



Desenvolvimento de Algoritmos por Processamento
de Imagem para Analisar a Qualidade de Fio Têxtil

Alexandre Duarte Soares Antunes de Macedo

UMinho



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Alexandre Duarte Soares Antunes de Macedo
Desenvolvimento de Algoritmos por Processamento de Imagem para Análise de Qualidade de Fio Têxtil

janeiro de 2023



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Alexandre Duarte Soares Antunes de Macedo

Desenvolvimento de Algoritmos por Processamento de Imagem para Analisar a Qualidade de Fio Têxtil

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Sistemas Mecatrónicos

Trabalho efetuado sob a orientação de:

Professor Doutor José Mendes Machado

Professor Mestre Filipe Sousa Pereira

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



**Atribuição-NãoComercial
CC BY-NC**

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>

Agradecimentos

Começo por agradecer a todos que, de uma forma ou outra, contribuíram para a realização deste longo trabalho.

Ao Professor Doutor José Machado pela orientação e conselhos imprescindíveis para a realização e sucesso deste projeto, e ao Professor Filipe Pereira, por todo o apoio e disponibilidade concedidos em todas as etapas do projeto. Gostaria adicionalmente de agradecer ao Professor Vítor Carvalho pelos conselhos e pela partilha de conhecimento que ajudaram a elevar os níveis de exigência e alcance deste projeto

À minha mãe, pelo apoio incondicional que me deu e pela força de carácter que me passou; ao meu pai, pelo exemplo de excelência que sempre transmitiu e ideal de alto nível a alcançar; ao meu irmão pelos conselhos e palavras de encorajamento que me fizeram ir sempre mais além.

A todos os meus colegas de curso, pelos momentos de lazer e de amizade que transformaram a Universidade do Minho numa casa.

Aos meus amigos por todo o apoio, nos bons e maus momentos, que nunca me deixou sentir sozinho.

Finalmente, à minha namorada, que sempre me motivou e incentivou à humildade, fazendo com que puxasse pelo melhor de mim em tudo que fizesse.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho acadêmico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Resumo

O trabalho apresentado neste documento consiste no desenvolvimento e implementação de algoritmos de processamento de imagem, utilizados para avaliação de qualidade de fio têxtil, a partir de uma análise pormenorizada de imagens e vídeos. Este projeto está integrado na realização de uma máquina capaz de executar testes de qualidade a fio têxtil, que resulta de um trabalho contínuo de investigação, que foi desenvolvido nos últimos anos, de forma a ir ao encontro de necessidades encontradas na indústria têxtil. O seu intuito é ser uma alternativa aos equipamentos atualmente presentes no mercado, com um custo reduzido, com um maior nível de portabilidade e com uma precisão elevada nos parâmetros de qualidade que avalia.

Inicialmente é feita uma introdução ao tema a desenvolver, de forma a clarificar e especificar os objetivos que o projeto procura cumprir. De seguida é feita uma investigação aos conceitos fundamentais de fio têxtil e de processamento de imagem, de forma a conhecer todas as ferramentas que essa metodologia disponibiliza. É depois apresentado o processo de elaboração do programa e explicado o seu funcionamento, detalhando a metodologia seguida na elaboração dos algoritmos que o programa utiliza. No final são apresentados resultados obtidos através da utilização do trabalho desenvolvido, comparando-os com resultados adquiridos por um equipamento utilizado na indústria têxtil de forma a avaliar a fiabilidade e precisão da obtenção dos parâmetros captados.

Dos testes realizados com o programa desenvolvido, conclui-se que o projeto foi executado com sucesso, cumprindo na totalidade os objetivos propostos. São sugeridos alguns temas para trabalhos futuros que beneficiam do trabalho realizado neste projeto.

Palavras-chave: fio têxtil, processamento de imagem, índice de pilosidade, TEX.

Abstract

The project presented in this document consists in the development and implementation of algorithms that, through the usage of image processing operations, achieves a textile yarn quality evaluation, through the thorough analysis of images and videos. This work is integrated into the creation of a machine capable of performing quality tests on textile yarn, which results from a continued investigation project, developed in the last couple of years, that looks to meet a specific demand found in the textile industry. Its purpose is being an alternative to the devices that are currently found in the market, with a lower cost, a higher degree of portability and a higher level of precision regarding the quality parameters that it evaluates.

Initially, an introduction to the topic is given, to clarify and specify the objectives that this project seeks to fulfil. Then, research is carried out on the fundamental concepts of textile yarn and image processing, in order to know all the tools that this methodology makes available. Then, the program's elaboration process is presented, and its operation is explained by detailing the methodology used in the creation of the algorithms that the program uses. In the end, the results obtained through the program are presented, and are compared with results acquired by devices used in the textile industry. The comparison is used to evaluate the reliability and precision of the parameters captured.

From the tests carried out with the program, it can be concluded that the project was successfully executed, fulfilling all the required objectives. Some topics that can benefit from the work carried out in this project are suggested for possible future works.

Key words: textile yarn, image processing, hairiness index, TEX.

Índice

Agradecimentos	ii
Resumo.....	iv
Abstract	v
Índice	vi
Índice de figuras	ix
Índice de equações.....	xv
Índice de Tabelas.....	xvi
Lista de símbolos	xvii
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento e motivação.....	2
1.2. Objetivos	3
1.3. Organização da dissertação	3
2. Estado da Arte e Conceitos Fundamentais.....	5
2.1. Fio Têxtil	6
2.1.1. Tipos de fio têxtil.....	6
2.1.2. Materiais das fibras.....	8
2.1.3. Torção de fio têxtil	9
2.1.4. Propriedades físicas de fio têxtil	11
2.1.5. Imperfeições de fio têxtil	15
2.2. Processamento de Imagem.....	17
2.2.1. Elemento unitário e escalas de cor	17
2.2.2. Operações lógicas	19
2.2.3. Operação de “ <i>Thresholding</i> ”	22
2.2.4. Método de OTSU.....	24

2.2.5.	Filtros lineares.....	25
2.2.6.	Operações morfológicas	30
3.	Software e hardware (Programas e instrumentos).....	35
3.1.	StViewer	36
3.1.1.	Utilização de StViewer para captura de imagens	36
3.1.2.	Utilização de StViewer para captura de vídeos	38
3.2.	Visual Studio.....	40
3.2.1.	“OpenCV”	41
3.3.	Sistema de visão artificial.....	44
3.4.	Máquina de enrolamento e desenrolamento de fio têxtil	45
3.4.1.	Processo de enrolamento e desenrolamento de fio	45
3.4.2.	Subsistemas e cadeias cinemáticas	47
3.5.	Gerador electrostático	47
3.5.1.	Efeito triboelétrico.....	48
3.5.2.	Indução electrostática.....	49
3.5.3.	Gerador de iões negativos	51
3.5.4.	Conclusão do gerador eletrostático.....	53
4.	Programação.....	55
4.1.	Interface	56
4.2.	Metodologia de análise.....	59
4.3.	Ramo comum	60
4.4.	Isolamento do núcleo.....	63
4.5.	Isolamento das pilosidades	66
4.6.	Isolamento de partículas.....	69
4.7.	Apresentação de resultados.....	71
5.	Resultados e tratamento de dados	73

5.1.	Tipos de fios têxteis testados	74
5.2.	Resultados obtidos em imagem	76
5.3.	Resultados obtidos em vídeo	78
5.4.	Tratamento de dados	82
5.4.1.	Diâmetro	82
5.4.2.	Massa linear	87
5.4.3.	Índice de pilosidade	91
5.4.4.	Passo de torção	95
5.4.5.	Sentido de torção.....	96
5.4.6.	Fibras soltas.....	97
5.5.	Conclusões de tratamento de dados	102
6.	Conclusões e trabalhos futuros	103
6.1.	Conclusões.....	104
6.2.	Trabalhos futuros	105
	Referências Bibliográficas	106
	Apêndice A – Cálculo matemático do tamanho real da imagem e do fator de ampliação da lente.....	111
	Apêndice B – Discretização do código	113
	Apêndice C – Cálculo de erro relativo	131
	Apêndice D – Análise espectral	133

Índice de figuras

Figura 2.1 - Exemplo de fio de fibras torcidas [5]	6
Figura 2.2 - Exemplo de fio de filamento contínuo [5]	7
Figura 2.3 - Exemplo de fio de volume elevado [5].....	7
Figura 2.4 - Exemplo de fio elástico [5]	7
Figura 2.5 - Exemplos de fios decorativos [5]	8
Figura 2.6 - Classificação de fibras têxteis [5]	9
Figura 2.7 - Representação do ângulo de torção [5].....	10
Figura 2.8 - Sentido de torção em (a) S e em (b) Z [5]	10
Figura 2.9 - Sentido de torção de um par de fios [5]	11
Figura 2.10 - Exemplo de pontos de medição para o passo de torção [5]	11
Figura 2.11 - Representação da variação do diâmetro de um fio [7]	12
Figura 2.12 - Linha de produção de fio têxtil [10]	15
Figura 2.13 - Desnível de um dos rolamentos de esmagamento [9]	16
Figura 2.14 - Imperfeição de um dos rolamentos [9]	16
Figura 2.15 - Tipos de imperfeições dimensionais [9]	16
Figura 2.16 - Escala de cinzento [13].....	17
Figura 2.17 - Agrupamento de pixel [14]	18
Figura 2.18 - Exemplo de cor complexa na escala RGB [16]	18
Figura 2.19 - Representação visual da escala HSV [18].....	19
Figura 2.20 - Exemplos de subtração e adição de imagens [19]	20
Figura 2.21 - Exemplo de utilização de subtração para evidenciar mudança [19]	20
Figura 2.22 – Demonstração de comparação "AND" [19]	21
Figura 2.23 - Demonstração de comparação "OR" [19].....	21
Figura 2.24 - Demonstração de comparação "XOR" [19].....	21
Figura 2.25 - Demonstração da operação de inversão [19].....	22
Figura 2.26 - Representação visual de todos os tipos de "Threshold" binário [21].....	24
Figura 2.27 - Representação gráfica do método de OTSU [23]	25
Figura 2.28 - Exemplo de aplicação de um filtro linear para desfocar [19]	26
Figura 2.29 - Exemplo de matriz de filtro linear.....	26
Figura 2.30 - Sobreposição de filtro a pixels de uma imagem [19].....	26

Figura 2.31 - Matriz resultante de multiplicação entre matrizes.....	27
Figura 2.32 - Substituição de valor final na matriz [19]	27
Figura 2.33 - Aplicação de um filtro Gaussiano [19]	28
Figura 2.34 - Exemplo de matriz Gaussiana 7x7	28
Figura 2.35 - Exemplo de aplicação de filtro de deteção de linhas verticais [19].....	29
Figura 2.36 - Utilização de vários filtros para detectar forma complexa [19]	29
Figura 2.37 - Deteção de linhas com matriz 5x5 [19].....	30
Figura 2.38 - Exemplo da utilização do método de Canny.....	30
Figura 2.39 - Exemplo de matriz de elemento estruturante.....	31
Figura 2.40 - Representação gráfica de elemento estruturante [19]	31
Figura 2.41 - Imagem binária [28]	32
Figura 2.42 - Exemplo de processo de erosão [28]	32
Figura 2.43 - Exemplo de processo de dilatação [28]	32
Figura 2.44 - Exemplo de processo de abertura [28]	33
Figura 2.45 - Exemplo de processo de fechar [28].....	33
Figura 2.46 - Exemplo de gradiente morfológico [28]	34
Figura 3.1 - Executável do software StViewer	36
Figura 3.2 - Categorias de parâmetros disponíveis.....	36
Figura 3.3 - Parâmetros de "Aquisition Control"	36
Figura 3.4 - Definição do gatilho manual	37
Figura 3.5 - Definição de fps (Frames per second).....	37
Figura 3.6 - Guardar e abrir configurações da câmara.....	37
Figura 3.7 - Cabeçalho com comandos de controlo de captura	38
Figura 3.8 - Captura manual de imagens	38
Figura 3.9 - Definições de captura de vídeo.....	39
Figura 3.10 - Inclusão da biblioteca nas variáveis do ambiente	41
Figura 3.11 - Definir tipo de plataforma	42
Figura 3.12 - Abertura de propriedades de projeto.....	42
Figura 3.13 - Aba de VC++ Directories	43
Figura 3.14 - Aba Input de Linker	43
Figura 3.15 - Sistema de visão.....	44
Figura 3.16 - Conjunto de lentes com suporte de fio montado.....	45

Figura 3.17 - Máquina de enrolamento e desenrolamento de fio têxtil [29]	45
Figura 3.18 - Sistema mecânico [31]	46
Figura 3.19 - Cadeias cinemáticas [31].....	47
Figura 3.20 - Máquina de Wimshurst.....	48
Figura 3.21 - Exemplo de interação entre indutor e induzido [41].....	49
Figura 3.22 - Ligação do indutor ao "ground" [41]	50
Figura 3.23 - Objeto induzido carregado com eletricidade estática [41]	50
Figura 3.24 - Gerador de iões negativos	51
Figura 3.25 - Circuito de multiplicação de potencial elétrico	52
Figura 3.26 - Exemplo de circuito de multiplicação de tensão elétrica	53
Figura 3.27 - Simulação de circuito para gerador de eletricidade estática	53
Figura 4.1 - Interface de utilizador	56
Figura 4.2 - Fluxograma da metodologia de análise	60
Figura 4.3 - Imagem em escala de cinzento	61
Figura 4.4 - Imagem com filtro Gaussiano	62
Figura 4.5 - Imagem após processo de "Threshold" binário	63
Figura 4.6 - Imagem após processo de fechar	63
Figura 4.7 - Imagem de núcleo isolado	64
Figura 4.8 - Denominação de colunas e filas.....	64
Figura 4.9 - Contornos isolados do fio	66
Figura 4.10 - Contornos do núcleo isolado	67
Figura 4.11 - Contornos da pilosidade isolada	68
Figura 4.12 – Separação de partículas em fio de 1 Cabo	69
Figura 4.13 – Separação de partículas em fio de 2 Cordas	69
Figura 4.14 - Imagem de após processo de abertura.....	70
Figura 4.15 - Imagem de partículas isoladas.....	70
Figura 4.16 - Exemplo de resultado	72
Figura 5.1 - Três tipos de fio testados	74
Figura 5.2 – Exemplo de resultados de USTER Tester 3 de fio branco de poliéster	75
Figura 5.3 - Imagem de fio roxo com partículas isoladas.....	78
Figura 5.4 - Variação de diâmetro de fio de algodão roxo (6 metros).....	82
Figura 5.5 - Espectrograma de massa do fio de algodão roxo (USTER Tester 3)	83

