utilizadas no método *kinesio taping*. Durante todo o trabalho experimental todas as amostras utilizadas são da mesma marca, Kinesio® Tex Classic. Como é um material que apresenta várias cores no mercado, e existir o mito que as propriedades mecânicas diferem de cor para cor, foram utilizadas nos testes três cores, azul, preto e bege.



Figura 3.1.- Foto do material utilizado.

Tabela 3.1. Materiais em estudo, características e respetivo lote.

Designação comercial	Dimensão	Cor	Lote		
Kinesio® Tex Classic	5 cm x 4 m	Azul	300416 02		
			290419		
			300416 02		
			290419		
			300417 09		
			290420		
		Bege	020115 02		
			010118		
			030516 07		
			020519		
		Preto	03051607		
			020519		
					291116 09
					281119

3.2. Procedimentos e Equipamentos

Nesta secção são descritos os procedimentos e os equipamentos utilizados nos ensaios mecânicos e no ensaio tribológico realizados nesta dissertação.

Na caracterização mecânica foram realizados ensaios de tração e relaxação de tensões.

Na caracterização tribológica, de maneira a conhecer um pouco do comportamento da fita enquanto está em contacto com a pele foram realizados testes de atrito.

3.2.1. Caracterização mecânica

Os ensaios foram realizados numa máquina de tração Shimadzu Autograph AGX, equipada com uma célula de carga de 5 kN, conectada a um computador com o

software Trapezium X, onde são inseridos os diferentes parâmetros de cada ensaio e é feita a recolha de dados em Microsoft Excel.

Como a fita *kinesio* apresenta 50 mm de largura e as garras da máquina de tração apresentam uma largura inferior, era impossível colocar toda a largura da fita sujeita à força de tração, o que influenciaria os resultados. Como solução pediu-se a maquinação das amarras apresentadas na Figura 3.2. Com estas amarras foi garantido que a força atuava em toda a largura da fita.

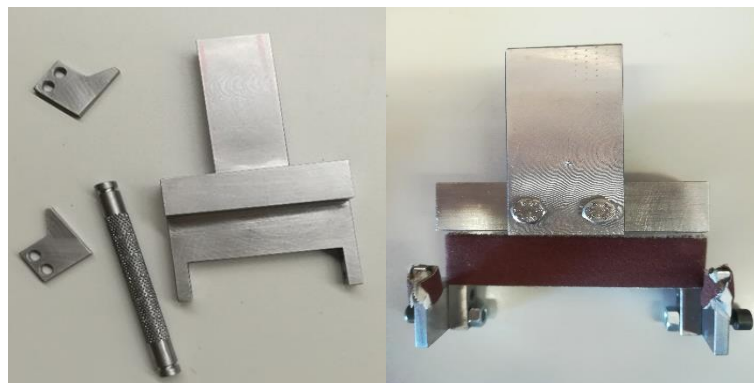


Figura 3.2.- Foto das novas amarras antes e depois da colocação da lixa.

Para a montagem da fita nas amarras, em todos os ensaios de tração e relaxação de tensões o comprimento cortado do rolo, era sempre superior em 100 mm ao comprimento em teste. Por exemplo, nos testes de tração foram utilizados comprimentos de 150 mm, assim o comprimento da fita cortado foi de 250mm, isto porque os rolos das amarras têm 4 mm de diâmetro e assim com os 100 mm adicionais, 50 mm para cada rolo, garantiam que a fita dava duas voltas completas aos rolos ($16\pi \approx 50\text{mm}$) para que a fita entrasse em contacto com a superfície da amarra, e assim criasse atrito fazendo com que o rolo não rodasse. Os rolos eram fixados com a ajuda de *o-rings* na estrutura principal da amarra. Contudo, a velocidades altas (500mm/min e 800mm/min) os rolos rolavam, então como solução foram revestidas com lixa todas as zonas da amarra onde existia contacto com o rolo e a fita, de modo aumentar o atrito e assim evitar a rotação do rolo.

Após montar a fita era retirado o papel que protegia a zona adesiva, e, utilizando um paquímetro digital, Mitutoyo Co. (Kawasaki, Japão), media-se e registava-se o comprimento da fita livre. De seguida escolhia-se no *software* trapezium o método com as suas especificações pré-colocadas e iniciava-se o ensaio.

3.2.1.1. Ensaios de Tração

Os ensaios de tração e conseqüentemente o tratamento dos resultados foram feitos segundo a norma ASTM D 3759M[15].

Foram utilizadas cinco velocidades de deslocamento, três relações de comprimento-largura e ainda três cores.

A cor azul foi a mais testada, tendo por isso, sido considerada como referência. Testaram-se todas as relações em todas as velocidades. As outras duas cores, apenas numa velocidade foram testadas todas as relações, mas uma relação foi sujeita a três velocidades diferentes para que existisse informação suficiente para comparar as propriedades nas diferentes cores. O plano de ensaios realizado é apresentado na Tabela 3.2. De destacar que foram realizados pelo menos três ensaios em cada caso.

Tabela 3.2. Planificação dos ensaios de tração.

	Azul			Bege			Preto		
	100/50 mm	63/25 mm	150/50 mm	100/50 mm	63/25 mm	150/50 mm	100/50 mm	63/25 mm	150/50 mm
10mm/min	✓	✓	✓	✓	--	--	✓	--	--
50mm/min	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
200mm/min	✓	✓	✓	✓	--	--	✓	--	--
500mm/min	✓	✓	✓	--	--	--	--	--	--
800mm/min	✓	--	--	--	--	--	--	--	--

Todas as especificações, dimensões e relações de tamanho da fita, usadas nos testes foram escolhidas com base na pesquisa bibliográfica. Usaram-se velocidades muito lentas (10mm/min) e velocidades muito rápidas (500mm/min) para que houvesse um mapa de resultados mais vasto, mas também para tentar compreender o comportamento da fita da melhor maneira.

Realizado o ensaio, o *software* trapezium guarda em Microsoft Excel informação do deslocamento, força e tempo. A taxa de aquisição de dados utilizada foi de 0,01s, menos para os testes de velocidade de 10mm/min, no qual se usou uma taxa de aquisição de dados de 1s, porque como eram testes lentos e de forma a não se criar um

documento com um número elevado de pontos, e conseqüentemente, muito pesado, reduziu-se a taxa de aquisição de dados utilizada.

i. Resistência à tração e deformação máxima

Estas duas propriedades estão diretamente relacionadas com o ponto de rotura (ponto A na Figura 3.3).

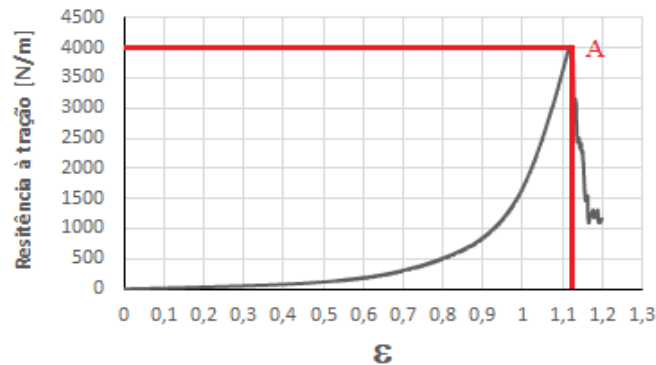


Figura 3.3.- Representação gráfica do cálculo da resistência à tração e deformação máxima.

A resistência à tração máxima normalmente corresponde ao valor máximo de tensão suportado pelo material antes de ocorrer a rotura, no entanto nas fitas *kinesio* em alguns casos a rotura não garante que a fita perca a capacidade de suportar tensões mais elevadas. Assim, e respeitando as condições da norma utilizada (ASTM D3759 M[15]), o valor apresentado para resistência à tração é o valor máximo mesmo que este ocorra após a rotura. Esta característica será normalizada em relação à largura da fita, ou seja, em N/m (equação 3.1), onde F [N] é a força de tração e L [m] a largura inicial da fita. Esta normalização tem como objetivo a uniformização de os valores para as diferentes relações tamanhos, e seja possível a sua comparação.

$$\sigma = \frac{F}{L} \tag{3.1}$$

A deformação máxima é a relação entre o comprimento final (l_f) e o comprimento inicial (l_i) da fita (equação 3.2), onde o comprimento final corresponde ao ponto onde ocorre a tensão máxima, ou seja, a deformação é a capacidade de alongamento do material.

$$\varepsilon = \frac{(l_f - l_i)}{l_i} \tag{3.2}$$

Estas duas características também são possíveis de determinar graficamente, como é demonstrado na Figura 3.3.

ii. Rigidez à tração

Rigidez à tração é a relação entre a força de tração (F) e o deslocamento (Δl) produzido por essa força, a sua unidade é o N/m . Quando o material apresenta um comportamento linear na relação força-deslocamento, o seu valor pode ser determinado através da equação 3.3.

$$k = \frac{F}{\Delta l} \quad (3.3)$$

No caso em estudo o comportamento do material não é linear (Figura 3.3), assim para cálculo da rigidez foi utilizado o modelo de regressão linear, onde a rigidez é o declive da reta (m) do tipo, $y=mx+b$. Para uniformização do cálculo da rigidez, considerou-se sempre o mesmo intervalo de pontos, entre 25% da força máxima e o ponto de rotura, no modelo regressão linear. Para o cálculo do declive (m), utiliza-se a equação 3.4, onde F é a força de tração, Δl o deslocamento e n_1 o número de pontos utilizados para a regressão linear.

$$m = \frac{n_1 \Sigma F \cdot \Delta l - (\Sigma \Delta l) \times (\Sigma F)}{n_1 \Sigma (\Delta l)^2 - (\Sigma (\Delta l))^2} \quad (3.4)$$

Na Figura 3.4 está demonstrado graficamente um exemplo usado para o cálculo deste parâmetro.

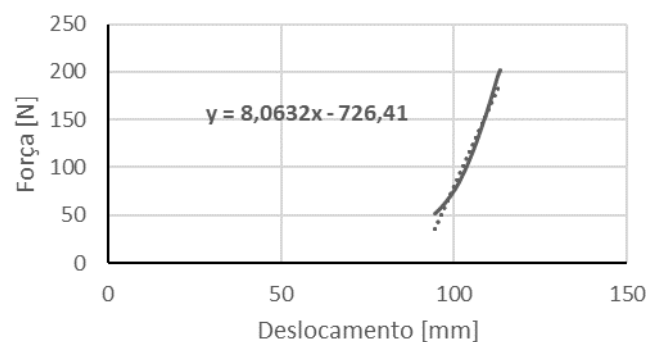


Figura 3.4.- Representação gráfica do cálculo da rigidez.

iii. Absorção de energia

Absorção de energia é a capacidade em absorver energia e assim resistir à rotura.

Realizando a integral da curva até ao ponto de rutura (equação 3.5) obtém-se a área debaixo da curva no gráfico força-deslocamento, onde a e b são os limites, ou seja, o intervalo entre o deslocamento inicial (zero) e o deslocamento final (ponto de rotura).

$$A = \int_a^b f(\Delta l) d\Delta l \quad (3.5)$$

A Figura 3.5 demonstra graficamente a área calculada através da equação 3.5.

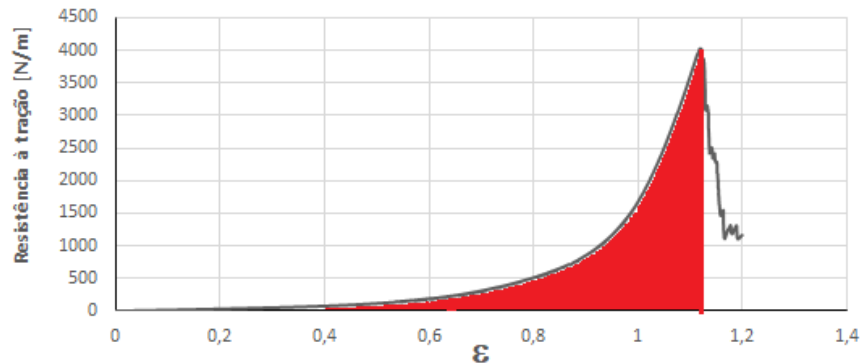


Figura 3.5.- Representação gráfica da área calculada na equação 3.5.

Segundo a norma ASTM D3759M[15], no cálculo da absorção de energia à tração, esta recomenda a consulta de outras normas e usar os métodos nelas exemplificadas. Assim optou-se por seguir a norma ASTM 828 [30] e calculou-se este parâmetro pela equação 3.6. Onde A é a área calculada na equação 3.5, l_i o comprimento inicial da fita e L a largura da fita. A unidade deste parâmetro é o J/m^2 .

$$E = \frac{1 \times 10^6 \times A}{l_i \times L} \quad (3.6)$$

iv. Ensaios com piezoelétrico

Para se obter um melhor conhecimento dos mecanismos de dano da fita, alguns ensaios de tração foram realizados com aplicação de um sensor piezoelétrico na fita *kinesio* (Figura 3.6).

Um sensor piezoelétrico é um dispositivo que mede a pressão ou tensão utilizando a piezeletricidade. A piezeletricidade é a capacidade que alguns cristais possuem de gerarem corrente elétrica em resposta a uma pressão mecânica exercida sobre o mesmo. Estes dispositivos possuem a capacidade de detecção de sons e a geração de uma frequência eletrônica.

Com o sensor piezoelétrico e o auxílio do software LabView foi possível recolher as vibrações na fita ao longo do ensaio de tração. O sensor piezoelétrico apenas foi utilizado em ensaios da fita azul na relação 100mm-50mm em velocidades lentas (10mm/min e 50 mm/min). Utilizaram-se velocidades baixas porque em velocidades altas

existir um curto tempo do ensaio, mas também devido às fitas a altas velocidades apresentarem deformações na malha mais baixas do que em velocidades lentas.

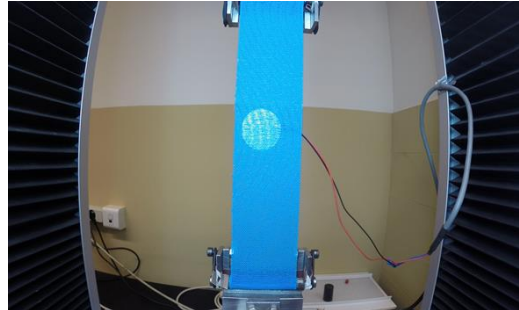


Figura 3.6.- Foto de um ensaio de tração com piezoelétrico.

Realizado o ensaio, também este *software* armazenava toda a informação (tempo e frequência) do ensaio em Microsoft Excel.

Calculou-se o declive do gráfico força-deslocamento através da equação 3.7.

$$declive = \frac{\sum(l - \bar{l})(F - \bar{F})}{\sum(l - \bar{l})^2} \quad (3.7)$$

Com esta informação obteve-se o gráfico frequência-tempo e o gráfico declive-tempo que cruzados obteve-se o gráfico representado na Figura 3.7.

Várias conclusões podem ser retiradas na análise deste gráfico, conclusões que serão apresentadas mais à frente nesta dissertação.

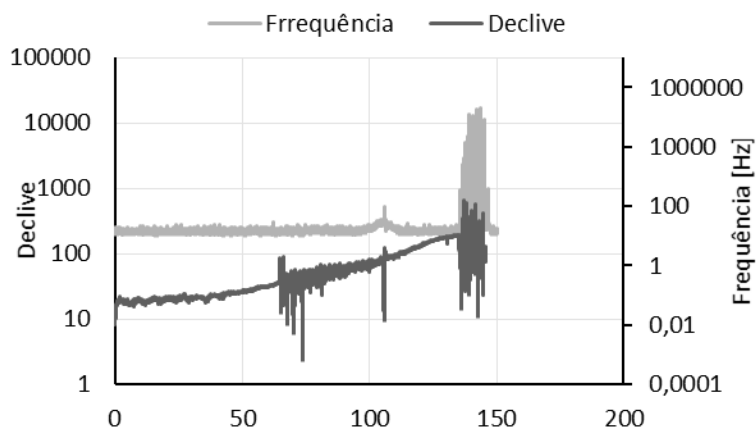


Figura 3.7.- Representação gráfica do cruzamento dos gráficos frequência-tempo e declive-tempo.

v. Análise da morfológica da fita

Com o objetivo de conseguir compreender o comportamento da fita fez-se a análise de cinco fitas *kinesio* azuis aleatórias, todas com a relação de comprimento/largura, 100/50mm, mas todas de velocidades diferentes, previamente tracionadas. Foi utilizado um

microscópio ótico Nikon SMZ-10, onde está inserida uma câmara fotográfica Canon PowerShot A620.

Realizaram-se dois tipos de análise, num primeiro tipo de análise teve uma primeira fase onde se fez o recolhimento fotográfico de uma zona da malha ao longo do comprimento da fita, e posteriormente, numa segunda fase, fez-se a contabilidade do número de falhas e quebras, e teve-se em consideração se a mesma linha tinha várias quebras ao longo dessa direção. Consideraram-se falhas as zonas como na Figura 3.8a) e zonas como a da Figura 3.8b) considerou-se uma zona de falha com quebra. Nesta análise utilizou-se uma aproximação de 30 vezes.

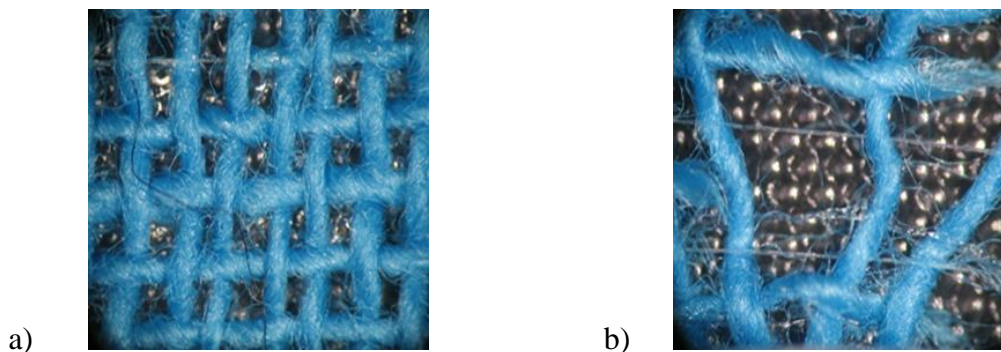


Figura 3.8.- Exemplos das zonas fotografadas na primeira análise.

Numa segunda análise realizou-se o registo fotográfico de dez zonas escolhidas aleatoriamente, tendo-se realizado o levantamento do número de quebras, falhas e número de linhas na zona fotografada.

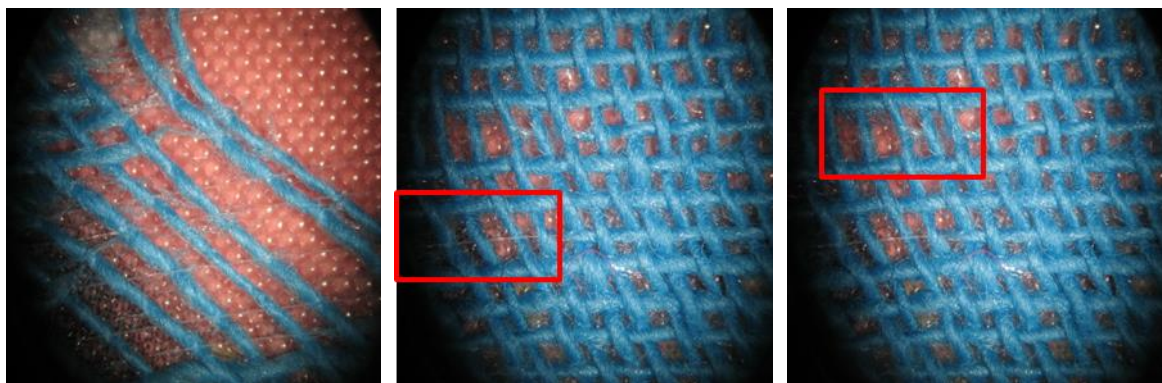


Figura 3.9.- Exemplos das zonas fotografadas na segunda análise.