Figura 5.6 - Variação de diâmetro de fio de algodão roxo (100 metros).....	83
Figura 5.7 - Espectrograma de massa de fio de algodão roxo (Protótipo)	84
Figura 5.8 - Variação do diâmetro de fio de algodão amarelo	84
Figura 5.9 - Variação de diâmetro com limites de eixo reduzidos.....	85
Figura 5.10 - Variação do diâmetro do fio de poliéster branco	86
Figura 5.11 - Espectrograma de massa de fio de poliéster branco.....	86
Figura 5.12 - Variação de massa linear do fio de algodão roxo (6 metros)	87
Figura 5.13 - Variação de massa linear do fio de algodão roxo (100 metros)	88
Figura 5.14 - Variação da massa linear do fio de algodão amarelo	88
Figura 5.15 - Variação da massa linear do fio amarelo com escala ajustada	89
Figura 5.16 - Espectrograma de massa de fio de algodão amarelo	90
Figura 5.17 - Variação da massa linear do fio de poliéster branco.....	90
Figura 5.18 - Variação da massa linear do fio branco com escala ajustada.....	91
Figura 5.19 - Variação do índice de pilosidade de fio de algodão roxo (6 metros)	92
Figura 5.20 - Variação do índice de pilosidade de fio de algodão roxo (100 metros)	92
Figura 5.21 - Espectrograma de pilosidade de fio de algodão roxo (Protótipo).....	93
Figura 5.22 - Espectrograma de pilosidade de fio de algodão roxo (USTER Tester 3).....	93
Figura 5.23 - Variação do índice de pilosidade do fio de algodão amarelo	94
Figura 5.24 - Variação do índice de pilosidade do fio de poliéster branco.....	94
Figura 5.25 - Espectrograma de pilosidade de fio de algodão amarelo	94
Figura 5.26 - Espectrograma de pilosidade de fio de poliéster branco	95
Figura 5.27 - Variação do passo de torção para o fio de algodão roxo (6 metros).....	95
Figura 5.28 - Resultados do cálculo do sentido de torção	96
Figura 5.29 - Exemplo 1 de detecção de fibras soltas em fio roxo de algodão	97
Figura 5.30 - Exemplo 2 de detecção de fibras soltas em fio roxo de algodão	98
Figura 5.31 - Exemplo de detecção de fibras soltas em fio amarelo de algodão	99
Figura 5.32 - Exemplo de detecção de fibras soltas em fio branco de poliéster.....	99
Figura 5.33 - Exemplo de erro na detecção de contorno de pilosidade.....	100
Figura 5.34 - Exemplo de pilosidade em "loop"	101
Figura A.1 - Visualização do campo de visão [43]	111
Figura B.1 - Inclusão de bibliotecas.....	113
Figura B.2 - Inclusão de "namespaces"	113

Figura B.3 - Declarações de variáveis base	114
Figura B.4 - Declaração da localização das imagens	114
Figura B.5 - Declaração das matrizes base e leitura da imagem.....	114
Figura B.6 - Atribuição de variáveis, dependentes de material	115
Figura B.7 - Operações de processamento de imagem	115
Figura B.8 - Declaração de parâmetros intermédios	115
Figura B.9 - Cálculo do diâmetro e dos limites do núcleo.....	116
Figura B.10 - Cálculo de índice de pilosidade e fibras soltas	117
Figura B.11 – Contagem de partículas	118
Figura B.12 - Determinação do sentido de torção	118
Figura B.13 - Cálculo de diâmetro de cada divisão da imagem	118
Figura B.14 - Cálculo dos parâmetros base do fio.....	119
Figura B.15 - Cálculo do passo de torção de imagem.	119
Figura B.16 - Detecção de defeitos dimensionais.....	119
Figura B.17 - Declarações iniciais para análise de vídeo	120
Figura B.18 - Abertura de ciclo para leitura de "frames"	121
Figura B.19 - Cálculo de diâmetro e índice de pilosidade em vídeo.....	122
Figura B.20 - Operações de isolamento de partícula e cálculo de limites do núcleo	123
Figura B.21 - Cálculo do número de partículas e de cordas.....	123
Figura B.22 - Cálculo do sentido de torção	124
Figura B.23 - Cálculo do passo de torção e armazenamento dos dados calculados em vetor	124
Figura B.24 - Cálculo dos parâmetros base do fio.....	125
Figura B.25 - Finalização da análise de vídeo	125
Figura B.26 - Função de pré-visualização de imagem	126
Figura B.27 - Função de verificação de tamanho do vídeo.....	127
Figura B.28 - Seleção do material a analisar	127
Figura B.29 - Seleção do tipo de ficheiro a analisar	128
Figura B.30 - Seleção da tolerância positiva e número de divisões.....	128
Figura B.31 - Seleção da tolerância negativa	128
Figura B.32 - Funções de apoio ao utilizador	128
Figura B.33 - Detecção de erros nos parâmetros de entrada.....	129

Figura B.34 - Execução da análise de imagem.	129
Figura B.35 - Execução de análise de vídeo	130
Figura B.36 - Falha na seleção do ficheiro a analisar	130

Índice de equações

Equação 1 – Massa linear	13
Equação 2 - Volume de fio	13
Equação 3 - Índice de pilosidade	13
Equação 4 - Desvio médio de massa	14
Equação 5 - Coeficiente de variação de massa	14
Equação 6 - Desvio padrão de pilosidade	14
Equação 7 – “Thresholding” binário	22
Equação 8 - "Thresholding" binário inverso.....	22
Equação 9 - "Thresholding to zero"	23
Equação 10 - "Thresholding to zero" inverso.....	23
Equação 11 - "Threshold" de truncamento	23
Equação 12 - Variância entre classes	25
Equação 13 - Aplicação do filtro linear	27
Equação 14 - Potência elétrica	51
Equação 15 - Conversão do diâmetro de pixel para milímetro	65
Equação 16 - Cálculo de passo de torção.....	78
Equação 17 - Cálculo do tamanho real da imagem.....	112
Equação 18 - Cálculo de fator de ampliação.....	112
Equação 19 - Erro relativo percentual	131
Equação 20 - Cálculo de intervalo entre bandas de energia	133
Equação 21 - Cálculo do valor da banda de energia	133

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Especificações técnicas da câmara	44
Tabela 2 - Nomenclatura de componentes de sistema mecânico [31]	46
Tabela 3 - Resultados do equipamento USTER Tester 3	75
Tabela 4 - Resultados de análise de imagem de fio roxo de algodão	76
Tabela 5 - Resultado de análise de imagem de fio amarelo de algodão	76
Tabela 6 - Resultado de análise de imagem de fio branco de poliéster	77
Tabela 7 - Resultados de análise de vídeo de fio roxo de algodão (6 metros)	79
Tabela 8 - Resultado de análise de vídeo de fio amarelo de algodão	79
Tabela 9 - Resultado de análise de vídeo de fio branco de poliéster	80
Tabela 10 - Resultados de análise de vídeo de fio roxo de algodão (100 metros)	81
Tabela 11 - Resultados obtidos com erro relativo	131
Tabela 12 - Resultados obtidos de teste de 100 metros com erro relativo.....	132

Lista de símbolos

<u>Símbolo</u>		<u>Dimensão</u>
d	Diâmetro	mm
tex	Massa linear	g/km
ρ	Densidade	kg/m^3
ϕ	Porosidade	
V	Volume	mm^3
l	Comprimento	mm
H	Índice de pilosidade	
U	Desvio médio de massa	%
T	Número de amostras	
x_i	Massa linear instantânea	g/km
\bar{x}	Massa linear média	g/km
CV	Coefficiente de variação de massa	%
sH	Desvio padrão de pilosidade	%
H_i	Índice de pilosidade instantânea	
\bar{H}	Índice de pilosidade média	
σ	Variância	
W	Peso relativo	
P	Potência elétrica	W
V	Potencial elétrico	V
I	Intensidade de corrente	A
h	Altura	mm

1. Introdução

Este capítulo procura descrever o enquadramento, motivação e os objetivos do projeto a apresentar, assim como, a metodologia de organização deste relatório.

O projeto apresentado neste relatório surge no âmbito de dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica da Universidade do Minho, e consiste no desenvolvimento de algoritmos e subsequente aplicação dos mesmo num programa capaz de efetuar a análise pormenorizada da qualidade de fio têxtil através de metodologias de processamento de imagem.

1.1. Enquadramento e motivação

Um dos aspetos mais impactantes na determinação da qualidade de um produto é a qualidade do material utilizado em todas as etapas do processo de produção [1]. Por esse motivo o controlo de qualidade de fios têxteis é um processo de grande importância na produção têxtil. Atualmente, existem algumas máquinas que realizam o processo de controlo de qualidade de fios através de sensores mecânicos de vários tipos, podendo destacar-se os produtos da empresa *USTER*, nomeadamente os aparelhos *USTER Tester*. No entanto, devido à sua complexidade de operação e à sua necessidade de vários sensores de alta precisão, o seu custo é bastante elevado. Para além disso, esses aparelhos apenas conseguem fazer a medição de alguns dos parâmetros necessários para quantificar a qualidade do fio. Devido a esse facto, nos últimos anos, tem havido uma crescente necessidade de encontrar uma alternativa a estes aparelhos que não só reduza o seu custo, mas também permita a medição de um maior número de parâmetros. Uma tecnologia que tem proporcionado essa alternativa é o ramo da ótica aliada ao processamento de imagem [2], [3]. Com câmaras de alta resolução e de alta frequência de captura, é possível captar imagens e vídeos de alta qualidade que permitem a recolha dos parâmetros de qualidade do fio têxtil de forma automática e repetida ao longo de toda a sua extensão, através de operações de processamento de imagem [2], [3].

Desta forma, foi proposto o desenvolvimento de algoritmos que permitissem a obtenção de um grande número de parâmetros de qualidade de fio têxtil que pudessem ser aplicados num protótipo, já desenvolvido, de desenrolamento e enrolamento de fio têxtil. Para facilitar a medição de um dos parâmetros mais importantes, a pilosidade, observou-se inicialmente ser necessário o desenvolvimento paralelo de um sistema de geração de eletricidade estática cujo objetivo é a separação das pontas de pilosidades do núcleo do fio.

1.2. Objetivos

Esta dissertação tem como objetivo principal desenvolver e implementar algoritmos com a capacidade de analisar tanto imagens como vídeos, devolver resultados de uma forma clara e simples de utilizar. Para isso é necessário que o trabalho desenvolvido – nomeadamente o desenvolvimento do respetivo software – atenda aos seguintes objetivos:

- Permitir ao utilizador personalizar vários aspetos da análise a ser feita (material do fio, tolerância dimensional desejada, número de secções do fio a ser testadas);
- Criar uma janela de interação entre o utilizador e o programa;
- Recolher diâmetro, massa linear, volume, desvio médio de massa, coeficiente de variação, número de fibras soltas do núcleo e coeficiente de pilosidade;
- Permitir a visualização das imagens/vídeos a serem analisados;
- Possibilitar a monitorização das operações de processamento de imagem pelo utilizador;
- Permitir o armazenamento dos dados recolhidos para futuro processamento estatístico;
- Obtenção de análise espectral consoante os dados de massa linear e pilosidade;
- Conceber um gerador de eletricidade estática;

1.3. Organização da dissertação

Este documento, apresenta de forma organizada todas as etapas do projeto desenvolvido, no âmbito desta dissertação, na seguinte ordem: No primeiro capítulo é identificado o tema principal deste trabalho bem como a motivação do mesmo e os objetivos principais que pretende alcançar. No segundo capítulo é apresentado o estado da arte nas áreas de maior importância para este projeto. No terceiro capítulo são apresentados todos os softwares utilizados no desenvolvimento deste projeto, bem como todos os dispositivos auxiliares de medição e de captura de imagem, incluindo o desenvolvimento do gerador de eletricidade estática. No quarto capítulo é apresentado o funcionamento do programa de testagem desenvolvido, descrevendo também a metodologia utilizada para a obtenção de resultados. No quinto capítulo são divulgados os resultados obtidos para os fios testados, sendo esses depois comparados a resultados obtidos em máquinas industriais como a USTER *Tester 3* [4].

No sexto e último capítulo são explanadas as conclusões a que o projeto desenvolvido chegou, bem como são apresentadas sugestões para trabalhos futuros que podem realizar-se a partir deste projeto.

2. Estado da Arte e Conceitos Fundamentais

Neste capítulo é apresentado o estado da arte e os conceitos fundamentais para a elaboração deste trabalho. Primeiro são abordados os conceitos fundamentais de fio têxtil, desde as suas características de base, até os tipos de parâmetros que definem a sua qualidade. Em segundo, são descritos os processos relevantes para as metodologias de processamento de imagem utilizadas.

2.1. Fio Têxtil

Fio têxtil pode ser entendido como toda a estrutura de densidade linear (por vezes denominada título) constante, constituído por fibras ou filamentos [5]. Estes podem ser naturais ou sintéticos. Os naturais podem ter várias origens: minerais, animais ou vegetais, enquanto, os sintéticos, podem advir de polímeros naturais ou sintéticos [5].

O título de um fio corresponde à densidade linear, a qual representa a relação entre o comprimento do fio têxtil e a massa do mesmo (metro/grama) ou o seu inverso (grama/metro) sendo este último mais utilizado para definir a espessura ou a grossura do fio [5].

O fio têxtil pode distinguir-se de outros tipos de materiais semelhantes devido à sua elevada flexibilidade, resistência à tração e, dependendo do tipo de material utilizado, pode apresentar altos níveis de tenacidade. Além disso, apresenta uma textura suave e bom aspecto visual. Como apenas necessita de utilizar equipamento têxtil convencional, apresenta custos relativamente baixos de produção [5].

2.1.1. Tipos de fio têxtil

O fio têxtil pode ser classificado de diferentes formas, uma das quais é através do número e tipo de fibras que o forma:

- Fios de fibras torcidas ou “Staple/Spun yarns”: Estes fios são formados por fibras de curto comprimento, mas com um nível de torção mais elevado, o que confere ao fio uma resistência mecânica mais baixa quando comparado aos de filamento contínuo, em contrapartida, apresenta excelentes qualidades estéticas quando formadas em tecido (Figura 2.1) [5];



Figura 2.1 - Exemplo de fio de fibras torcidas [5]

- Fios de filamento contínuo ou “Continuous filament yarns”: Como o nome indica este tipo de fio têxtil é constituído por filamentos contínuos. Estes fios podem ser do tipo

monofilamento ou multifilamento, dependendo do número de filamentos contínuos que formam o fio. As suas fibras podem apresentar ou não torção (Figura 2.2) [5];



Figura 2.2 - Exemplo de fio de filamento contínuo [5]

- Fios de volume elevado ou “High-Bulk yarns”: Fios de filamento contínuo caracterizados por ter um volume elevado aliado a uma densidade baixa. Ao contrário dos fios elásticos, estes fios mantêm estas propriedades estando sob carga ou não (Figura 2.3) [5];



Figura 2.3 - Exemplo de fio de volume elevado [5]

- Fios elásticos ou “Strech yarns”: Fios caracterizados pela sua capacidade de se estenderem até 4 vezes o seu comprimento original quando sob carga, conseguindo depois retornar elasticamente ao seu tamanho original sem sofrerem defeitos por deformação. Quando se encontram sob carga, assemelham-se a fios de filamentos contínuos e em repouso assemelham-se aos fios de volume elevado (Figura 2.4) [5];



Figura 2.4 - Exemplo de fio elástico [5]

- Fios decorativos ou “Novelty yarn”: Fios com uso exclusivo de decoração não funcional e por isso não são utilizados na produção de tecidos, exceto em casos pontuais. São caracterizados por defeitos pontuais propositados, formados pela variação de velocidade ou frequência de torção, a Figura 2.5 exhibe um exemplo de um desses fios [5];



Figura 2.5 - Exemplos de fios decorativos [5]

- Fios de uso especial ou “*Special end-use yarns*”: Fios de uso puramente funcional, concebidos especificamente para terem um certo grupo de características e por isso terem uma performance expectável sob condições específicas. São consequentemente, fios sem qualidades estéticas. São exemplos: fios de cozer, fios de borracha, asbestos e fibras de vidro [5].

2.1.2. Materiais das fibras

Outra forma de classificar o fio têxtil advém do material que compõe as suas fibras. Como em qualquer outro produto, o material que o compõe vai ser um dos fatores que confere ao produto final uma parte das suas características, sejam elas visuais (estética, cor) ou funcionais (propriedades físicas e mecânicas). Em termos de material as fibras podem ser divididas em dois grupos, de acordo com a sua origem.

O primeiro desses grupos contém as fibras de origem natural. O grupo pode ainda ser subdividido:

- Origem animal – São exemplos o algodão e a seda;
- Origem mineral – Um exemplo predominante é o asbesto;
- Origem vegetal – As fibras podem advir de frutas (fibra de coco), das folhas ou até das sementes.

O segundo grupo é composto pelas fibras de origem artificial:

- Polímeros naturais – Como a borracha natural, a celulose ou até proteínas vegetais;
- Polímeros sintéticos – Este grupo contém uma variedade de fibras, desde os poliuretanos, aos poliésteres, derivados do polivinil e as borrachas sintéticas.
- Fibras refratárias – São exemplos as fibras de vidro, as de carbono e as de metais.

Na Figura 2.6, é possível visualizar mais detalhadamente os grupos e subgrupos utilizados para classificar fios têxteis de acordo com o material das suas fibras.

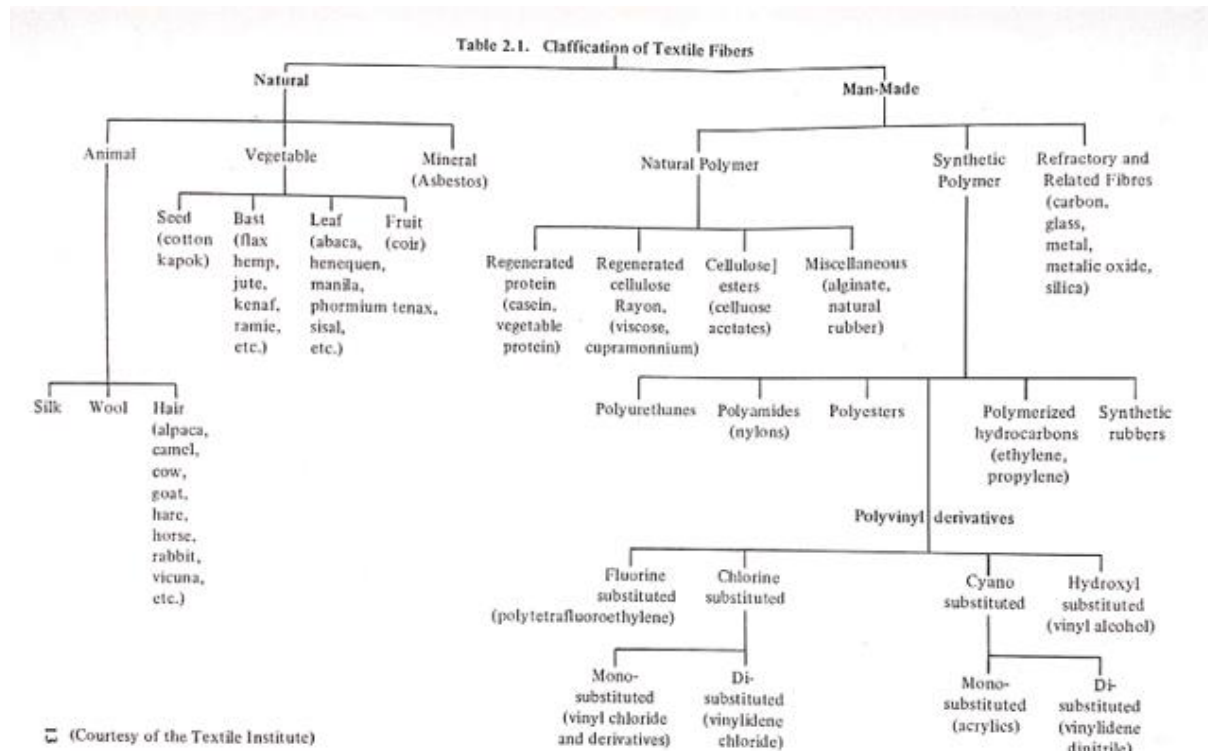


Figura 2.6 - Classificação de fibras têxteis [5]

2.1.3. Torção de fio têxtil

Pode definir-se torção, no contexto de fio têxtil, ao processo de duas ou mais fibras/cordões se encontram enroladas umas nas outras num sentido helicoidal [5]. Ou seja, diz-se que um fio se encontra com torção quando as fibras, que estavam originalmente paralelas ao eixo do fio, se encontram em rotação, formando assim um ângulo θ com esse eixo, como mostra a Figura 2.7. Esse valor vai definir o nível de torção do fio, sendo que valores mais altos significam um nível maior de torção.

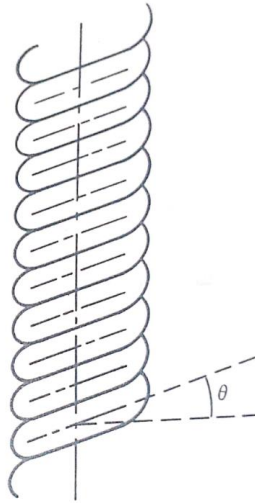


Figura 2.7 - Representação do ângulo de torção [5]

No entanto, quando procuramos caracterizar a torção de um fio têxtil, é essencial especificar a direção da torção das cordas do fio. Este é um dos fatores que pode afetar em grande parte o design dos tecidos formados com o fio têxtil [5]. A torção pode ter dois sentidos de rotação: em S (sentido dos ponteiros do relógio) ou em Z. São assim definidos, como ilustra a Figura 2.8, pois o sentido visível das cordas é semelhante ao traço central das letras S ou Z.

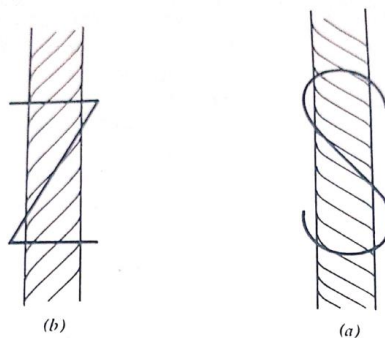


Figura 2.8 - Sentido de torção em (a) S e em (b) Z [5]

A mesma lógica aplica-se quando fios se enrolam um no outro, por exemplo, como mostra a Figura 2.9, se dois fios com sentidos de torção em Z forem enrolados, o fio que formam pode ter o sentido de torção em S.

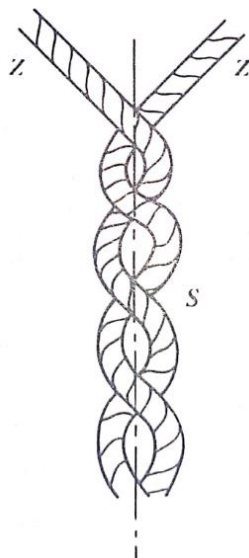


Figura 2.9 - Sentido de torção de um par de fios [5]

Para além do sentido e ângulo de torção, é também importante caracterizar o passo de torção de um fio. O passo de torção consiste na distância mais curta entre dois pontos do fio onde a fibra em torção se encontra no mesmo ponto (Figura 2.10) [5].

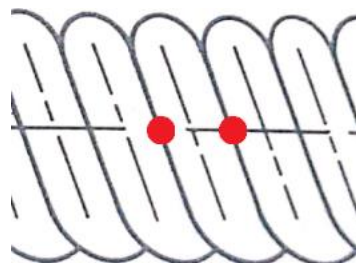


Figura 2.10 - Exemplo de pontos de medição para o passo de torção [5]

No exemplo dado, o fio apenas tem uma corda torcida, no entanto, no caso de fios de múltiplas fibras, os pontos de medição têm de se encontrar numa única fibra. Isto significa que quão maior for o número de fibras ou cordas que formam o fio, maior vai ser o passo de torção [5].

2.1.4. Propriedades físicas de fio têxtil

Para poder propriamente avaliar a qualidade e encontrar imperfeições de um fio têxtil, necessitamos de olhar para as propriedades físicas do mesmo. Apesar de existir um grande número de propriedades de análise possível, este projeto foca-se na avaliação das propriedades mais relevantes para a deteção de defeitos no fio têxtil, e essas são:

- Diâmetro;
- Massa linear;
- Volume;
- Índice de pilosidade;
- Desvio médio de massa;
- Coeficiente de variação de massa;
- Desvio padrão de pilosidade.

Diâmetro

O diâmetro de um fio têxtil é a distância que separa duas extremidades opostas do fio. No entanto, quando procuramos atribuir um único valor a um fio, que pode ter comprimento acima de 1 quilómetro existe um facto que é preciso ser tomado em consideração. O valor medido em um ponto de um fio não pode ser representativo do fio inteiro, pois como podemos observar na Figura 2.11, o seu valor não é constante ao longo de todo o comprimento. O valor atribuído ao fio vai ter de ser um valor médio, conseguido através de medições ao longo de todo o seu comprimento [6].

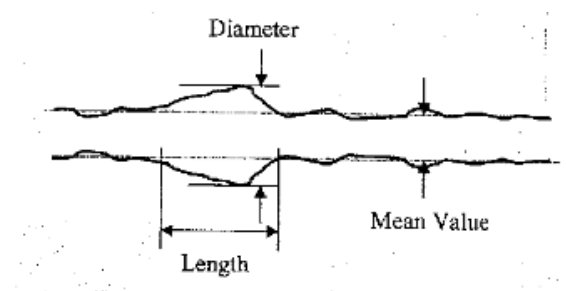


Figura 2.11 - Representação da variação do diâmetro de um fio [7]

Massa linear

Quando procuramos medir a massa de um fio têxtil, encontrámos um problema. Visto, que uma bobine de fio nem sempre é utilizada completamente no fabrico de um tecido ou noutra tipo de aplicação. Por essa razão, não é prático nem útil utilizar a massa total de uma bobine para caracterizar as propriedades de massa de um fio. O que se pode utilizar é a massa de um certo comprimento de fio. Uma das unidades mais utilizadas é a massa linear que corresponde à massa de um fio em gramas por cada quilómetro de fio, ou seja, na unidade (g/km). No entanto, no sistema internacional, essa unidade, para o caso da indústria têxtil, é intitulada *TEX*.

Existem três fatores principais que afetam o valor final da massa linear do fio: O tipo e número de fibras que compõem o fio, o material das fibras em si e o tamanho do fio. A massa linear pode então ser calculada com a utilização da Equação 1.

$$d = \sqrt{\frac{4 \times tex}{\pi \times 10^5 \times \rho \times \phi}} \leftrightarrow tex = \rho \times \phi \times \pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2 \times \left(\frac{10^5 \text{ cm}}{\text{km}}\right)$$

Equação 1 – Massa linear

- Onde d – diâmetro (cm); tex – Massa linear (g/km); ρ – Densidade do material; ϕ – Porosidade do material.

Volume

Para calcular o volume é necessário primeiro obter os dois parâmetros dimensionais do fio, o comprimento e o seu diâmetro.

Como o valor do diâmetro não é constante, é utilizado o valor médio para o cálculo do volume. Isso permite também assumir um formato mais compatível com equações matemáticas para o fio, mais concretamente o formato de um cilindro. Assim utiliza-se a fórmula do volume de um cilindro com altura de 1 metro (Equação 2).

$$V = \pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2 \times l$$

Equação 2 - Volume de fio

- Onde V – volume do fio em (mm^3); d – diâmetro do fio; l – comprimento do fio.

Índice de pilosidade

A pilosidade ou “*hairness*” é uma das características de fios têxteis e refere-se à presença de pequenas fibras soltas do núcleo do fio. A forma como essa característica é calculada é através do índice de pilosidade. Este índice adimensional, relaciona o comprimento total das pilosidades do fio com o comprimento total do fio, ou seja, descreve o comprimento de fibras soltas existentes por unidade de comprimento do fio (Equação 3) [8].

$$H = \frac{l_H}{l_{fio}}$$

Equação 3 - Índice de pilosidade

- Onde H – Índice de pilosidade; l_H – comprimento total das pilosidades (mm); l_{fio} – comprimento do fio (mm).

Desvio médio de massa

O desvio médio de massa (Equação 4) é uma característica estatística do fio têxtil que se refere à proporcionalidade da variação de massa ao longo do fio em relação ao valor médio, independente do número de amostras de massa que forem retiradas [8].

$$U(\%) = \frac{100}{T \times \bar{x}} \times \int_0^T |x_i - \bar{x}| dt$$

Equação 4 - Desvio médio de massa

- Onde $U(\%)$ - Desvio médio de massa; T – nº de amostras; x_i – massa instantânea; \bar{x} – massa média.

Coefficiente de variação de massa

O coeficiente de variação de massa (Equação 5) representa a relação entre o valor médio da massa e o desvio padrão [8].

$$CV(\%) = \frac{100}{\bar{x}} \times \sqrt{\frac{1}{T} \times \int_0^T (x_i - \bar{x})^2 dt}$$

Equação 5 - Coeficiente de variação de massa

- Onde $CV(\%)$ - Coeficiente de variação de massa; T – nº de amostras; x_i – massa instantânea; \bar{x} – massa média.

Desvio padrão de pilosidade

O desvio padrão de pilosidade representa o desvio padrão do coeficiente de pilosidade, podendo ser calculado com o auxílio da Equação 6 [8].

$$sH(\%) = \sqrt{\frac{1}{T} \times \sum_{i=1}^T (H_i - \bar{H})^2}$$

Equação 6 - Desvio padrão de pilosidade

- Onde $sH(\%)$ - Desvio padrão de pilosidade; T – nº de amostras; H_i – índice de pilosidade instantâneo; \bar{H} – índice de pilosidade médio.

2.1.5. Imperfeições de fio têxtil

Nenhum processo industrial é perfeito, por isso, é natural que durante o processo de produção de fio têxtil algumas imperfeições surjam no produto final (Figura 2.12) [9]. Por essa razão é importante saber reconhecer os defeitos que são mais comuns aparecer nessa cadeia de processos [6].