Nesta análise as dez zonas fotografadas foram exatamente as mesmas nas cinco fitas, quando uma dessas zonas coincidia em zonas onde ocorreu a destruição de um número elevado de linhas, como a da Figura 3.9 a), a análise não foi feita. Para esta contabilização falhas e quebras considerou-se como na primeira análise, apenas com o pormenor que nesta análise a contabilidade foi feita em relação às linhas, ou seja, enquanto na primeira análise

contabilizou-se as zonas, nesta segunda análise contabilizou-se as linhas quebradas (Figura 3.9b) ,as linhas com falhas (Figura 3.9c) e o número de linhas que a zona fotografada apresenta. Para esta segunda análise morfológica utilizou-se uma aproximação de 20 vezes

3.2.1.2. Ensaios de relaxação de tensões

O ensaio de relaxação de tensões é realizado em duas etapas, a primeira etapa consiste na aplicação de uma deformação pré-definida à fita nesta fase inicial a velocidade de aplicação de deformação foi de 800mm/min. Na segunda etapa deste ensaio a deformação é mantida constante e ocorre a relaxação de tensões, tendo a força um decréscimo até estabilizar. O tempo total do ensaio, previamente definido, foi de 9000 segundos, 2 horas e 30 minutos. Este tempo foi estabelecido através de ensaios preliminares que permitiram perceber qual o tempo necessário para a força aplicada estabilizasse.

Utilizaram-se três intervalos de deformação (valor médio), escolhidos com base na pesquisa bibliográfica. Cada uma destas gamas de deformação são usadas para diferentes fins terapêuticos conforme foi indicado na revisão bibliográfica. O plano de ensaios realizado é apresentado na Tabela 3.3. **Planificação dos ensaios de relaxação de tensões.**

Tabela 3.3. Planificação dos ensaios de relaxação de tensões.

	Azul	Bege	Preto
10-25%	✓	✓	✓
60-75%	✓	✓	✓
80-95%	✓	✓	✓

Realizado o ensaio, o *software* trapezium guarda em Microsoft Excel a informação relativa ao deslocamento, força e tempo. A taxa de aquisição de dados nos ensaios de relaxação de tensões foi diferente nas duas etapas consideradas, na fase inicial de aplicação de deformação utilizou-se uma taxa de aquisição de 0,01s, por forma a garantir a aquisição do valor máximo da tensão. Na segunda etapa de decréscimo da força usou-se uma taxa de aquisição de dados de 1s, pois como eram testes lentos (9000 segundos) e de forma a não se criar um documento com um número elevado de pontos.

i. Aproximação matemática

Com o auxílio do software OriginLab, fez-se um ajuste exponencial ao modelo de Maxwell generalizado modificado (equação 2.12). O OriginLab devolve as constantes necessárias para construir a equação 3.8.

$$\sigma_t = y_0 + A_1 e^{-(x-x_0)/t_1} + A_2 e^{-(x-x_0)/t_2} + A_3 e^{-(x-x_0)/t_3} \quad (3.8)$$

Relacionando a equação 2.12 com a equação 3.8, é possível calcular parâmetros como o módulo de Young, E_0 (equação 3.9), o tempo de relaxação característico, τ (equação 3.13), e o coeficiente de viscosidade η (equação 3.14)

$$E = \frac{y_0}{\varepsilon_0} \quad (3.9)$$

Onde:

$$\varepsilon_0 = \frac{\Delta l}{L} \quad (3.10)$$

$$\sigma_0 = y_0 \quad (3.11)$$

Com,

$$\tau = \frac{\eta}{E} \quad (3.12)$$

$$\tau_1 = t_1 \quad (3.13)$$

Temos,

$$\eta_1 = E_1 \times \tau_1 \quad (3.14)$$

Existe um erro de aproximação, esse erro calcula-se através da equação 3.15.

$$EMQ = \sqrt{\frac{1}{x} \sum \Delta \sigma^2} \quad (3.15)$$

A figura 10 representa a curva experimental e a curva do modelo de maxwell generalizado modificado.

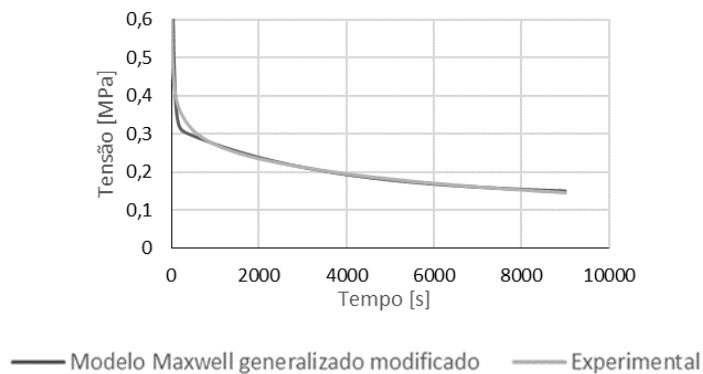


Figura 3.10- Exemplo da aproximação ao Modelo Maxwell generalizado modificado.

3.2.2. Caracterização Tribológica

3.2.2.1. Ensaio de atrito

Os ensaios de atrito foram realizados *in vivo*. A medição do atrito entre as fitas *kinesio* e a pele foi feita apenas numa região, a face ventral do antebraço, na direção longitudinal. Todos os testes foram realizados pelo mesmo indivíduo, de etnia caucasiana e do género masculino, que na altura dos ensaios não apresentava qualquer problema de pele. De salientar que não houve adição de cremes hidratantes ou de outros produtos na pele, de modo alterar o seu nível de hidratação. As condições do espaço onde foram realizados os testes, tinha a temperatura ambiente (12°) e a humidade relativa (55%) de uma tarde de inverno na cidade de Coimbra.



Figura 3.11- Foto do ensaio de atrito.

Foram realizados cinco ensaios para cada cor de fita estudada (azul, bege e preto). A fita não foi sujeita a qualquer alteração da sua forma, foi apenas retirado a proteção da zona aderente para ser possível colocar no suporte colocado na célula de carga.

Para a realização dos testes, utilizou-se uma sonda de medição portátil (tribómetro). O sensor de força é composto por duas células de carga, num eixo mede a força normal e no outro a força tangencial, que são exercidas com a zona do corpo na amostra em teste. O tribómetro está conectado a uma placa de conversão analógico-digital, A/D, que permite a aquisição dos dados pelo computador durante os testes. Os valores da força normal e tangencial são obtidos em unidades de tensão elétrica. De modo a realizar a conversão dos dados, previamente aos testes foi feita a calibração das células de carga. Onde se obtiveram as equações das retas de calibração representadas na Figura 3.12.

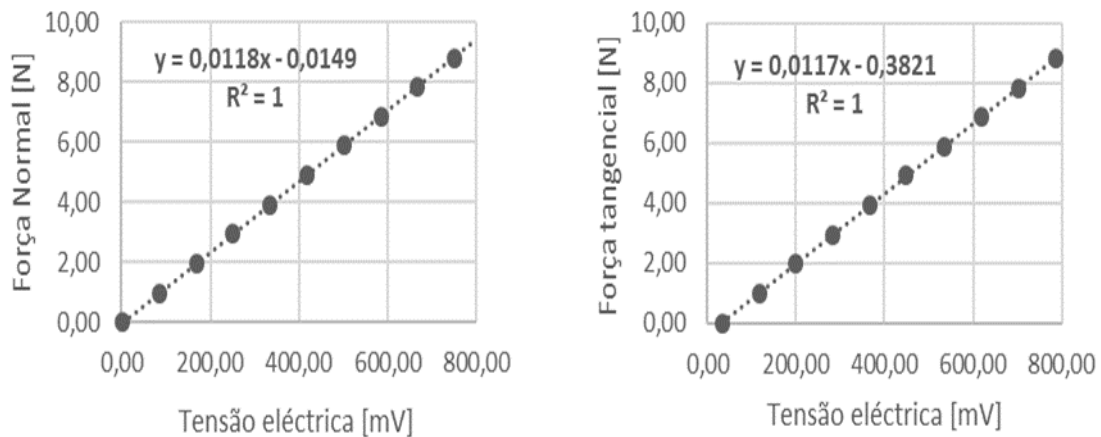


Figura 3.12- Retas de calibração da célula de carga.

i. Coeficiente de Atrito Dinâmico

A realização dos testes de atrito tem como principal objetivo o cálculo do coeficiente de atrito. O coeficiente de atrito dinâmico é a relação entre a força tangencial e a força normal, que ocorrem entre dois corpos em contacto quando, pelo menos um deles, está em movimento.

De acordo com a lei de Amontons-Coulomb, o seu valor pode ser determinado através da equação 3.16, onde F_t é a força tangencial, F_n a força normal e μ o coeficiente de atrito.

$$F_t = \mu \times F_n \quad (3.16)$$

O valor do coeficiente de atrito corresponde ao declive da curva de evolução da força tangencial em função da força normal. O declive foi obtido através da equação 3.4, modelo de regressão linear, onde neste caso, em vez de F e Δl , utilizou-se F_t e ΔF_n , respetivamente. A regressão linear teve impacto entre o ponto inicial, onde se começa a exercer força, até ao ponto de força máxima.

Na Figura 3.13 está representado graficamente, um exemplo de como o coeficiente de atrito foi obtido, neste exemplo tem um valor de 0,3761.

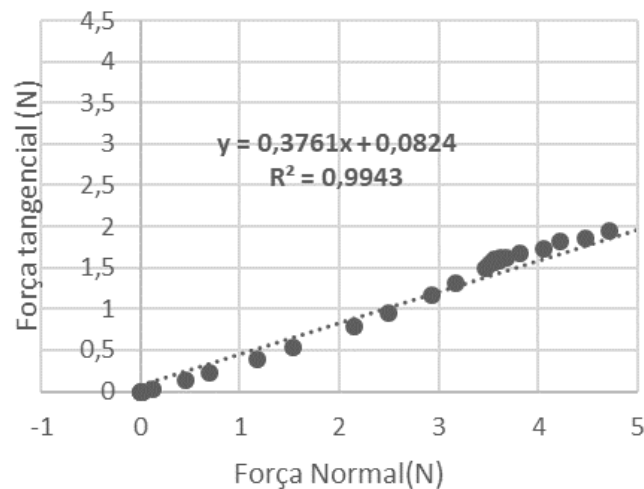


Figura 3.13- Representação gráfica do modelo de regressão linear para o cálculo do coeficiente de atrito.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo apresenta-se todos os resultados obtidos durante os testes. Apresentação de resultados está dividida em duas partes, numa primeira parte apresenta-se os resultados obtidos nos ensaios mecânicos e numa segunda parte os resultados da caracterização tribológica. Os resultados estão organizados em forma de tabela e gráficos realizados no *software* Microsoft Excel. É feita também uma análise dos resultados.