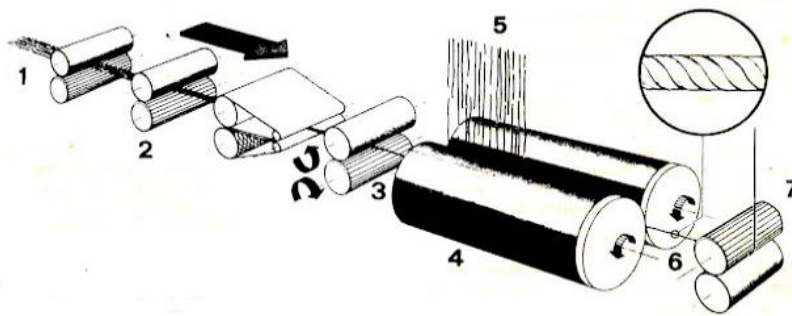


Figura 2.12 - Linha de produção de fio têxtil [10]

De todos os tipos de defeitos que são possíveis surgir, existe um tipo que é mais comum e o mais importante de quantificar, quando procuramos avaliar a qualidade de uma bobine de fio têxtil: As imperfeições dimensionais [6].

Imperfeições dimensionais

As imperfeições dimensionais referem-se à variação do diâmetro e/ou massa ao longo de todo o fio e são categorizados em 3 tipos: zonas finas, grossas ou borbotos [9].

As zonas finas podem ser causadas pela acumulação de resíduos num dos rolamentos de esmagamento (Figura 2.13) ou por um desnível de um deles, que leva a que o espaço entre os dois rolamentos seja menor em parte do seu movimento rotativo. Isso vai levar à aparição de defeitos sinusoidais no diâmetro do fio [9].

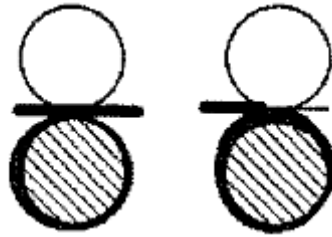


Figura 2.13 - Desnível de um dos rolamentos de esmagamento [9]

As zonas grossas por outro lado são normalmente causadas por imperfeições nas faces dos rolamentos (Figura 2.14), causando zonas onde a força de esmagamento é menor e o espaço entre os rolamentos é maior, provocando defeitos periódicos no diâmetro do fio [9].

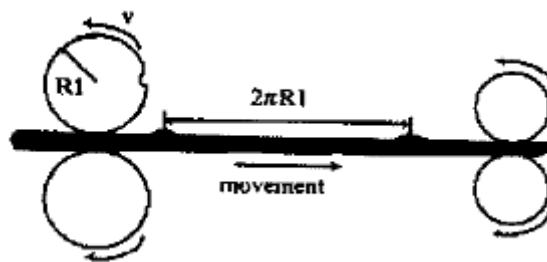


Figura 2.14 - Imperfeição de um dos rolamentos [9]

Os borbotos ou *neps* são o terceiro tipo de defeito dimensional e são causados pela introdução de vibração ao fio durante o processo de esmagamento. Essa vibração, causa assim, defeitos periódicos com variações drásticas de diâmetro [9]. Na Figura 2.15 podemos observar os 3 tipos de imperfeições dimensionais.

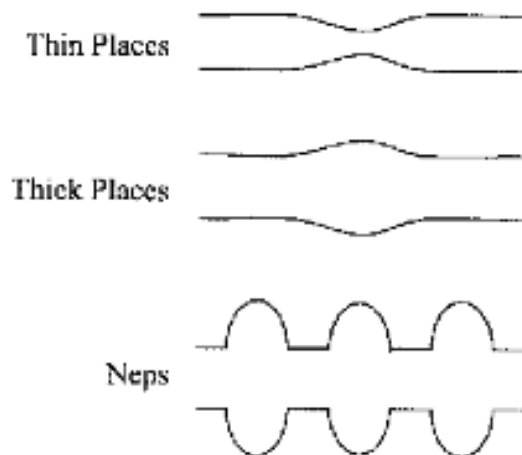


Figura 2.15 - Tipos de imperfeições dimensionais [9]

2.2. Processamento de Imagem

Uma das ferramentas mais importantes quando estudamos a automatização de um processo mecânico são os sensores [11]. Estes componentes são responsáveis pelo processo de recolha de informação para o autómato. No entanto, não é só necessário recolher informação do sistema, é igualmente importante a sua interpretação pelo autómato. Um tipo de informação fundamental a interpretar é os dados visuais: imagem e vídeo [2].

Uma das formas utilizada para interpretar e recolher informação através de fontes visuais é com recurso a metodologias de processamento de imagem.

Antes de descrever em detalhe os diversos processos e operações que constituem as metodologias de processamento de imagem é primordial definir e clarificar o que constitui os parâmetros de entrada, ou seja, a informação que é fornecida ao sistema pelo sensor. Neste caso esses parâmetros podem surgir de duas formas: na forma de uma imagem ou num grupo grande de imagens consecutivas, que é definido como vídeo.

2.2.1. Elemento unitário e escalas de cor

Cada imagem é constituída fundamentalmente por um agrupamento de elementos unitários de imagem (pixels). Cada pixel pode ter um valor que varia entre 0 e 255, o que transmite o valor da sua intensidade de sinal. Essa intensidade pode ser interpretada de várias formas dependendo da escala de cores que estiver a ser utilizada. As três escalas principais são: nível de cinzento, RGB e HSV.

A escala nível de cinzento, é uma escala monocromática, onde o valor de intensidade do pixel vai indicar o grau de luminosidade do mesmo e assim determinar que tipo de tonalidade de cinzento o pixel vai representar [12]. Essa escala, como pode ser observado na Figura 2.16, vai variar entre o preto no valor de luminosidade 0, até ao branco, no valor de 255, com variados tons de cinzento no seu intermédio.

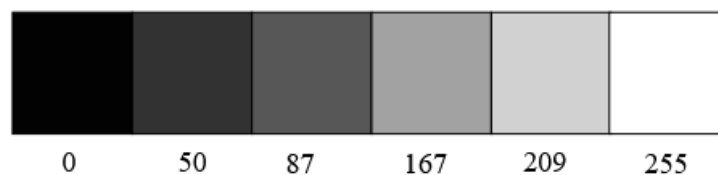


Figura 2.16 - Escala de cinzento [13]

A escala de cor RGB (*Red, Green & Blue*) é uma escala policromática, onde os pixels que formam a imagem são agrupados em trios (Figura 2.17), e o valor de cada um vai indicar o valor da intensidade de uma das cores principais: Vermelho, azul e verde respetivamente.

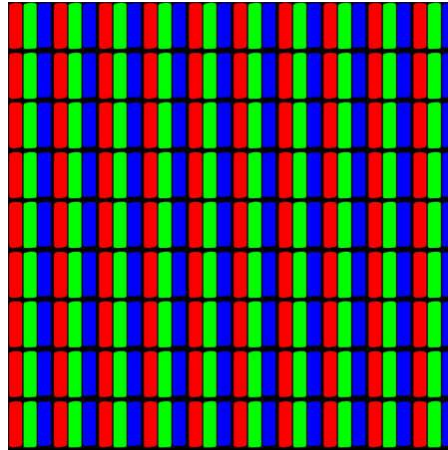


Figura 2.17 - Agrupamento de pixel [14]

Em semelhança à escala de cinzento, um valor de 0, vai representar uma ausência completa da tonalidade em questão, e um valor de 255 vai indicar uma intensidade de cor máxima. Por exemplo, se a cor que se pretende representar numa zona da imagem é o vermelho, os valores de um trio de pixels terão de ser (255, 0, 0) ou seja, 255 - Vermelho, 0 - Azul e 0 - Verde. Como esta escala é uma escala aditiva, quanto maior for o valor total de todos os pixels no trio, mais a cor final se aproxima do branco (255, 255, 255), e o contrário é verdade para o preto (0, 0, 0) [15]. Para cores mais complexas, estes valores terão de ter valores intermédios. Na Figura 2.18, observamos um exemplo.

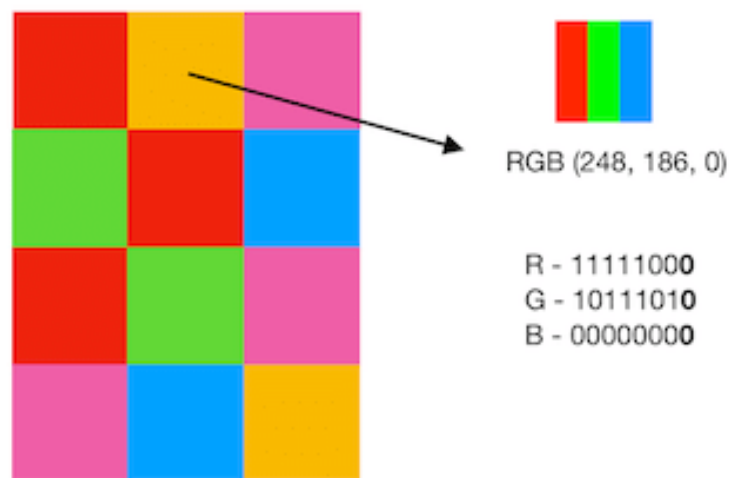


Figura 2.18 - Exemplo de cor complexa na escala RGB [16]

A escala HSV (*Hue, Saturation & Value*), é também uma escala policromática aditiva, onde os pixels são agrupados em trios, no entanto, ao contrário do RGB, cada pixel representa uma de três propriedades da cor: tonalidade, saturação e luminosidade [16], [17].

O valor da tonalidade vai determinar o tipo de cor que se representa (verde, vermelho, laranja, roxo ou outras). A saturação vai indicar o quão saturada essa cor vai estar, por exemplo, um valor de saturação de 255 com tonalidade vermelha, vai representar um vermelho vivo e pronunciado, enquanto um valor de 50, vai exibir um vermelho mais apagado. Finalmente a luminosidade vai indicar o quão clara a cor representada vai ser. Um valor alto representa, por exemplo, um vermelho mais claro, enquanto um valor mais baixo indica um vermelho mais escuro [17], [18]. A Figura 2.19 dá uma representação visual desta escala.

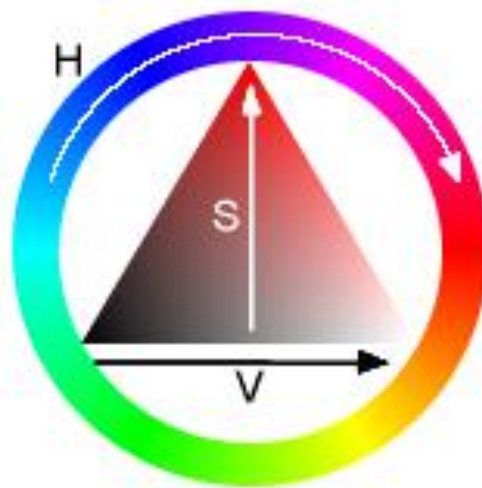


Figura 2.19 - Representação visual da escala HSV [18]

2.2.2. Operações lógicas

Para começar a analisar as operações de processamento de imagem, um dos pontos de partida pode ser as operações lógicas. Essas operações têm como objetivo a comparação de duas imagens de igual tamanho e a subsequente combinação numa só imagem. Existem dois grupos de operações lógicas: operações aritméticas e de comparação.

As operações aritméticas têm como objetivo obter uma imagem que possua uma adição ou uma subtração dos elementos presentes nas duas imagens iniciais. Estas operações agrupam os pixels, das duas imagens, que se encontram na mesma posição e esses pares são

posteriormente somados ou subtraídos para a obtenção da imagem final [19]. Na Figura 2.20 pode observar-se exemplos de subtração e adição, respetivamente.

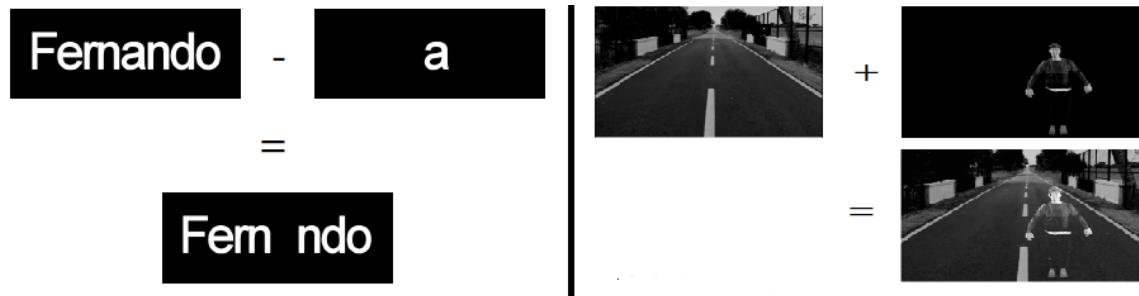


Figura 2.20 - Exemplos de subtração e adição de imagens [19]

Estas operações podem servir muitos propósitos, no entanto, o mais comum é serem utilizadas para realçar ou eliminar aspetos particulares de uma imagem. Por exemplo, se procuramos identificar o que mudou entre 2 imagens de um vídeo, um processo usualmente utilizado é a subtração dessas duas imagens, sendo o resultado uma imagem com apenas os elementos diferentes entre o par de imagens, como está exemplificado na Figura 2.21¹.

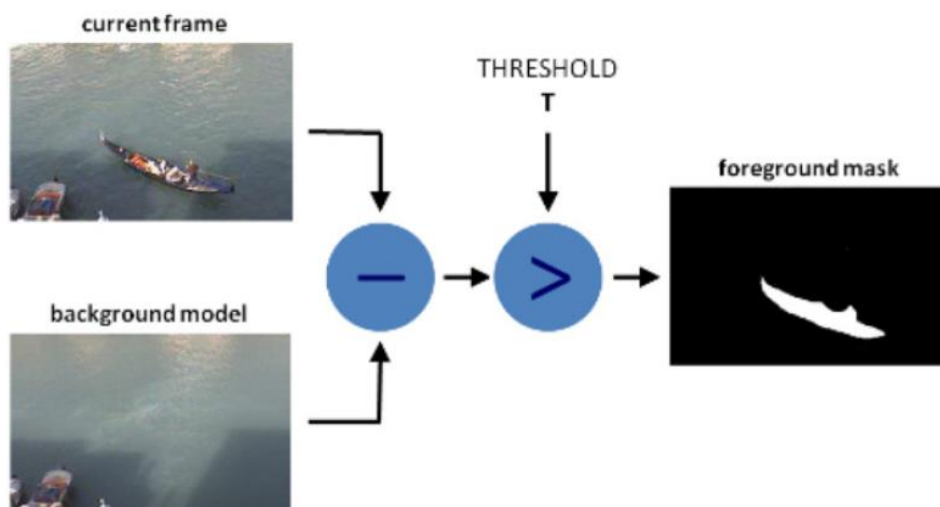


Figura 2.21 - Exemplo de utilização de subtração para evidenciar mudança [19]

Operações de comparação, por outro lado, têm como objetivo comparar aspetos entre um par de imagens e obter uma imagem resultante que combine as duas originais de varia-

¹ Para além da subtração na Figura 2.21 também é feito posteriormente uma operação de “*Thresholding*” (processo que será também explicado), no entanto os resultados da subtração mantêm-se evidentes

das formas. Estas operações são maioritariamente utilizadas com imagens de pixels de valores binários, ou seja, a preto (1) e branco (0)². Os tipos de comparações mais comuns são:

- Comparação "AND": Compara as duas imagens e cria uma imagem em que os únicos pixels que têm o valor 1 são aqueles que têm esse valor em ambas as imagens, atribuindo aos que apenas o têm numa das imagens o valor de 0 (Figura 2.22) [19];

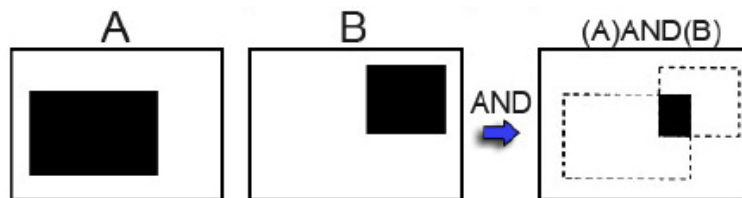


Figura 2.22 – Demonstração de comparação "AND" [19]

- Comparação "OR": Compara as duas imagens e cria uma imagem em que os pixels com valor 1 são aqueles que têm esse mesmo valor em pelo menos uma das imagens originais (Figura 2.23) [19];

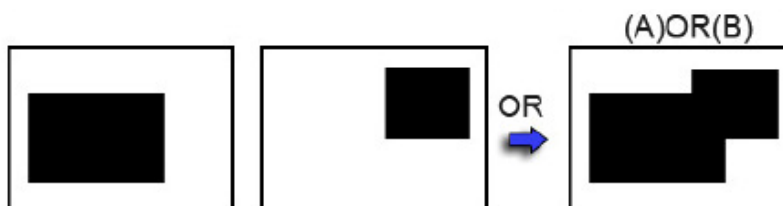


Figura 2.23 - Demonstração de comparação "OR" [19]

- Comparação "XOR": Faz uma operação semelhante à comparação "OR", no entanto, todos os pixels que têm valor de 1 em ambas as imagens comparadas, terão o valor de 0 na imagem obtida (Figura 2.24) [19];

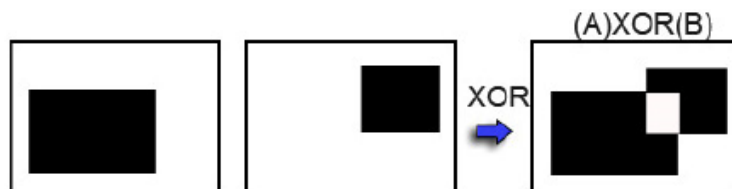


Figura 2.24 - Demonstração de comparação "XOR" [19]

² É importante notar que enquanto os valores referidos nesta secção são de 0 (para branco) e 1 (para preto), na realidade, as imagens encontram-se em níveis de cinzento e por isso os valores são de 255 e 0 respetivamente

Existe ainda uma operação que, embora não pertence às restantes de comparação, é muito utilizada em conjunto com elas. Essa operação é de inversão ou “NOT”, onde todos os pixels de uma imagem tomam o valor contrário, ou seja, todos com o valor de 1 passam a 0 e vice-versa, como demonstra a Figura 2.25 [19].

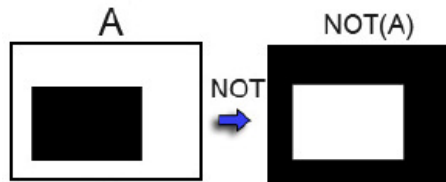


Figura 2.25 - Demonstração da operação de inversão [19]

2.2.3. Operação de “Thresholding”

Um dos grupos de processos mais versáteis nas operações de processamento de imagem é o grupo de “Thresholding”. Ele tem como objetivo a separação de vários detalhes da imagem de forma a facilitar o seu isolamento ou aumentar o seu destaque.

Os processos mais simples deste grupo são os “Thresholding” binários, que consistem na separação de todos os pixels da imagem em duas classes. Para a criação destas classes é utilizado um valor limite do pixel (“threshold”). Todos os pixels com valores superiores são agrupados numa classe, enquanto os restantes são agrupados noutra [19], [20].

Num “Threshold” binário regular (Equação 7), aos pixels da classe de valores superiores, é atribuído o valor máximo de 255, enquanto aos da classe de valores inferiores é atribuído o valor mínimo de 0. Para o processo de “Thresholding” binário inverso (Equação 8), o mesmo acontece, mas as classes são trocadas, ou seja, aos pixels da classe de valores superiores é atribuído o valor mínimo [19], [20].

$$val\ pixel(x,y) = \begin{cases} 255 & se\ val\ pixel(x,y) > threshold \\ 0 & se\ val\ pixel(x,y) \leq threshold \end{cases}$$

Equação 7 – “Thresholding” binário

$$val\ pixel(x,y) = \begin{cases} 255 & se\ val\ pixel(x,y) \leq threshold \\ 0 & se\ val\ pixel(x,y) > threshold \end{cases}$$

Equação 8 - “Thresholding” binário inverso

Para além destes processos existem também os de “Thresholding to zero” e o seu inverso. Tais processos funcionam de forma semelhante aos binários, no entanto, apenas uma

das classes é afetada. Por exemplo, no caso regular de “*Thresholding to zero*” (Equação 9), apenas a classe que contém os valores iguais ou inferiores ao valor de “*threshold*” é modificada, atribuindo a todos os seus pixels o valor mínimo de 0. O inverso acontece no caso do “*Thresholding to zero*” inverso (Equação 10), onde apenas os pixels da classe acima do valor de “*threshold*” são afetados, atribuindo o valor máximo de 255 [19], [20].

$$val\ pixel(x,y) = \begin{cases} Val\ pixel(x,y) & se\ val\ pixel(x,y) > threshold \\ 0 & se\ val\ pixel(x,y) \leq threshold \end{cases}$$

Equação 9 - "Thresholding to zero"

$$val\ pixel(x,y) = \begin{cases} 0 & se\ val\ pixel(x,y) > threshold \\ Val\ pixel(x,y) & se\ val\ pixel(x,y) \leq threshold \end{cases}$$

Equação 10 - "Thresholding to zero" inverso

O último dos processos de “*Thresholding*” binários é o de truncamento (Equação 11). O qual age de forma muito semelhante ao “*Thresholding to zero*” invertido, no entanto, os valores atribuídos aos pixels da classe afetada é o próprio valor de “*threshold*”, ao contrário do valor máximo. A Figura 2.26, permite uma visualização do efeito de cada tipo de “*Thresholding*” aqui descrito [19], [20].

$$val\ pixel(x,y) = \begin{cases} threshold & se\ val\ pixel(x,y) > threshold \\ val\ pixel(x,y) & se\ val\ pixel(x,y) \leq threshold \end{cases}$$

Equação 11 - "Threshold" de truncamento

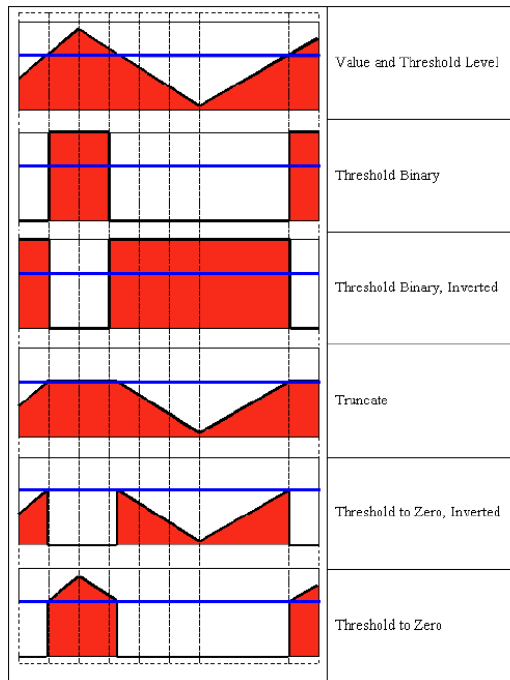


Figura 2.26 - Representação visual de todos os tipos de "Threshold" binário [21]

Todos estes processos pertencem ao grupo de "Threshold" binários, considerando que apenas separam os pixels da imagem em duas classes, para imagens que se encontram em níveis de cinzento. No entanto, existem processos mais avançados que isolam os pixels de uma imagem em 3 ou mais classes, isso implica evidentemente um maior número de valores de "threshold", e um maior nível de separação e destaque de características da imagem. Também é possível realizar estes processos em imagens de outros espectros de cor, por exemplo RGB ou HSV, podendo nesses casos não só separar as classes em cor, mas também por luminosidade e saturação [19], [20]. Todos esses processos são de níveis de complexidade bastante superior e não vão ser aqui aprofundados por se encontrarem fora do propósito deste projeto.

2.2.4. Método de OTSU

O método de OTSU é comumente conhecido como mais um dos vários tipos de "Thresholding", no entanto, é mais correto afirmar que é um método que pode ser associado a qualquer um dos outros processos. Isto é, o método de OTSU, quando associado, por exemplo, a um processo de "Thresholding" binário, auxilia o processo ao determinar, através de metodologia de algoritmo matemático, o melhor valor para a escolha do valor de "threshold" [22], [23].

A forma como o algoritmo funciona é através da testagem de todos os valores possíveis para o “*threshold*”, procurando assim aquele que apresenta um valor máximo de variância entre as classes (classes neste caso entende-se pelo fundo da imagem e o sujeito da imagem). Essa variância pode ser calculada com a fórmula seguinte [22], [23]:

$$\sigma_W^2 = W_s \times \sigma_s^2 + W_f \times \sigma_f^2$$

Equação 12 - Variância entre classes

- Onde W equivale ao peso relativo de cada classe, ou seja, a probabilidade de um qualquer pixel pertencer à classe em questão. Isso significa que quanto maior for o número de pixels pertencentes a cada classe maior será o seu peso relativo.
- s e f equivalem à nomenclatura das classes de sujeito e fundo respetivamente.

A Figura 2.27 corresponde a uma visualização da aplicação deste método a uma imagem.

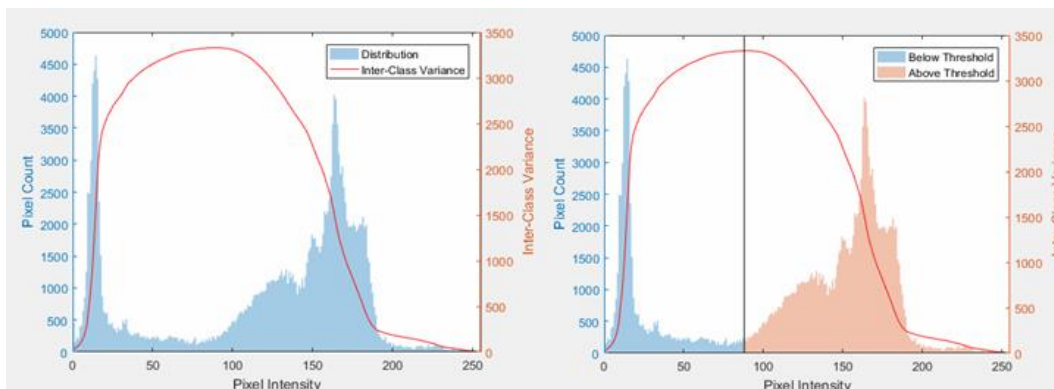


Figura 2.27 - Representação gráfica do método de OTSU [23]

2.2.5. Filtros lineares

Outro processo muito utilizado em metodologias de processamento de imagem é o de transformação de imagem utilizando filtros lineares. Este processo distingue-se dos anteriores pelo facto de o valor final de um pixel não depender só do seu valor inicial, mas também do valor inicial dos seus vizinhos. É um processo especialmente útil para a realização de deteção de contornos, pontos, formas geométricas e objetos no geral numa imagem. Por exemplo, é um processo que pode ser utilizado para de testar a presença duma pessoa numa imagem [19], [24], [25]. Também pode ser utilizado para aplicar variados filtros na imagem, como desfocar (Figura 2.28) ou adicionar ruído.



Figura 2.28 - Exemplo de aplicação de um filtro linear para desfocar [19]

Antes de explicar o processo pela qual ocorre a transformação, é importante clarificar o termo filtros lineares neste contexto. Um filtro linear refere-se a uma matriz quadrada, de ordem 3 ou superior [19], [24], [25]. Por razões que ainda vão ser referenciadas, a ordem de uma matriz de máscara, tem de ser sempre um número ímpar. A Figura 2.29 mostra o exemplo de um filtro linear simples.

$$\frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Figura 2.29 - Exemplo de matriz de filtro linear

Esta transformação inicia-se sobrepondo a matriz de filtro aos pixels da imagem, como alude a Figura 2.30.

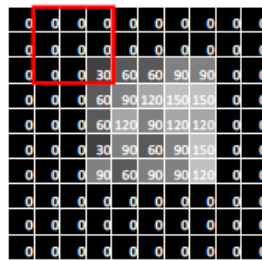


Figura 2.30 - Sobreposição de filtro a pixels de uma imagem [19]

De seguida é feita uma operação de multiplicação entre as matrizes. No entanto, esta operação não se trata de uma multiplicação de matrizes comum matematicamente. A operação consiste em multiplicar cada termo da matriz de filtro pelo termo na mesma posição na matriz da imagem. Por exemplo, inicialmente multiplicam-se os termos que se encontram na posição (1, 1) na matriz de filtro, pelo termo que se encontra na posição (1, 1) na matriz da imagem. Este processo é repetido para todos os termos da matriz de filtro. Após a execução dessa operação obteremos uma nova matriz. A Figura 2.31 representa a nova matriz

para o exemplo da imagem anterior. É importante notar que, como estamos a tratar valores para pixel, os números decimais são sempre arredondados, pois neste contexto, apenas se utilizam números inteiros entre 0 e 255 [19], [24], [25].

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3 \end{bmatrix}$$

Figura 2.31 - Matriz resultante de multiplicação entre matrizes

De seguida é feito o somatório de todos os termos da matriz resultante. O resultado é o valor final do pixel central da matriz da imagem como mostra a Figura 2.32.



Figura 2.32 - Substituição de valor final na matriz [19]

Este processo também pode ser descrito pela Equação 13.

$$Nova[i, j] = \sum_k \sum_l Original[i + k, j + l] \times Filtro[k, l]$$

Equação 13 - Aplicação do filtro linear

Todo este processo é repetido, tantas vezes quantas o filtro na imagem original couber, tendo sempre um pixel diferente na posição central das matrizes sobrepostas.

O facto de este processo exigir a existência de um termo central (termo no centro geométrico da matriz) na matriz resultante, requer que a matriz do filtro linear tenha um termo central. Esse facto requer que o filtro seja uma matriz quadrada de ordem ímpar, pois os de ordem par, não tem um único termo central.

Filtro Gaussiano

Um dos filtros lineares mais comuns e de grande versatilidade é o filtro Gaussiano. O seu objetivo é a redução do ruído de uma imagem. Isto é conseguido através de uma desfocagem ligeira da imagem. A aplicação de um filtro Gaussiano é um dos primeiros passos em

muitas metodologias de processamento de imagem. Embora seja contraintuitivo, a desfocagem da imagem permite obter imagens finais mais claras, pois a remoção de ruído inicial traduz-se numa imagem final mais clara. É importante notar que quanto maior for a ordem do filtro Gaussiano aplicado, maior será o efeito causado na imagem [19]. A Figura 2.33 apresenta um exemplo da aplicação de um filtro Gaussiano. Pode comparar-se o contraste deste tipo de desfocagem com o da Figura 2.28.