4.1. Caracterização mecânica

4.1.1. Ensaio de tração

A apresentação de resultados está organizada de modo a que o leitor tenha a percepção total de todos os resultados obtidos. Portanto, inicialmente estão apresentadas tabelas com os valores médios, desvio padrão, o máximo e o mínimo para o conjunto de resultados obtidos para cada relação às velocidades de deslocamento testadas, para as três cores (azul, bege e preto). Ainda dentro da apresentação de resultados de cada cor, são feitas comparações internas, entre relações de comprimento/largura e velocidades. Na apresentação de resultados da fita *kinesio* azul, a fita mais testada, são feitas algumas comparações de valores, quando possível, com a literatura.

Posteriormente, apresenta-se um conjunto de comparações entre as cores, em forma de gráfico, com as respetivas conclusões.

Nas comparações realizadas, só se considerou uma variação significativas quando a variação era superior a 10%, isto é, quando uma propriedade apresentava valores médios superiores/inferiores 10% em diferentes velocidades ou relações.

4.1.1.1. Fita *kinesio* azul

As fitas de cor azul foram as mais estudadas, foram sujeitas ensaios de tração distribuídos por cinco velocidades de deslocamento e três relações de comprimento-largura.

Na Figura 4.1 pode-se ver o registo fotográfico de três ensaios das três relações à mesma velocidade.

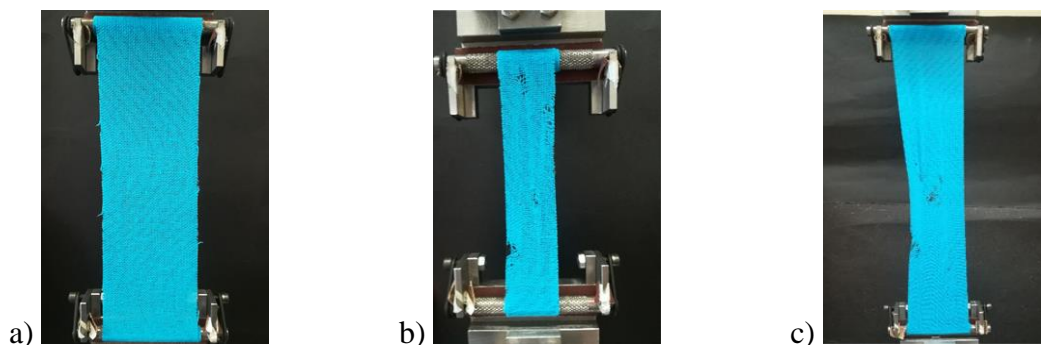


Figura 4.1.- Registo fotográfico dos testes de tração fita azul a)100/50mm b)63/25mm c)150/50mm.

Na Tabela 4.1 apresenta-se os resultados obtidos para a relação de comprimento/largura 100/50mm. As propriedades mecânicas apresentadas são as seguintes: resistência à tração (RT), em [kN/m], deformação máxima, rigidez, em [N/mm], e energia de absorção(EA), em [J/m²].

Tabela 4.1.Resultados dos testes de tração da fita azul na relação de comprimento/largura 100/50mm.

Relação 100/50mm		RT [kN/m]	Força max [N]	ϵ max	Rigidez [N/mm]	EA [J/m ²]
10mm/min	Máximo	3,95	198	1,18	8,86	0,326
	Mínimo	3,74	187	0,95	7,56	0,301
	Média	3,87	194	1,06	8,10	0,316
	DP	0,066	3,30	0,084	0,476	0,008
50mm/min	Máximo	4,22	211	1,12	8,38	0,172
	Mínimo	3,75	187	0,99	7,09	0,152
	Média	4,01	200	1,06	7,90	0,162
	DP	0,157	7,83	0,048	0,442	0,007
200mm/min	Máximo	4,57	229	1,09	8,71	0,753
	Mínimo	4,19	209	0,91	7,86	0,680
	Média	4,35	218	1,02	8,32	0,710
	DP	0,128	6,40	0,064	0,309	0,024
500mm/min	Máximo	4,58	229	1,11	8,63	1,838
	Mínimo	4,34	217	0,95	6,98	1,778
	Média	4,55	227	1,00	8,03	1,820
	DP	0,033	1,64	0,045	0,607	0,017
800mm/min	Máximo	4,88	244	1,19	8,96	3,236
	Mínimo	4,67	233	1,04	7,42	3,036
	Média	4,74	237	1,11	8,17	3,110
	DP	0,099	4,94	0,059	0,630	0,090

Através da análise da tabela 4.1, repara-se que a variação da velocidade nos ensaios não influencia propriedades como a deformação máxima e a rigidez. Apesar, de no caso da deformação máxima, o aumento da velocidade implicar uma diminuição da deformação máxima, a variação nunca ultrapassa os 10%. Por outro lado, na energia absorvida e na resistência à tração, existem variações acima dos 10%. Na resistência à tração existe um aumento progressivo com o aumento da velocidade, chegando mesmo a diferenças superiores a 15%, diferenças já bastante consideráveis. Noutra gama de diferenças a energia absorvida à tração apresenta para as duas velocidades mais altas, valores bastante superiores aos obtidos na velocidade de 10mm/min, tendo um comportamento completamente diferente em relação à velocidade de 50 mm/min. Em relação à velocidade de 50mm/min a energia absorvida apresenta valores superiores aos obtidos na velocidade de 10 mm/min.

Na Tabela 4.2 apresenta-se os resultados obtidos para a relação de comprimento/largura 63/25mm. As propriedades mecânicas apresentadas são as seguintes: resistência à tração (RT), em [kN/m], deformação máxima, rigidez, em [N/mm], e energia de absorção(EA), em [J/m²].

Tabela 4.2. Resultados dos testes de tração da fita azul na relação de comprimento/largura 63/25mm.

Relação 63/25mm		RT [kN/m]	Força max [N]	ϵ max	Rigidez [N/mm]	EA [J/m ²]
10mm/min	Máximo	4,15	104	1,19	5,77	0,545
	Mínimo	3,98	99	1,07	5,71	0,524
	Média	4,09	102	1,13	5,74	0,537
	DP	0,077	1,92	0,048	0,024	0,009
50mm/min	Máximo	4,13	103	1,22	5,57	0,271
	Mínimo	3,87	97	1,18	5,28	0,254
	Média	4,02	101	1,20	5,47	0,264
	DP	0,112	2,80	0,017	0,130	0,007
200mm/min	Máximo	4,41	110	1,24	5,06	1,158
	Mínimo	3,72	93	1,05	4,74	0,978
	Média	4,15	104	1,17	4,87	1,087
	DP	0,307	7,66	0,086	0,140	0,078
500mm/min	Máximo	4,75	119	1,10	6,67	3,097
	Mínimo	3,67	92	0,89	4,50	2,384
	Média	4,38	109	0,99	5,64	2,853
	DP	0,502	12,56	0,085	0,888	0,332

Analisando a Tabela 4.2, observa-se que na relação comprimento-largura, 63/25mm, apenas a energia absorvida teve uma variação considerável. Esta propriedade, tal como na relação anterior apresenta grandes crescimento para as velocidades altas.

De notar, que a rigidez para a velocidade de 200 mm/min apresenta valores 15% mais baixos que na velocidade 10 mm/min. Os valores médios obtidos nas outras velocidades, apesar de serem inferiores, têm variações inferiores a 5%, variações pouco significativas.

As outras duas propriedades apresentam valores idênticos, sem grandes variações.

Na Tabela 4.3 apresenta-se os resultados obtidos para a relação de comprimento/largura 150/50mm. As propriedades mecânicas apresentadas são as seguintes: resistência à tração (RT), em [kN/m], deformação máxima, rigidez, em [N/mm], e energia de absorção (EA), em [J/m²].

Tabela 4.3. Resultados dos testes de tração da fita azul na relação de comprimento/largura 150/50mm.

Relação 150/50mm		RT [kN/m]	Força max [N]	ϵ max	Rigidez [N/mm]	EA [J/m ²]
10mm/min	Máximo	4,08	204	1,10	6,52	0,226
	Mínimo	3,74	187	0,93	6,10	0,205
	Média	3,91	195	1,01	6,29	0,215
	DP	0,138	6,91	0,072	0,173	0,008
50mm/min	Máximo	4,04	202	1,04	6,23	0,111
	Mínimo	3,91	195	1,00	5,81	0,108
	Média	3,97	198	1,02	5,99	0,110
	DP	0,054	2,72	0,018	0,172	0,001
200mm/min	Máximo	4,10	205	1,02	5,72	0,452
	Mínimo	4,03	201	0,97	5,47	0,444
	Média	4,05	203	1,00	5,56	0,447
	DP	0,033	1,65	0,023	0,109	0,004
500mm/min	Máximo	4,66	233	1,01	6,61	1,283
	Mínimo	3,25	162	0,99	4,42	0,899
	Média	3,95	198	0,99	5,41	1,091
	DP	0,578	28,90	0,008	0,904	0,157

Com análise da Tabela 4.3, mais uma vez se confirma, que a evolução da energia absorvida tem dois comportamentos distintos, tal como aconteceu nos dois casos anteriores.

Nesta relação a variação da rigidez com o aumento da velocidade é bastante conclusiva. A propriedade tem uma diminuição com o aumento da velocidade, atingindo variações superiores a 10% para as velocidades mais altas.

Nas restantes propriedades, os resultados obtidos apresentam uniformização.

Comparando agora as três tabelas, usando como referência a Tabela 4.1, ou seja, a relação de comprimento/largura 100/50mm, observa-se que tal como aconteceu anteriormente, quando a velocidade era a variável, quando se compara as relações a energia absorvida apresenta gamas de valores nas variações bastante superiores às outras propriedades.

Nas propriedades obtidas nos ensaios onde se usou velocidade de deslocamento 10mm/min a relação de comprimento/largura 63/25mm apresenta valores bastante superiores (aproximadamente 80%), mas para a relação de comprimento/largura 150/50mm apresenta uma diminuição a rondar os 30% na energia de absorção. A rigidez apresenta uma diminuição considerável, acima de 20%, com a variação da relação comprimento-largura. As restantes propriedades apresentam valores bastante idênticos nas três relações.

Na velocidade de 50mm/min, rapidamente se observa que o comportamento da energia absorvida é idêntico ao que ocorre para a velocidade anterior, superior na relação de comprimento/largura 63/25mm, mas inferior na relação comprimento/largura 150/50mm. Também a rigidez apresenta resultados idênticos à velocidade anterior. A relação de comprimento/largura 100/50mm tem uma rigidez superior, aproximadamente 30%, às outras duas relações de comprimento/largura. A variação das outras propriedades é pouco significativa.