Figura 2.33 - Aplicação de um filtro Gaussiano [19]

O filtro Gaussiano não se refere a um só filtro linear, mas sim a um tipo de filtros que seguem todos a mesma regra. Estes filtros têm este nome, pois a regra que as matrizes que os formam seguem é a da distribuição normal em 2 dimensões. A Figura 2.34 dá um exemplo de uma matriz de ordem 7 de um filtro Gaussiano.

$$\begin{bmatrix}
 1 & 1 & 2 & 2 & 2 & 1 & 1 \\
 1 & 2 & 2 & 4 & 2 & 2 & 1 \\
 2 & 2 & 4 & 8 & 4 & 2 & 2 \\
 2 & 4 & 8 & 16 & 8 & 4 & 2 \\
 2 & 2 & 4 & 8 & 4 & 2 & 2 \\
 1 & 2 & 2 & 4 & 2 & 2 & 1 \\
 1 & 1 & 2 & 2 & 2 & 1 & 1
 \end{bmatrix}$$

Figura 2.34 - Exemplo de matriz Gaussiana 7x7

Deteção de linha e de contornos

O segundo tipo de filtros a abordar são os de deteção de linhas. Eles têm como objetivo identificar a presença de linhas com a orientação desejada. São muito utilizados em aplicações que procuram identificar objetos na imagem. A matriz do filtro utilizado procura encaixar o formato do objeto a encontrar. A Figura 2.35 dá um exemplo de um filtro de deteção de linhas verticais bem como a forma como transforma a imagem original [19].

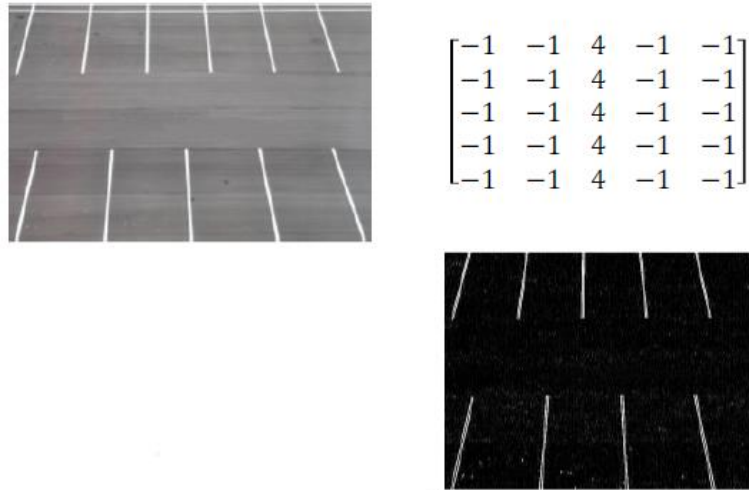


Figura 2.35 - Exemplo de aplicação de filtro de detecção de linhas verticais [19]

O exemplo apresentado é um exemplo simples da aplicação destes filtros. O mais comum é a utilização de vários filtros para detectar ao mesmo tempo linhas verticais, horizontais e diagonais, revelando a presença de formas mais complexas [19]. A Figura 2.36 mostra a aplicação de três filtros para a identificação de um objeto complexo.

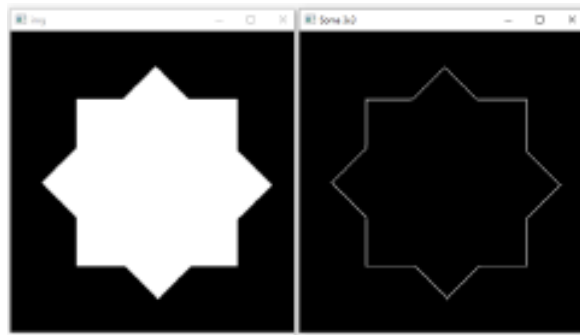


Figura 2.36 - Utilização de vários filtros para detectar forma complexa [19]

Para o último exemplo foi utilizado uma matriz de filtro de ordem 3, no entanto, é possível obter um maior nível de detalhe ao aumentar a ordem da matriz de filtro. A Figura 2.37 mostra o resultado da execução da mesma operação, mas com um filtro de ordem 5.

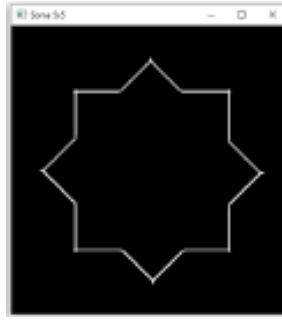


Figura 2.37 - Detecção de linhas com matriz 5x5 [19]

O uso destes filtros pode ser levado ainda mais longe, pois até aqui foi demonstrada a sua utilidade para a deteção de linhas retas de várias orientações, mas uma das aplicações mais avançadas deste tipo de filtro é a deteção de contornos de objetos curvos complexos. Isso é feito com a recorrência a algoritmos matemáticos, como o algoritmo de Canny [26]. Com ele é possível obter contornos com um grande nível de complexidade, como mostra a Figura 2.38.



Figura 2.38 - Exemplo da utilização do método de Canny

2.2.6. Operações morfológicas

O último grupo a ser abordado no âmbito deste projeto é o de operações morfológicas. Estas são operações mais simples e por essa razão, não são geralmente executadas sozinhas, mas fazendo parte de um grupo de operações extenso. São habitualmente feitas em imagens binárias e tem como objetivo principal alterar ou clarificar o formato de um objeto. As operações morfológicas básicas são as operações de erosão e de dilatação [19], [27].

Para além da imagem inicial, é necessário um elemento estrutural ou “kernel” para executar estas transformações. O elemento estrutural, nestas operações, pode ser exposto sobre a forma de uma matriz. Essa matriz, em semelhança aos filtros lineares, tem de ser quadrada

de ordem 3 ou superior, no entanto, só pode conter os valores de 0 ou 1 [19], [27]. Um exemplo simples de um elemento estrutural encontra-se na Figura 2.39.

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Figura 2.39 - Exemplo de matriz de elemento estruturante

De forma a ser mais fácil de visualizar, os elementos estruturais também podem ser demonstrados de forma gráfica como mostra a Figura 2.40.



Figura 2.40 - Representação gráfica de elemento estruturante [19]

O princípio de funcionamento das operações morfológicas é semelhante ao das operações com filtros lineares. A matriz do elemento estruturante é sobreposta repetidamente aos pixels da imagem, comparando os termos. No entanto, neste caso, não existem operações realizadas entre as duas matrizes, apenas se verifica se o termo da matriz do elemento estruturante é igual ao valor do pixel da imagem [19], [27].

No caso da operação de erosão, se existir alguma discordância entre os termos das duas matrizes, é atribuído o valor 0 ao pixel que corresponde ao termo na posição central da matriz [19], [27], [28].

Por outro lado, em operações morfológicas de dilatação, quando existe pelo menos uma concordância entre dois termos com o valor de 1 (pixel aceso) das matrizes, é atribuído o valor de 1 ao pixel central da matriz da imagem [19], [27], [28].

Para exemplificar, usando a imagem presente na Figura 2.41 como ponto de partida e um elemento estruturante simples, composto por uma matriz quadrada de ordem 5 com todos os termos iguais a 1, obtemos a Figura 2.42, quando aplicada a operação de erosão, e obtemos a Figura 2.43, quando aplicada a operação de dilatação.



Figura 2.41 - Imagem binária [28]



Figura 2.42 - Exemplo de processo de erosão [28]



Figura 2.43 - Exemplo de processo de dilatação [28]

Estas operações são muitas vezes combinadas para casos mais complexos.

- Processo morfológico de abertura ou *Opening*: consiste na execução de um processo de erosão seguido por um de dilatação. Nessa transformação a maior parte dos objetos mantêm a sua forma original, apenas afetando zonas claras pequenas. Este processo é utilizado para remover ruído no fundo da imagem, mantendo o resto dos objetos da imagem com o seu formato original, como é demonstrado na Figura 2.44 [19], [27], [28].



Figura 2.44 - Exemplo de processo de abertura [28]

- Processo morfológico de fechar ou *Closing*: consiste na execução de um processo de dilatação seguido por uma erosão. Neste processo os objetos também mantêm o seu formato original, no entanto, objetos adjacentes são juntos e pequenas falhas ou zonas vazias são preenchidas. Esta operação é utilizada para alisar os extremos de um objeto ou para preencher pequenas falhas no seu formato, como mostra a Figura 2.45 [19], [27], [28].



Figura 2.45 - Exemplo de processo de fechar [28]

- Processo de gradiente morfológico: Consiste na execução de uma subtração entre a imagem obtida pelo processo por erosão e a obtida por dilatação. O resultado desta transformação será o contorno extremo do formato como mostra a Figura 2.46. Esta operação é utilizada como uma alternativa a processos de detecção de contornos para imagens binárias [27], [28].



Figura 2.46 - Exemplo de gradiente morfológico [28]

Para além das aqui mencionadas, existem ainda muitas outras combinações de processos morfológicos, sendo entre si ou entre outras transformações da metodologia de processamento de imagem, no entanto, as apresentadas são as mais comumente utilizadas, e as que foram utilizadas durante a elaboração deste projeto.

3. Software e hardware (Programas e instrumentos)

Neste capítulo procuraremos introduzir e explicar todos os softwares utilizados para a criação do programa de verificação de qualidade do fio têxtil. Começando pelo software responsável pela captura das imagens e vídeos da câmara, seguido pelo ambiente onde a programação é feita e o conjunto de bibliotecas utilizadas na estrutura do código do programa.

Além disso, será inserida a máquina de testagem de fio têxtil, em conjunto com a câmara que foi utilizada para capturar imagens e vídeo do fio a ser testado. Por fim, será apresentado o desenvolvimento do gerador de eletricidade estática.

3.1. StViewer

A câmara que é utilizada para a obtenção de imagens e vídeos do fio têxtil é da marca OMRON. Sendo assim, é necessário a utilização de um *software* de controlo da SENTECH, “StViewer” (Figura 3.1). Este programa controla a forma como as imagens são capturadas para que, depois possam ser analisadas.



Figura 3.1 - Executável do software StViewer

3.1.1. Utilização de StViewer para captura de imagens

Antes de proceder à captura, é possível alterar uma grande variedade de parâmetro, desde tempo de exposição, controlo de captura, até imagens por segundo capturadas. Todos os parâmetros disponíveis devem ser definidos e guardados através do *software* (Figura 3.2) para que futuras capturas sejam consistentes.

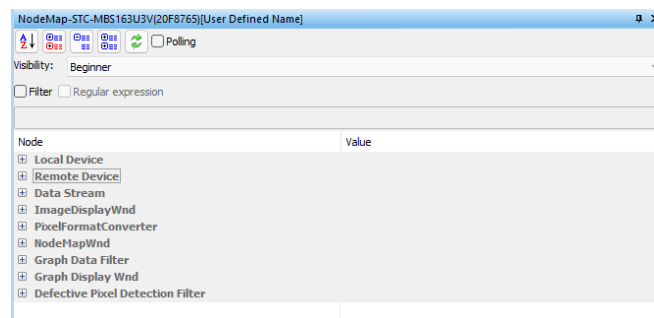


Figura 3.2 - Categorias de parâmetros disponíveis

Os parâmetros de maior importância para o controlo de captura encontram-se na lista “Remote Device” e na sublista “Aquisiton Control” (Figura 3.3).

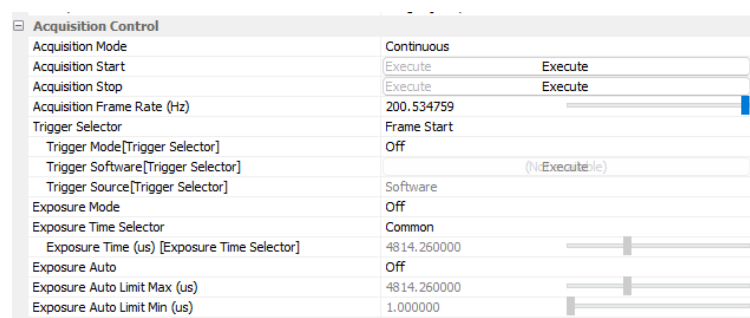


Figura 3.3 - Parâmetros de “Aquisiton Control”

Para a aquisição manual de imagem, deve definir-se o “trigger”, como manual, como demonstrado na Figura 3.4. Para isso altera-se o “Trigger Selector” para “on” e o “Trigger Source” para “Software”. Isso vai fazer com que o botão de “Trigger Software” se torne visível.

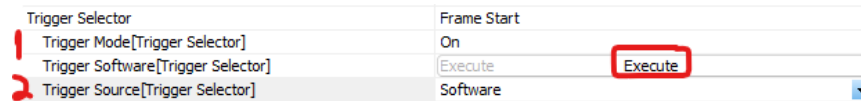


Figura 3.4 - Definição do gatilho manual

Para a aquisição manual de vídeo, o parâmetro de imagens por segundo, também deve ser definido, e pode ser encontrado na mesma sublista, com o nome “Aquisiton Frame Rate (Hz)” como mostra a Figura 3.5.

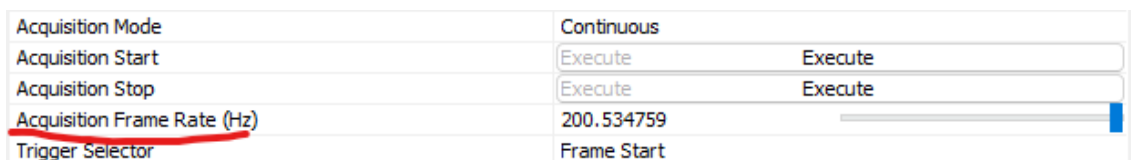


Figura 3.5 - Definição de fps (Frames per second)

Mais parâmetros podem ainda ser alterados, mas no final estes devem ser guardados (Figura 3.6), através da aba de “File → Save Camera Config File”. Pelo mesmo processo se pode carregar uma configuração prévia “File → Load Camera Config File”.

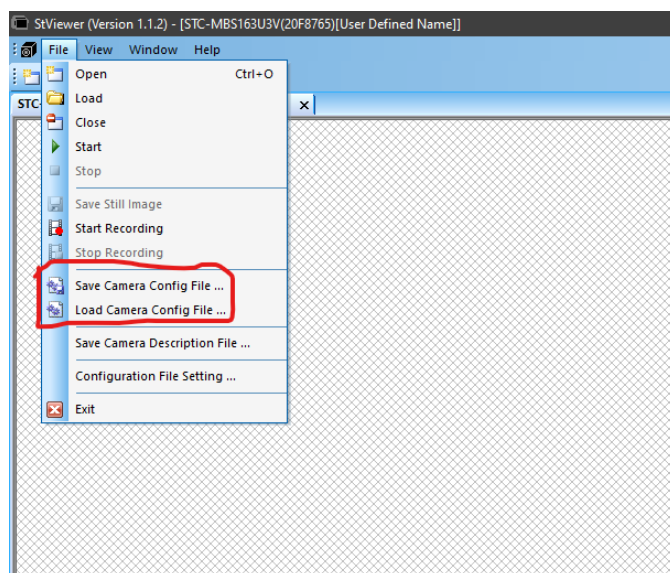


Figura 3.6 - Guardar e abrir configurações da câmara

A partir deste ponto começa o processo de captura em si. Todos os comandos necessários são visíveis no cabeçalho, encontrados na Figura 3.7.

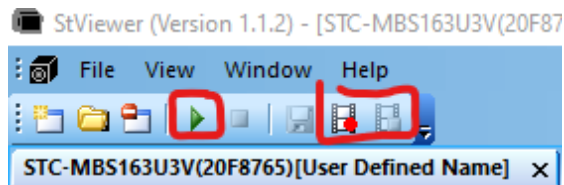


Figura 3.7 - Cabeçalho com comandos de controlo de captura

Para fazer a captura manual de imagens seguem-se as seguintes instruções, ilustradas na Figura 3.8:

1. Premir o botão de “Start”;
2. Premir o botão de “Trigger Software”;
3. Transferir a imagem capturada clicando nela com o lado direito do rato e selecionando a opção “Save → Registered Image”;
4. Guardar a imagem com o nome em forma de número, por exemplo “1”.

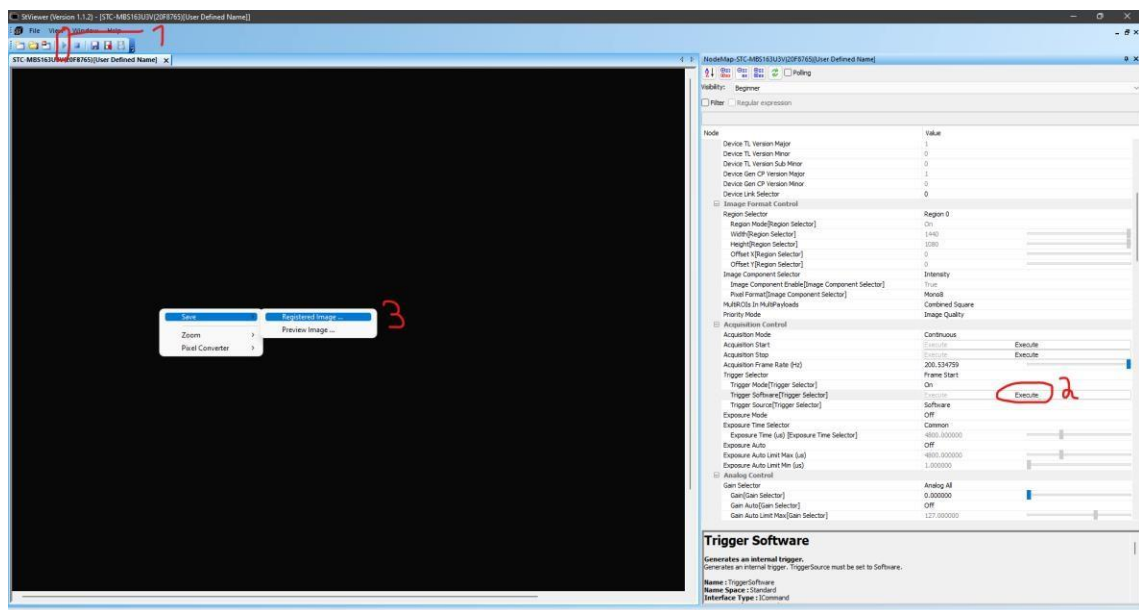


Figura 3.8 - Captura manual de imagens

3.1.2. Utilização de StViewer para captura de vídeos

Para captura de vídeo seguem-se as seguintes instruções:

1. Premir o botão de “Start Recording”;
2. Definir as condições de captura, encontradas na Figura 3.9;

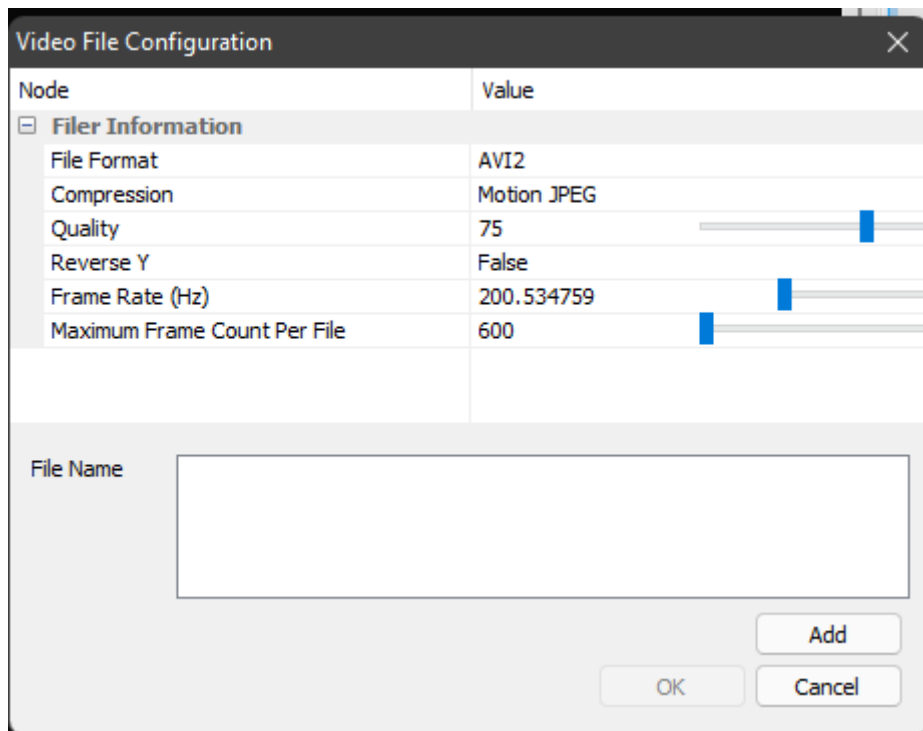


Figura 3.9 - Definições de captura de vídeo

3. Clicar no botão de “Add” e definir o nome como “Teste” seguido por um número, como por exemplo “Teste1”;
4. Definir o número máximo de imagens em “Maximum Frame Count Per File”;
5. Clicar no botão “OK”;
6. A captura de vídeo terminará quando for premido o botão de “Stop Recording” ou, seja atingido o número máximo de imagens.

É importante salientar uma grande limitação do processo de captura de vídeo: enquanto, aparentemente é possível modificar a frequência de captura de imagens ou o “Frame Rate”, este parâmetro apenas afeta a frequência de reprodução das imagens no vídeo capturado e de nenhuma forma afeta a frequência com que a câmara capta as imagens para o vídeo, que está fixa a 200 Hz. Por exemplo se escolhermos captar um vídeo com um “Frame Rate” de 100 Hz, ou seja, 100 imagens por segundo, com um limite máximo de imagens em 5000, por cálculo matemático podemos concluir que o vídeo, se realmente apenas estivesse a captar 100 imagens por segundo, deveria demorar 50 segundos a captar as 5000 imagens. Na realidade o que vai acontecer é que a captação do vídeo vai apenas durar 25 segundos, contudo o vídeo captado terá a duração esperada de 50 segundos. Portanto o que acontece é que as

200 imagens captadas num segundo pela câmara são reproduzidas em 2 segundos de vídeo (no caso de um *“Frame Rate”* escolhido de 100 Hz).

Em termos práticos, esta limitação faz com que seja impossível controlar através deste software a resolução de amostras (a distância entre cada amostra), tendo que então recorrer ao controlo de velocidade de fio.

Para além disso existe um limite no número de imagens máximas por vídeo, ou seja, um limite no número de imagens que a câmara capta por cada vídeo. Este limite é ainda bastante alto, encontrando-se nas 100 000 imagens, que se traduz em 500 segundos, ou 8 minutos e 20 segundos. No entanto, este limite impede que grandes quantidades de fio, na medida dos quilómetros sejam testados de forma precisa, pois para obter um vídeo que captasse amostras de mais de 1 quilometro, seria necessário que o fio se movimentasse a velocidades demasiado altas. Isso impediria que as imagens captadas tivessem a qualidade desejada para análise.

3.2. Visual Studio

Para a criação do programa principal, é necessário um ambiente de programação, e um dos mais completos é o da empresa *“Microsoft”* intitulado *“Microsoft Visual Studio”*. Nele é possível utilizar várias linguagens de programação em conjunto com variadas bibliotecas computacionais, que permitem a adição de funcionalidades às linguagens de programação.

Como este software é produto da *“Microsoft”*, tem grande compatibilidade com outros programas e é constantemente atualizado, mantendo a experiência do utilizador estável e em constante melhoramento. Adicionalmente, existe uma grande quantidade de formatos para criação de programas que facilita imenso o início do projeto.

Contudo, o que é necessário para começar o processo de criação do programa de análise de fio têxtil, é a possibilidade de utilizar processos de processamento de imagem na criação do programa, algo que não é nativo a nenhuma linguagem de programação. Para isso, é necessário recorrer a uma biblioteca computacional. Uma das mais completas nesta área é o *“OpenCV”*.

3.2.1. “OpenCV”

O “OpenCV” é uma biblioteca computacional multiplataforma, utilizada para o desenvolvimento de aplicações na área de visão computacional. A biblioteca possui módulos de processamento de imagem, de estrutura de dados, de álgebra linear e de IGU (Interface gráfica de utilizador). Esta biblioteca foi desenvolvida para muitas línguas de programação, dando-lhe um grande nível de versatilidade.

O “OpenCV” é compatível com o “Microsoft Visual Studio” e pode ser integrado da seguinte forma. O primeiro passo é fazer o “download” de uma versão da biblioteca compatível com o “Visual Studio”, neste caso vai ser utilizado como exemplo a versão 4.20.

Antes de se poder começar a adicionar a biblioteca ao ambiente de programação, é necessário incluir o caminho onde se encontra o “download” nas variáveis do ambiente do sistema operativo (Figura 3.10). Para referência futura o caminho utilizado nesta explicação para os conteúdos da biblioteca é “C:\opencv”.

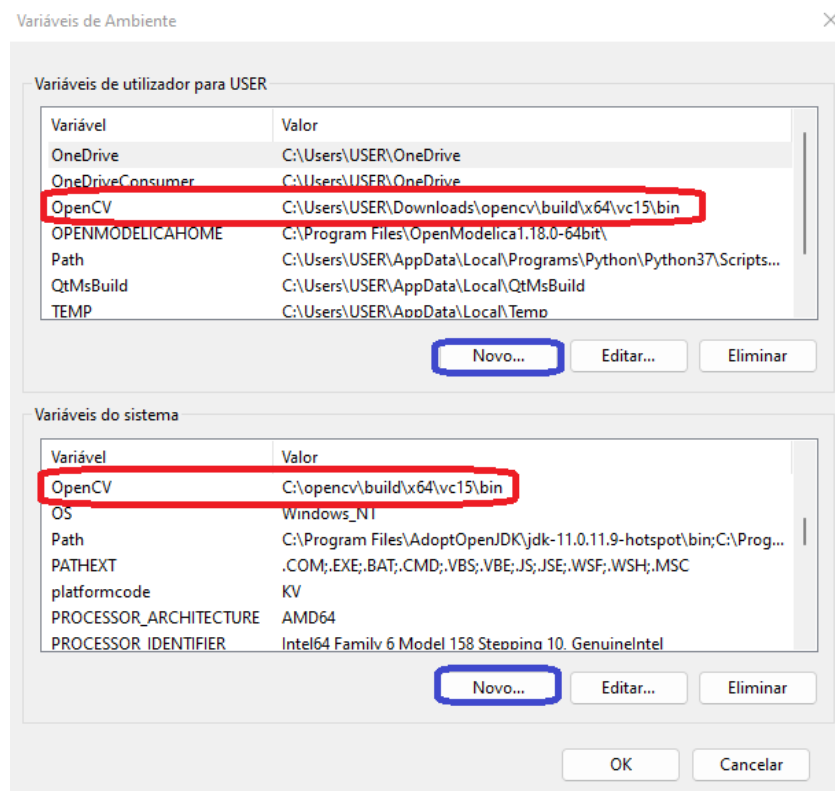


Figura 3.10 - Inclusão da biblioteca nas variáveis do ambiente

Com os ficheiros associados às variáveis de ambiente podemos começar a adicionar as bibliotecas ao projeto dentro do *Visual Studio*. Para isso, começamos por abrir o projeto em

Visual Studio onde se pretende utilizar a biblioteca do *OpenCV* e no cabeçalho defenimos o projeto como um para a plataforma de “*Debug*” e “*x64*” (Figura 3.11). De seguida navegamos para a aba “*Project*” e dentro das opções selecionar a opção “*Properties*” (Figura 3.12).

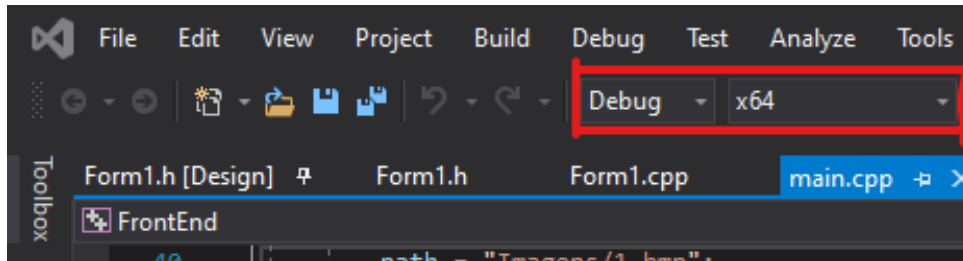


Figura 3.11 - Definir tipo de plataforma

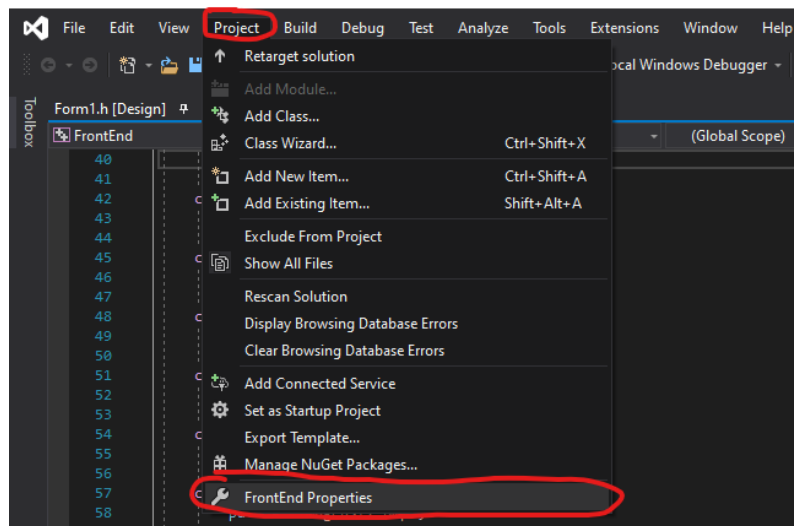


Figura 3.12 - Abertura de propriedades de projeto

Na janela que é aberta, vamos procurar completar três tarefas: a adição dos caminhos da biblioteca *OpenCV* aos diretórios de inclusão, aos de bibliotecas computacionais e aos de dependências adicionais.