Para a velocidade de 200mm/min mais uma vez e como nos casos anteriores a energia absorvida tem um comportamento idêntico aos casos anteriores. Também com um comportamento idêntico aos casos anteriores apresenta a rigidez, com variações superiores a 20%, sendo a fita com relação de comprimento/largura 100/50mm a mais rígida. Fugindo à regra, nesta velocidade a deformação na relação de comprimento/largura 63/25mm apresenta valores em média 10% superiores aos da relação de comprimento/largura 100/50mm. A resistência à tração não apresenta grandes variações.

Na ultima velocidade testada, 500mm/min, mais uma vez a energia de absorção apresenta um comportamento idêntico aos casos anteriores. Também a rigidez apresenta comportamento idêntico ao das velocidades anteriores, apresentado variações superiores a 20%, mostrando assim que a relação de comprimento/largura 100/50mm é mais rígida em média do que as outras relações. Por fim, as outras duas propriedades não apresentam grandes variações com a mudança da relação de comprimento/largura.

Nos quatro gráficos, apresentados na Figura 4.2, estão representados os valores médios com os respectivos desvios padrão para as diferentes condições de ensaio.

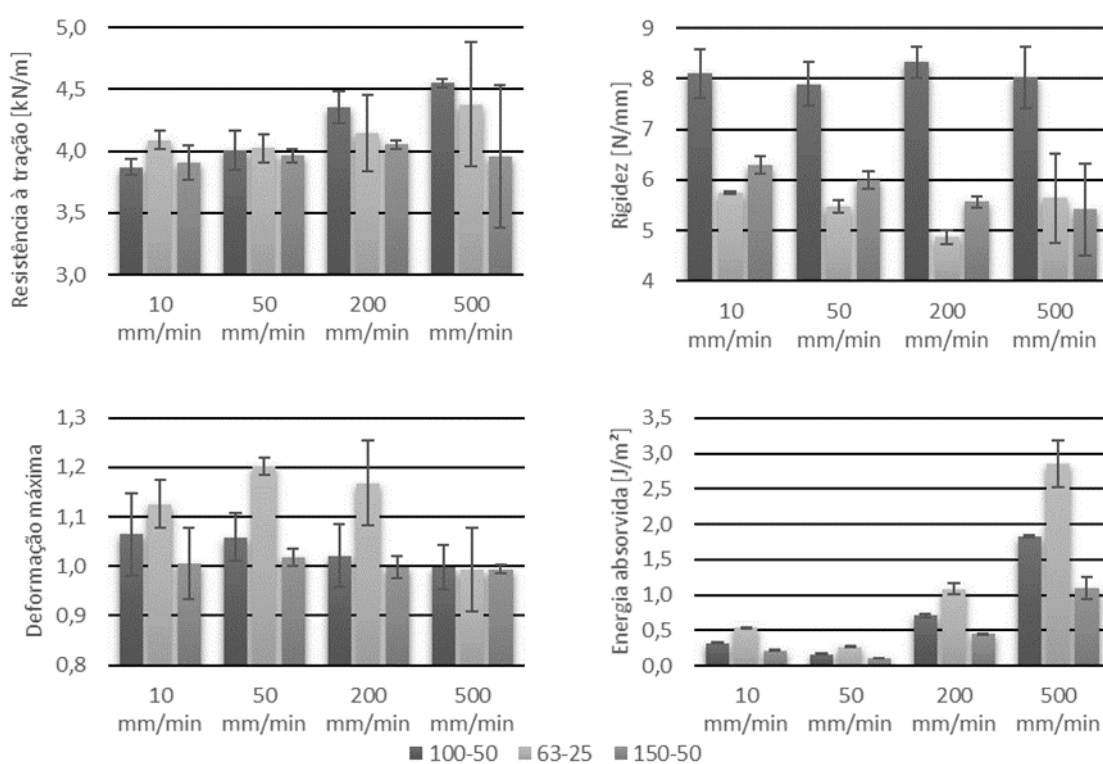


Figura 4.2.-Representação gráfica dos valores tabelados para a fita *kinesio* azul.

Comparando os valores obtidos com os valores da literatura, Matheus *et al* [21] compara várias marcas de fitas *kinesio*, onde usa apenas uma relação de comprimento/largura, 200/50mm, obteve deformações muito superiores mas forças máximas idênticas às obtidas nas relações de comprimento/largura 100/50mm e 150/50mm. Na apresentação de resultados Matheus *et al* [21] também apresenta a rigidez, apresentado valores entre os 3,90 N/mm e 5,14 N/mm para as diferentes marcas de *kinesio* que estudou, valores parecidos com os obtidos na relação de comprimento/largura 150/50mm, a relação de comprimento/largura mais próxima da usada por Matheus *et al*. Tunakova *et al* [19] usa

um comprimento inicial mas varia nas larguras utilizadas. Na largura de 25 mm apresenta como força máxima 94,4 N e como deformação máxima, 97.3%, que são valores mais baixos que os apresentados nesta dissertação, mas relativamente próximos. Rodriguez et al [16] estuda várias marcas e várias cores, em amostras com 300 mm, onde apresenta resultados para a deformação 75 % e os 106%, o que comparando com os valores desta dissertação, na relação de comprimento/largura mais parecida 150/50mm, os valores da deformação estão no intervalo de resultados de Rodriguez *et al*.

4.1.1.2. Fita *kinesio* bege

As fitas de cor bege foram sujeitas a ensaios de tração distribuídos por três velocidades de deslocamento e três relações de comprimento-largura.

Na Figura 4.3 pode-se ver o registo fotográfico de três ensaios de três relações diferentes à mesma velocidade para a cor bege.

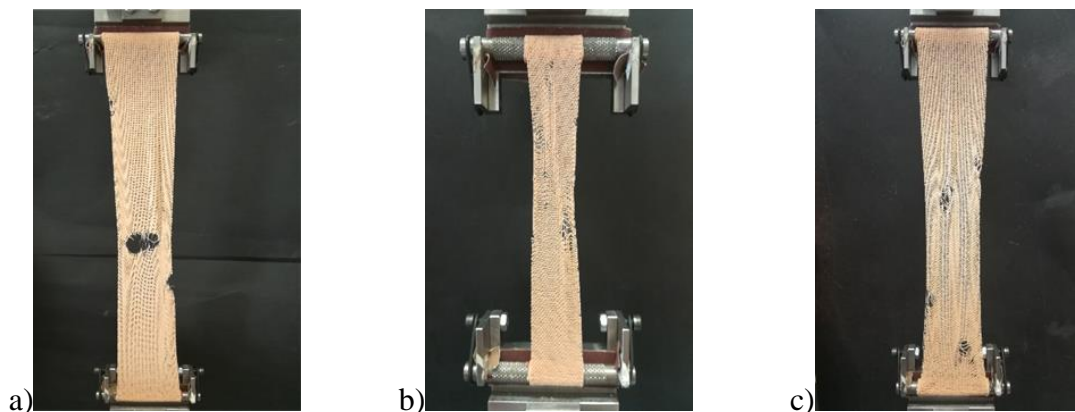


Figura 4.3.- Registo fotográfico dos testes de tração fita bege a)100-50mm b)63-25mm c)150-50mm.

Na Tabela 4.4 apresenta-se os resultados obtidos para a cor bege. As propriedades mecânicas apresentadas são as seguintes: resistência à tração (RT), em [kN/m], deformação máxima, rigidez, em [N/mm], e energia de absorção (EA), em [J/m²].

Tabela 4.4. Resultados dos testes de tração da fita bege.

			RT [kN/m]	Força max[N]	ϵ max	Rigidez [N/mm]	EAT [J/m ²]
R1	V1	Máximo	4,00	200	1,21	8,08	0,329
		Mínimo	3,89	195	1,11	7,48	0,322
		Média	3,96	198	1,17	7,80	0,326
		DP	0,047	2,36	0,042	0,25	0,003

			RT [kN/m]	Força max[N]	ϵ max	Rigidez [N/mm]	EAT [J/m ²]
	V2	Máximo	4,32	216	1,25	8,45	0,177
		Mínimo	4,18	209	1,09	7,45	0,172
		Média	4,24	212	1,18	7,97	0,174
		DP	0,057	2,85	0,065	0,41	0,002
	V3	Máximo	4,54	227	1,22	8,43	0,752
		Mínimo	4,37	218	1,12	7,31	0,727
		Média	4,45	223	1,19	7,73	0,738
		DP	0,068	3,41	0,045	0,50	0,010
R2	V2	Máximo	4,32	108	1,16	6,27	0,285
		Mínimo	4,26	106	1,15	5,72	0,280
		Média	4,29	107	1,16	6,00	0,283
		DP	0,026	0,66	0,002	0,22	0,002
R3	V3	Máximo	4,32	216	1,10	6,28	0,120
		Mínimo	4,14	207	1,03	6,16	0,114
		Média	4,24	212	1,06	6,21	0,117
		DP	0,073	3,66	0,032	0,05	0,002

Na comparação de velocidades, tendo como referência a velocidade 10mm/min, para a relação comprimento/largura de 100/50mm, repara-se que a energia de absorção tem o mesmo comportamento que teve na fita *kinesio* azul, apresentando nos testes com velocidade 10mm/min valores superiores aos da velocidade 50mm/min, mas inferiores à velocidade 200mm/min. Outra propriedade que tem uma variação que se destaca, é a resistência à tração, a propriedade sofre um aumento com o aumento da velocidade, atingindo mesmo na velocidade de 200mm/min valores superiores 10% aos obtidos na velocidade 10mm/min. As propriedades rigidez e deformação máxima apresentam pequenas variações, ou seja, a variação da velocidade não influenciou os seus valores.

Comparando as várias relações comprimento/largura para a mesma velocidade, tendo como referência a relação de comprimento/largura 100/50mm, observa-se que a rigidez na relação de comprimento/largura 100/50mm é superior à rigidez obtida nas outras duas relações de comprimento/largura. Mais uma vez, a energia de absorção tem grandes variações em relação às outras propriedades. A resistência à tração tem uma variação quase nula. A deformação máxima apresenta uma variação um pouco significativa entre a relação

de comprimento/largura 100/50mm e a 150/50mm, apresentando a relação de comprimento/largura 100/50mm valores superiores em cerca de 10%.

Nos quatro gráficos da figura 4.11 estão representados os valores médios das quatro propriedades mecânicas estudadas.

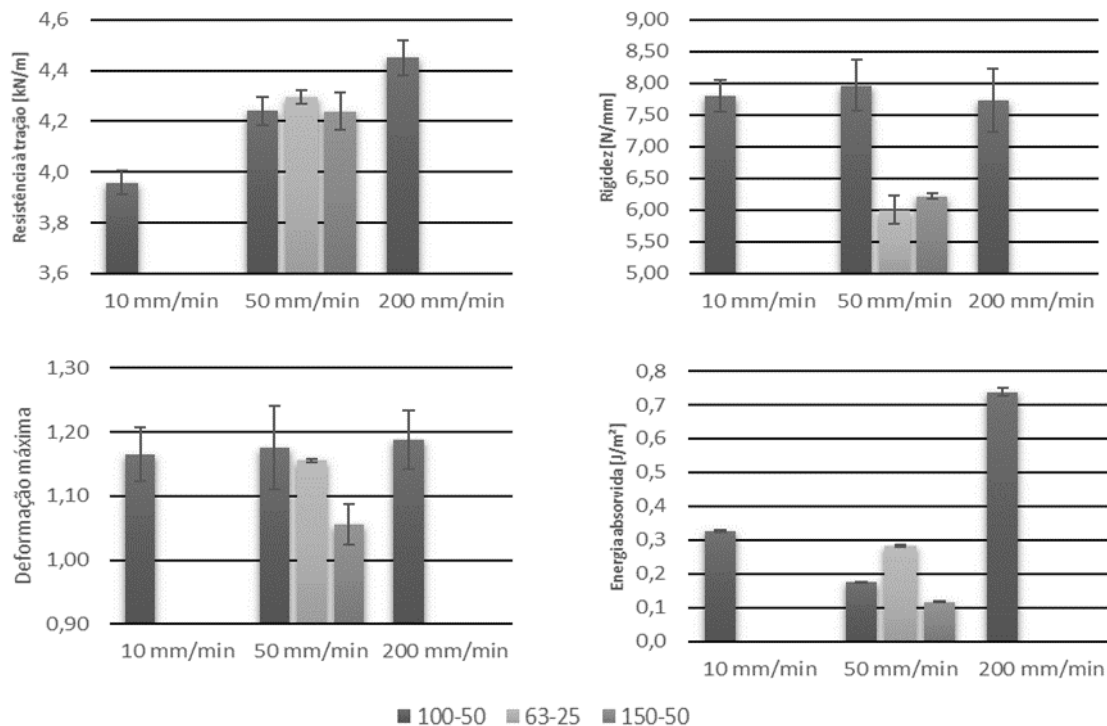


Figura 4.4.-Representação gráfica dos valores tabelados para a fita *kinesio* bege.

4.1.1.3. Fita *kinesio* preta

As fitas *kinesio* de cor preta foram sujeitas a ensaios de tração distribuídos por três velocidades de deslocamento e três relações de comprimento-largura. Na Figura 4.5 pode-se ver o registo fotográfico de três ensaios de três relações diferentes à mesma velocidade para a cor preta.

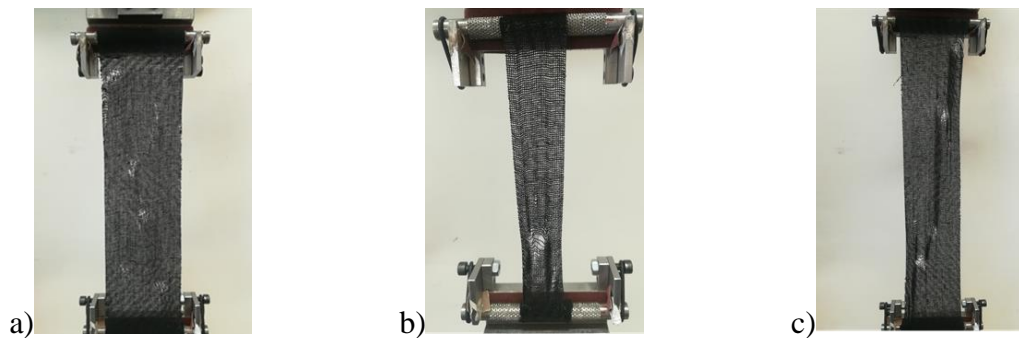


Figura 4.5.- Registro fotográfico dos testes de tração fita preta a)100/50mm b)63/25mm c)150/50mm.

Na Tabela 4.5 apresenta-se os resultados obtidos para a cor bege. As propriedades mecânicas apresentadas são as seguintes; resistência à tração (RT), em [kN/m], deformação máxima, rigidez, em [N/mm], e energia de absorção (EA), em [J/m²].

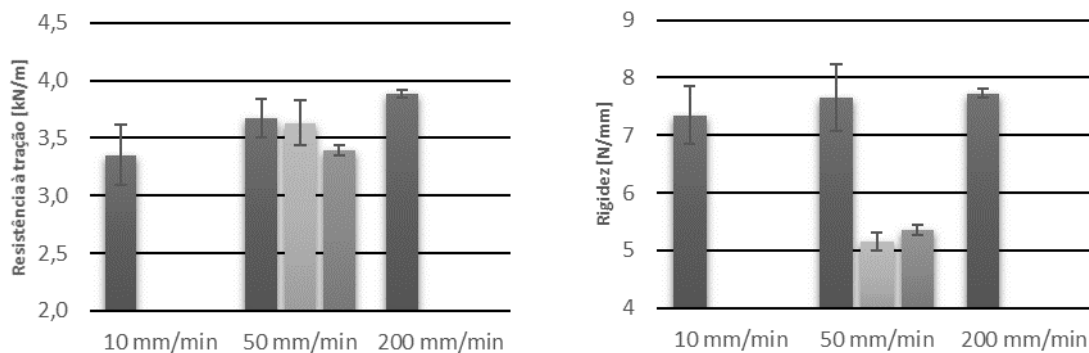
Tabela 4.5. Resultados dos testes de tração da fita preta.

			RT [kN/m]	Força max[N]	ϵ max	Rigidez [N/mm]	EAT [J/m ²]
R1	V1	Máximo	3,53	176	1,11	7,86	0,289
		Mínimo	2,90	145	0,95	6,62	0,239
		Média	3,35	167	1,01	7,35	0,275
		DP	0,263	13,15	0,059	0,51	0,021
	V2	Máximo	3,87	194	1,15	8,61	0,159
		Mínimo	3,49	174	0,94	7,18	0,144
		Média	3,67	183	1,04	7,65	0,151
		DP	0,166	8,28	0,073	0,57	0,007
	V3	Máximo	3,92	196	1,02	7,80	0,636
		Mínimo	3,84	192	0,96	7,61	0,628
		Média	3,88	194	1,00	7,72	0,631
		DP	0,034	1,71	0,025	0,08	0,004
R2	V2	Máximo	3,81	95	1,16	5,25	0,249
		Mínimo	3,34	84	1,03	4,89	0,220
		Média	3,63	91	1,09	5,15	0,238
		DP	0,196	4,91	0,052	0,15	0,012
R3	V3	Máximo	3,44	172	0,97	5,43	0,094
		Mínimo	3,33	167	0,90	5,21	0,092
		Média	3,39	170	0,93	5,35	0,093
		DP	0,047	2,34	0,030	0,10	0,001

Analisando o efeito da velocidade na Tabela 4.5, usando como referência a velocidade de deslocamento 10mm/min, observa-se que a energia de absorção à tração apresenta comportamento idêntico ao observado nas comparações feitas anteriormente. A resistência à tração apresenta variações significativas com o aumento da velocidade. Entre a velocidade de 200mm/min e 10mm/min a propriedade têm uma variação um pouco superior a 15%. As restantes propriedades não apresentam variações pouco significativas.

Com a variação da relação comprimento/largura, tendo como referência a relação de comprimento/largura 100/50mm, observa-se que a variação das propriedades é idêntica ao que anteriormente. A energia de absorção apresenta variações grandes, onde a relação de comprimento/largura 63/25mm apresenta valores bem superiores às outras duas relações de comprimento/largura, sendo a relação de comprimento/largura 150/50mm com os valores mais baixos. A rigidez da fita *kinesio* preta também apresenta variações consideráveis com a variação da relação de comprimento/largura. A relação de comprimento/largura 100/50 apresenta valores médios 30% mais altos que as outras duas relações de comprimento/largura. As outras duas propriedades não têm variações consideráveis.

Nos quatro gráficos da figura 4.6 estão representados os valores médios das quatro propriedades mecânicas estudadas.



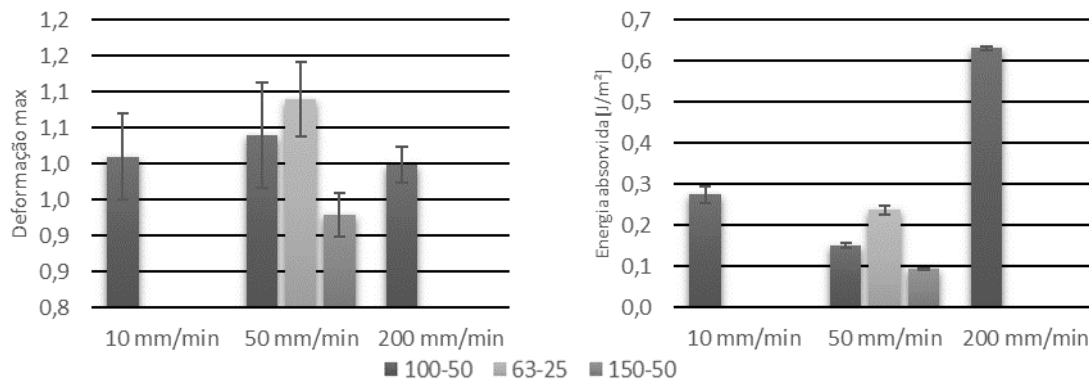


Figura 4.6.-Representação gráfica dos valores tabelados para a fita *kinesio* preta.

4.1.1.4. Relação entre cores

Comparando as cores azul e preta, tendo como referência a cor azul, o primeiro dado a retirar é que nem a variação da velocidade, nem a variação da relação de comprimento/largura fazem com que qualquer valor médio obtido para as propriedades seja superior na fita *kinesio* preta em relação à fita *kinesio* azul.

Na relação de comprimento/largura 63/25mm a 50mm/min, a variação das propriedades com a cor é inferior a 10%.

Na relação de comprimento/largura 150/50mm a 50mm/min, apenas a deformação máxima não apresenta variações acima de 10%. A fita azul apresenta valores médios para a resistência à tração e energia absorção, superiores em cerca de 14% aos da fita *kinesio* preta. A rigidez da fita *kinesio* azul também é superior à da fita *kinesio* preta em aproximadamente 10%.

Na relação de comprimento/largura 100/50, a mais estudada nas três cores, apenas as propriedades energia de absorção e resistência à tração têm uma variação que sobressaí. Estas duas propriedades apresentam variações superiores a 10% nas velocidades de 200mm/min e 10mm/min, sempre com os valores da fita *kinesio* azul a serem superiores à fita *kinesio* preta.

. Comparando agora a fita azul com a bege, usando a fita azul como referência, observa-se que ao contrário do que acontece na comparação entre a fita *kinesio* azul e preta, a mudança da velocidade e relação de comprimento/largura pode criar com que algumas propriedades sejam superiores na bege e outras no azul. Isto deve-se à homogeneidade de resultados obtidos para estas duas fitas. Todas as variações nas diferentes velocidades e

relações de comprimento/largura são inferiores a 5%, exceto o caso da deformação máxima na relação comprimento/largura de 100/50mm, que na cor bege, apresenta nas três velocidades valores médios superiores na ordem dos 10% em relação à fita *kinesio* azul.

Por fim, a comparação entre as cores bege e preta, tendo como referência a cor preta, observa-se que o efeito velocidade e relação de comprimento/largura não influencia as propriedades no que toca de qual das fitas apresenta valores superiores. A fita *kinesio* bege apresenta sempre valores médios superiores à fita *kinesio* preta e raramente com diferenças inferiores a 10%.

Nas relações de comprimento/largura 150/50mm e 63/25mm a 50mm/min apenas a deformação máxima na relação de comprimento/largura 63/25mm apresenta diferenças inferiores a 10%. E todas as outras propriedades apresentam diferenças superiores a 15%.

Na relação de comprimento/largura 100/50mm, apenas a rigidez nas três velocidades apresenta valores idênticos nas duas cores. As restantes propriedades mostram diferenças na ordem do 15%.

4.1.1.5. Análise microscópica

A observação das fitas tracionadas ao microscópio, tinha como principal objetivo compreender o comportamento da fita, realizou-se duas análises com diferentes abordagens.

Os resultados da primeira análise são apresentados na Tabela 4.6, onde *F* indica o número de falhas e *Q* o número de quebras, para as três diferentes zonas da malha ao longo da fita analisadas.

Tabela 4.6. Resultados da contabilização da primeira análise microscópica.

	1		2		3	
	F	Q	F	Q	F	Q
10mm/min	3	1	4	0		
50mm/min	5	2	2	2	2	1
200mm/min	4	2	2	2		
500mm/min	1	1	2	2		
800mm/min	2	2	2	2		

Como foi explicado, nesta análise, fez-se o levantamento das zonas de falha e quebra da mesma porção da malha ao longo da fita.

Através dos resultados, observa-se que com o aumento da velocidade a que a fita foi tracionada, onde ocorre falha é indicador de quebra. Nas fitas a baixas velocidades nem sempre a ocorrência de falha é indicador de quebra, o que demonstra uma maior deformação da malha nas baixas velocidades. Nesta análise, teve-se o cuidado de observar se o mesmo fio quebrava duas vezes ao longo da fita, o que não ocorreu. O mesmo fio podia ter várias zonas falha (Figura 3.8.- Exemplos das zonas fotografadas na primeira análise.a) ao longo da fita, mas só quebrava num ponto.

Na Tabela 4.7. Resultados da contabilização da segunda análise microscópica. estão apresentados os resultados da segunda análise. Tal como na tabela anterior *F* indica o número de falhas, *Q* o número de quebras e *L* indica o número de linhas.

Tabela 4.7. Resultados da contabilização da segunda análise microscópica.

	1			2			3			4			5			6			7			8			9			10		
	L	F	Q	L	F	Q	L	F	Q	L	F	Q	L	F	Q	L	F	Q	L	F	Q	L	F	Q	L	F	Q	L	F	Q
10mm/min	11	0	0	10	1	1	10	0	0	10	0	0	11	2	1	11	1	0	10	2	0	10	2	0	11	1	0	10	0	0
50mm/min	10	1	0	10	1	0	12	2	1	11	0	0				12	0	0	10	0	0	10	1	0				10	0	0
200mm/min	10	0	0	9	0	0				10	0	0	10	0	0	10	0	0	10	1	1	10	0	0	10	0	0	10	0	0
500mm/min	10	0	0	9	0	0	10	0	0	10	0	0	10	0	0	11	2	2	10	0	0	10	0	0	9	0	0	10	0	0
800mm/min	10	0	0				11	3	3	10	0	0	10	3	2	10	0	0	10	0	0	9	0	0	10	0	0	10	0	0

Esta análise apresentou resultados coerentes com a primeira análise. Portanto, como na primeira análise o aumento de velocidade faz com que não exista zonas de falha sem quebra do fio por completo.

4.1.2. Ensaio de relaxação de tensões

Nas figuras 4.7 apresenta-se as linhas obtidas através das constantes calculadas no OriginLab para as três deformações, 87,5%, 67,5% e 17,5%.

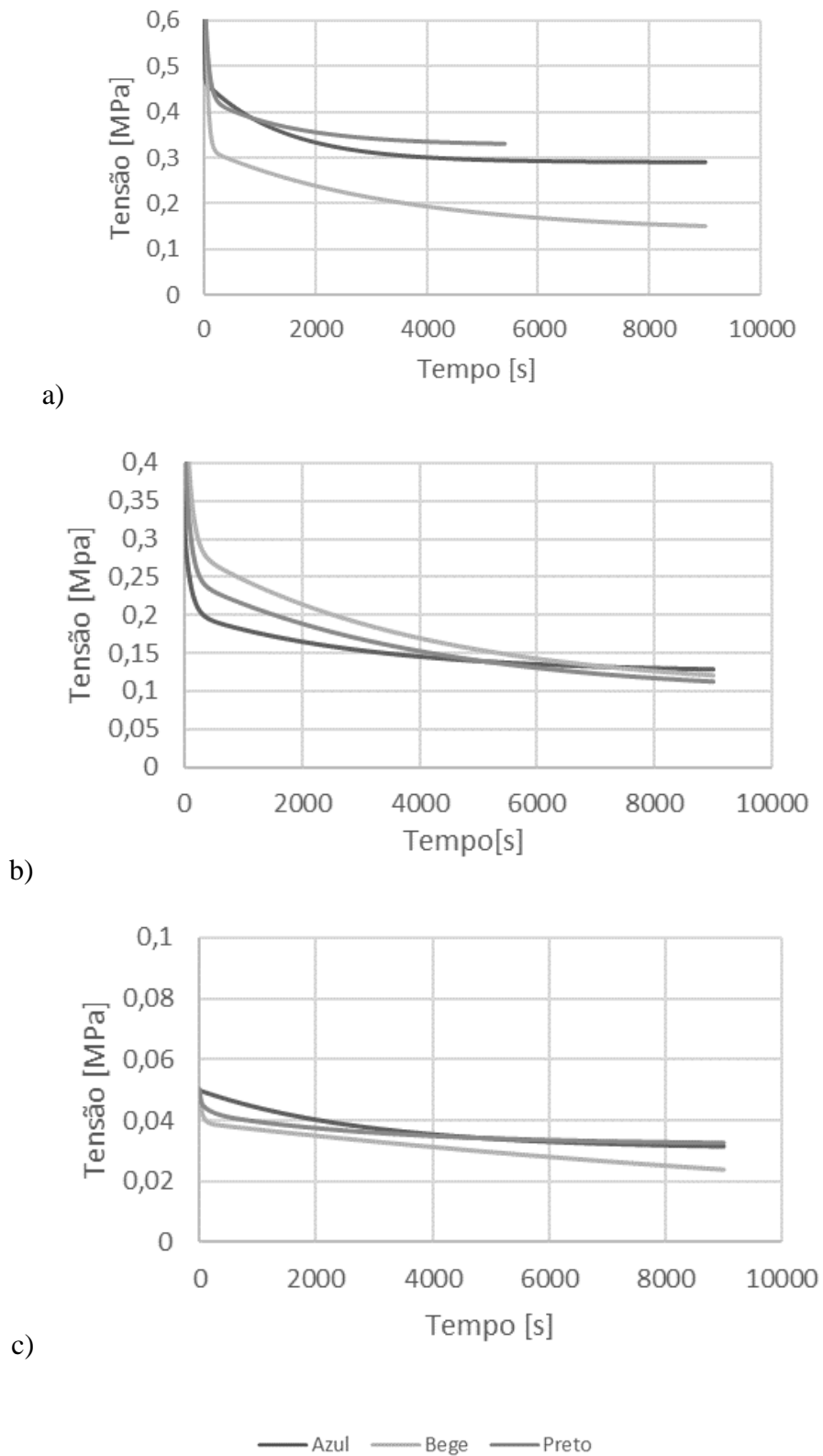


Figura 4.7.- Linhas de aproximação obtidas no ensaio de relaxação de tensões a) Deformação 87,5%
b) Deformação 67,5% c) Deformação 17,5%.

Para se obter as linhas da figura 4.7 foi necessário medir a espessura da fita. Com a ajuda de dois vidros, inicialmente mediu-se a espessura dos dois vidros juntos e posteriormente com a fita entre eles, a diferença é a espessura da fita que para o nosso caso foi de 0,47mm.

Na Tabela 4.8 apresenta-se os resultados obtidos nas diferentes deformações e cores do módulo de Young, coeficiente de viscosidade e tempos de relaxação característicos.

Tabela 4.8. Resultados dos ensaios de relaxação de tensões.

Deformação	Cor	E [MPa]	η [Pa.s]	τ_1 [s]	τ_2 [s]	τ_3 [s]
87,5%	Azul	0,336	2,3	6,8	3,12	1420
	Bege	0,160	6,7	41,8	2,30	3370
	Preto	0,382	25,2	66,0	2,46	1530
67,5%	Azul	0,187	0,25	1,32	104,9	3016
	Bege	0,151	14,6	97,1	0,6	3987
	Preto	0,144	0,11	0,74	94,1	4063
17,5%	Azul	0,177	507,8	2873,8	2873	2873
	Bege	0,019	1,1	59,6	16179	16191
	Preto	0,185	3,5	18,9	187	3091

Analisando os valores da tabela, para a deformação de 87,5% observa-se que a fita bege tem valores de uma gama diferente das restantes fitas. Nesta deformação a fita preta também apresenta um valor de viscosidade mais elevado que as restantes.

Na deformação de 67,5 , a cor bege apresenta uma viscosidade muito superior que as restantes mas um módulo de Young idêntico.

Na deformação de 17,5 , a fita azul apresenta uma viscosidade bastante superior que as restantes e a fita bege uma módulo de Young bastante baixo.

Os valores obtidos estão de acordo com os gráficos obtidos.

Na Tabela 4.9 é apresentado o erro quadrático médio para as aproximações realizadas às curvas experimentais.

Tabela 4.9. Erro quadrático médio.

ϵ [%]	87,5	67,5	17,5
Colour			
Azul	0,018	0,0021	0,00095
Bege	0,026	0,0056	0,00079
Preto	0,004	0,0040	0,00077

Como se verifica, os erros são bastante reduzidos, o que indica que a aproximação é boa qualquer das cores.

4.2. Caracterização tribológica

Na tabela 4.10 apresenta-se os resultados dos ensaios de atrito. São apresentados os valores máximo e mínimo que se obtiveram e respetivas médias e desvios padrão.

Tabela 4.10. Resultados dos ensaios de atrito.

	Azul	Bege	Preto
Máximo	0,373	0,423	0,376
Mínimo	0,318	0,359	0,364
Média	0,341	0,391	0,371
DP	0,018	0,024	0,005

Na figura 4.8 apresenta-se graficamente os valores tabelados.

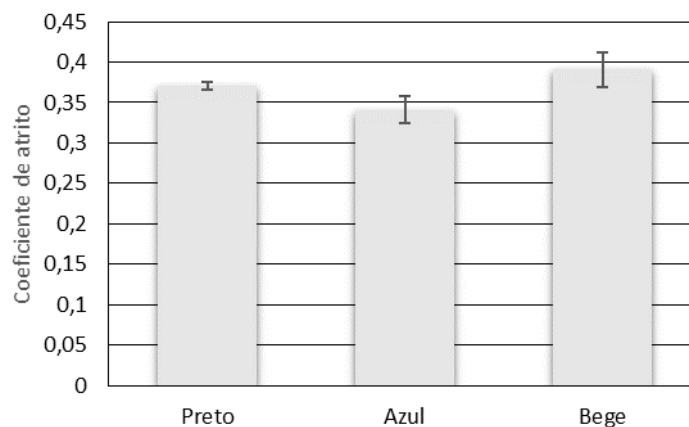


Figura 4.8.- Coeficiente atrito médios para as diferentes fitas.

Dos resultados, a fita *kinesio* bege apresentou coeficiente de atrito médio mais elevado, 0,391 e a fita *kinesio* azul o mais baixo, 0,341. Contudo, devido aos valores serem bastante próximos uns dos outros e a dispersão dos valores ser grande para as diferenças existentes, não se pode retirar grandes conclusões.

Na literatura não existe qualquer referência ao coeficiente de atrito das fitas.

Erro! A origem da referência não foi encontrada.

5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Nesta dissertação realizou-se a caracterização mecânica e tribológica das fitas *kinesio*, mas também a verificação do “mito das cores”. Da análise dos resultados obtidos nos processos experimentais resultaram conclusões acerca das propriedades e comportamento destas fitas terapêuticas.

As principais conclusões retiradas nesta dissertação são:

- A variação da velocidade de deslocamento em nada influencia as propriedades mecânicas das fitas *kinesio*.
- A relação comprimento/largura influencia a rigidez da fita. A rigidez da fita é superior na relação 100/50mm.
- As fitas *kinesio* azul e bege têm propriedades praticamente idênticas.
- As fitas *kinesio* azul têm uma rigidez superior e suportam forças superiores à fita *kinesio* preta.
- Para velocidades superiores a deformação da malha das fitas é inferior.
- O coeficiente de atrito é praticamente igual para as três cores.

Na realização de trabalhos futuros com o objetivo de estudar as propriedades destas fitas, é essencial o estudo da zona aderente da fita, pois é uma característica única nas fitas terapêuticas e de grande importância como foi referido na revisão bibliográfica.

Uma das características principais destas fitas e que as distingue das restantes é a sua vida, três a cinco dias. Portanto, a análise das propriedades das fitas depois destas serem sujeitas a condições adversas faria aumentar o conhecimento das fitas *kinesio*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] K. Kase, J. Wallis, and T. Kase, *Clinical Therapeutic Applications of the Kinesio Taping Method*, Second edi. 2003.
- [2] B. Kumbrink, *K Taping - An Illustrated Guide*. Springer, 2012.
- [3] S. Crawford, “How Kinesio Tape Works,” 9 May, 2011. [Online]. Available: <https://science.howstuffworks.com/kinesiology-tape.htm>.
- [4] J. P. Portela, *Cinesiologia 2016*, 1ª Edição. iNTA, 2016.
- [5] N. Matos, “Kinesio Taping: Conceitos e Aplicações no Mundo do Desporto,” in *Fisioterapia*, pp. 10–12.
- [6] P. Humbert, F. Fanian, H. I. Maibach, P. Agache, and ., *Agache 's Measuring the Skin - Non-invasive Investigations, Physiology, Normal Constants*, Second edi. Springer, 2000.
- [7] “How to Apply Kinesiology Tape – Kinesiology Tape Info Center.” [Online]. Available: <http://www.kinesiologytapeinfo.com/how-to-apply-kinesiology-tape-step-1-preparation/>.
- [8] “What makes Kinesio different | Kinesio Tape.” [Online]. Available: <https://kinesiotaping.com/about/what-makes-kinesio-different/>.
- [9] R. Moore, “what is the evidence for kinesio tape: A literature Review,” *SportEx Dynamics*, vol. 34. pp. 24–30, 2012.
- [10] “MÉTODO KINESIO TAPING - Fisioterapia.com,” 2016. [Online]. Available: <http://fisioterapia.com/metodo-kinesio-taping/>.
- [11] M. Campolo, J. Babu, K. Dmochowska, S. Scariah, and J. Varughese, “A comparison of two taping techniques (kinesio and mcconnell) and their effect on anterior knee pain during functional activities.,” *Int. J. Sports Phys. Ther.*, vol. 8, no. 2, pp. 105–10, 2013.
- [12] W. Ostiak, A. Peretiatkowicz, and I. Krystkowiak, “The effectiveness of kinesiotaping in treatment of the soft tissue injuries in adolescent football players Skuteczność kinesiotalingu w leczeniu urazów tkanek miękkich u młodych sportowców,” no. 6, pp. 501–507, 2012.

- [13] R. Ferreira, R. Resende, and P. Roriz, “The Effects of the Kinesio Taping® in Lower Limb Musculoskeletal Disorders: A Systematic Review,” *Int. J. Ther. Rehabil. Res.*, vol. 6, no. 2, p. 1, 2017.
- [14] E. F. Fernandes, “Estudo das condições de contacto com atrito envolvendo a pele humana,” Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, 2010.
- [15] S. T. Method, “Standard Test Method for Tensile Strength and Elongation of Pressure-Sensitive,” pp. 1–6.
- [16] J. Manuel, F. Rodriguez, L. M. Alegre, J. Abián-vicén, M. Ferna, and X. Aguado, “Embenat neuromuscular : totes les benes tenen les mateixes propietats mecàniques ?,” no. March 2016, 2009.
- [17] S. Siegler, “A Composite Athletic Tape With Hyperelastic Material Properties Improves and Maintains Ankle Support During Exercise,” vol. 41, no. 12, pp. 961–968, 2011.
- [18] R. W. Bragg *et al.*, “Failure and fatigue characteristics of adhesive athletic tape,” no. 5, pp. 15–17.
- [19] V. Tunakova, M. Tunak, J. Mullerova, M. Kolinova, and V. Bittner, “Material, structure, chosen mechanical and comfort properties of kinesiology tape,” *J. Text. Inst.*, vol. 108, no. 12, pp. 2132–2146, 2017.
- [20] P. Chuanpis Boonkerd and P. Weerawat Limroongreungrat, “Elastic therapeutic tape : do they have the same material properties ?,” *J. Phys. Ther. Sci.*, vol. 28, pp. 1303–1306, 2016.
- [21] J. P. C. Matheus, R. R. Zille, L. B. Gomide Matheus, T. V. Lemos, R. L. Carregaro, and A. C. Shimano, “Comparison of the mechanical properties of therapeutic elastic tapes used in sports and clinical practice,” *Phys. Ther. Sport*, vol. 24, pp. 74–78, 2017.
- [22] R. F. Navarro and M. Properties, “Modelos Viscoelásticos Aplicáveis a Materiais Reais : uma Revisão,” vol. 1, pp. 1–20, 2017.
- [23] C. M. Wasilkoski, “Comportamento Mecânico dos Materiais Poliméricos,” 2006.
- [24] N. Ozkaya, M. Nordin, D. Goldsheyder, and D. Leger, *Fundamentals of Biomechanics - Equilibrium, Motion, and Deformation*, Third Edit. Springer, 2012.
- [25] A. de Bever, “Dynamic behaviour of rubber and rubberlike materials,” *WFW-report*, vol. 92.005, p. 15, 1992.

- [26] A. Gołąb, M. Kulesa, and M. Gołąb, “Comparative studies of physical properties of kinesiotapes,” pp. 1–11.
- [27] S. A. Johnson, D. M. Gorman, M. J. Adams, and B. J. Briscoe, “The friction and lubrication of human stratum corneum.,” *Tribol. Ser.*, vol. 25, pp. 663–672, Jan. 1993.
- [28] M. J. Adams, B. J. Briscoe, and S. A. Johnson, “Friction and lubrication of human skin,” *Tribol. Lett.*, vol. 26, no. 3, pp. 239–253, 2007.
- [29] L. A. P. Afonso, “Caracterização Mecânica e Tribológica de Papéis para Uso Pessoal,” Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, 2017.
- [30] ASTM, “D828-97: Standard Test Method for Tensile Properties of Paper and Paperboard Using Constant-Rate-of-Elongation Apparatus,” *ASTM Int.*, vol. 14, no. Reapproved, 2002.