Começamos por abrir a aba “*VC++ Directories*”. Nela vamos editar primeiro o campo intitulado “*Include Directories*”, adicionando a localização dos diretórios de inclusão do *OpenCV*, (C:\opencv\build\include).

De seguida, ainda na mesma aba editamos o campo intitulado “*Library Directory*”, adicionando a localização dos diretórios da biblioteca (C:\opencv\build\x64\vc15\lib). No final destes dois passos, a aba “*VC++ Directories*” deve ser semelhante à demonstrada pela Figura 3.13.

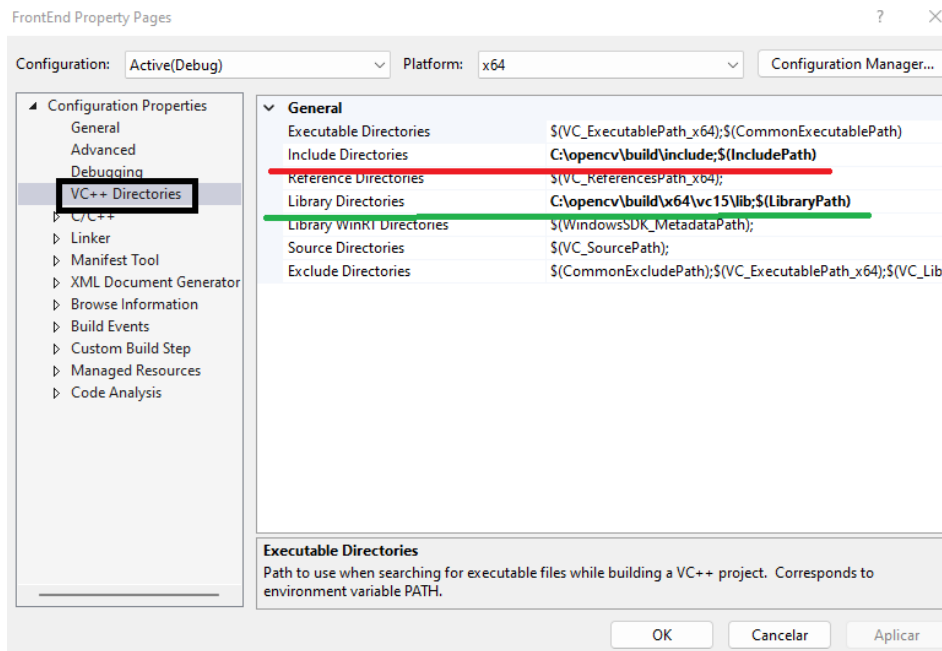


Figura 3.13 - Aba de VC++ Directories

Finalmente, navegamos para a aba “Linker” dentro da qual selecionamos a aba secundária “Input”, editando dentro dela o campo intitulado “Additional Dependencies”. Desta vez adicionamos não o caminho para uma pasta, mas sim o nome de um ficheiro no último caminho adicionado, mais propriamente “opencv_world420.lib”, ficando com a aba semelhante à Figura 3.14. Com esse passo completo basta carregar no botão “Aplicar”. O projeto encontra-se apto para utilização da biblioteca *OpenCV*.

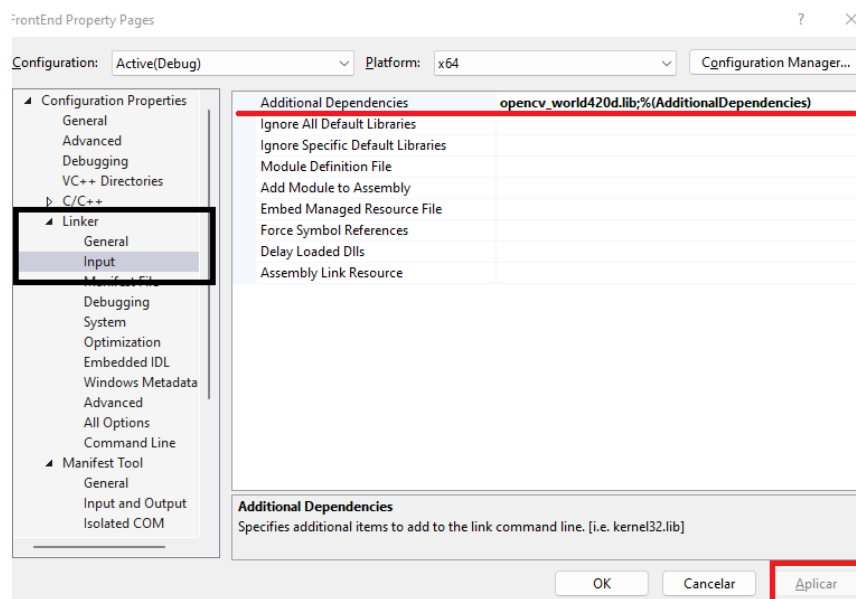


Figura 3.14 - Aba Input de Linker

Existe a possibilidade de após estes passos aparecer um erro na tentativa de utilização da biblioteca do *OpenCV*, indicando a falta do ficheiro “*opencv_world420d.dll*”. Para resolver este problema, deve ser localizado o ficheiro na pasta (C:\opencv\build\x64\vc15\bin) e copiado para a pasta (C:\Windows\System32)

3.3. Sistema de visão artificial

Para fazer a obtenção de imagens e vídeos do fio têxtil para análise, é utilizada uma câmara (Figura 3.15) da fabricante OMRON, da gama de produtos USB3 *Vision*. A Tabela 1 apresenta a lista de especificações do modelo utilizado.

<i>Modelo</i>	<i>STC-MBS163U3V</i>
<i>Interface</i>	USB3 <i>Vision</i>
<i>Tipo de sensor</i>	CMOS
<i>Resolução</i>	1,6 MP (Megapixel)
<i>Resolução (Colunas x Filas)</i>	1440 x 1080
<i>Tamanho de píxel (C x F)</i>	3,45 x 3,45 μm
<i>“Frame rate”</i>	238 FPS (“frames per second”)
<i>Espectro de cor</i>	Escala de cinzento

Tabela 1 - Especificações técnicas da câmara



Figura 3.15 - Sistema de visão

Para além desta câmara, foi também utilizado um conjunto de lentes de ampliação, visíveis na Figura 3.16, com a capacidade de ampliar a imagem original com um fator de 20x (ver Apêndice A – Cálculo matemático do tamanho real da imagem e do fator de ampliação da lente).



Figura 3.16 - Conjunto de lentes com suporte de fio montado

3.4. Máquina de enrolamento e desenrolamento de fio têxtil

O sistema de captura de imagem desenvolvido por este projeto tem o propósito de ser inserido numa máquina de enrolamento e desenrolamento de fio têxtil já concebido (Figura 3.17).



Figura 3.17 - Máquina de enrolamento e desenrolamento de fio têxtil [29]

3.4.1. Processo de enrolamento e desenrolamento de fio

O sistema mecânico (Figura 3.18) que concretiza a função de desenrolar e enrolar a bobine de fio têxtil é composto por vários componentes, que se encontram enumerados na Tabela 2 [30].

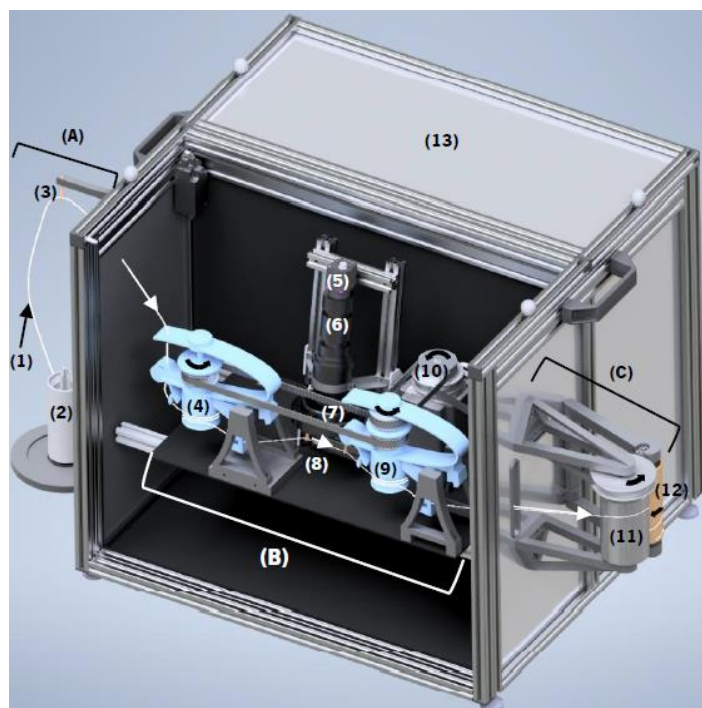


Figura 3.18 - Sistema mecânico [31]

(A) Subsistema de desenrolamento	(6) Lente da câmara
(B) Subsistema de condução	(7) Anel de luz
(C) Subsistema de enrolamento	(8) Guias cerâmicos
(1) Fio têxtil	(9) Alimentador positivo 2
(2) Bobine a desenrolar	(10) Servomotor
(3) Guia cerâmico	(11) Cilindro sulcado
(4) Alimentador positivo 1	(12) Bobine de enrolamento
(5) Câmara	(13) Caixa de circuito elétrico

Tabela 2 - Nomenclatura de componentes de sistema mecânico [31]

O sistema mecânico deste protótipo consiste num subsistema **(A)** que inicialmente puxa o fio, de cima para baixo, da bobine que se encontra montada **(2)** e guia-o para dentro da máquina com o auxílio de guias cerâmicos **(3)**. Após entrar na caixa, o fio é enrolado à volta de um alimentador positivo **(4)**, que em conjunto com outro **(9)** puxa o fio e cria tensão no mesmo de forma a minimizar oscilações durante o seu movimento, proporcionando um ambiente de captura de imagem mais favorável. No espaço entre os dois alimentadores positivos, encontra-se montada a câmara **(5)** em conjunto com dois guias cerâmicos que garantem que o fio passa em frente da lente da mesma para ser feita a captura de imagem. Todo este processo é feito dentro de uma caixa fechada de forma a impedir a entrada de luz natural, garantido assim um controlo total sobre a luminosidade do ambiente de captura de imagem.

Finalmente, após o fio passar pelo segundo alimentador positivo **(9)**, o fio entra na fase de enrolamento **(C)**, sendo conduzido para fora da caixa e para o cilindro sulcado **(11)**, que se encontra alinhado com a bobine de enrolamento **(12)** e enrola o fio à volta dela, controlando a direção e o sentido de enrolamento [31].

3.4.2. Subsistemas e cadeias cinemáticas

Este protótipo é composto por três subsistemas: O de desenrolamento, o de condução e o de enrolamento. Os componentes de maior destaque são os que compõem as cadeias de cinemáticas de cada e eles são o servomotor **(10)**, os dois alimentadores positivos **(4)(9)**, o cilindro sulcado **(11)** e a correia dentada que conecta e transmite potência entre todos os outros. As duas cadeias cinemáticas são (Figura 3.19):

- **(A)** – Servomotor **(10)** → Alimentador positivo 2 **(9)** → Alimentador positivo 1 **(4)**;
- **(B)** – Servomotor **(10)** → Cilindro sulcado **(11)**.

A conexão entre os dois alimentadores positivos serve não só para permitir o controlo de ambos utilizando apenas um servomotor, mas permite também a manutenção de tensão do fio, mantendo o rácio de velocidade de 1 entre ambos os alimentadores positivos [31].

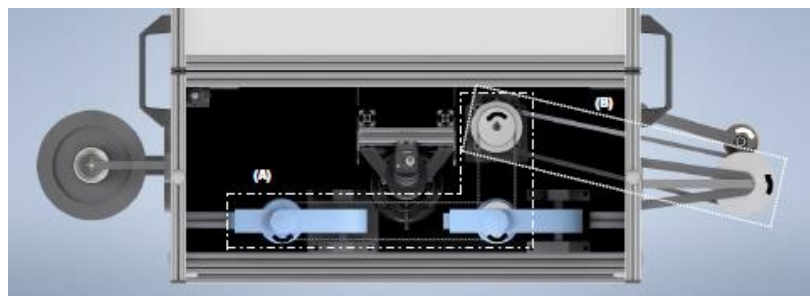


Figura 3.19 - Cadeias cinemáticas [31]

3.5. Gerador electrostático

Um dos objetivos deste projeto é a medição, com elevado nível de precisão, do índice de pilosidade de fios têxteis. No entanto, tentativas iniciais de medição através de metodologias de processamento de imagem apresentavam um problema. Pilosidades que se encontrassem muito perto do núcleo do fio eram difíceis de detectar. Para resolver esse problema seria necessário arranjar um mecanismo que possibilitasse o afastamento e esticamento dessas pilosidades de forma a serem mais facilmente detetáveis. A solução encontrada para

esse problema foi a utilização de eletricidade estática para induzir uma força de atração na pilosidade dos fios.

Um mecanismo que tem como função principal criar eletricidade estática tem o nome de gerador electrostático. O exemplo clássico de um gerador electrostático é a máquina de Wimshurst (Figura 3.20), que utiliza indução electrostática e um par de condensadores para criar tensões altas.

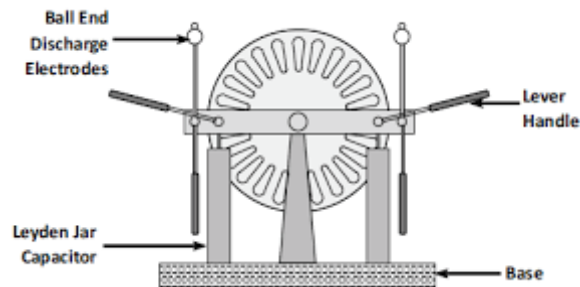


Figura 3.20 - Máquina de Wimshurst

Uma carga electrostática acontece quando existe uma falta ou um excesso de elétrons num material. Esse desequilíbrio de cargas cria um campo elétrico que atrai cargas positivas ou repele cargas negativas. O gerador que se pretende criar, tem como objetivo induzir esse campo elétrico num material. Existem quatro fenómenos de indução de eletricidade estática: Por contacto, por pressão, por calor e por carga [32]. Dois destes foram imediatamente excluídos (por pressão e por carga), pois apenas são aplicáveis a certas matérias como cristais e cerâmicas e trazem requisitos que inviabilizam o projeto.

3.5.1. Efeito triboelétrico

O efeito triboelétrico consiste na transferência de cargas elétricas entre certas matérias através do seu contacto.

Esta transferência acontece quando, um par de materiais que possuem afinidades elétricas compatíveis são friccionados. Afinidade elétrica descreve o fenómeno em que materiais, quando expostos a campos elétricos, tendem a ganhar ou perder elétrons se afetados pelo campo. Por exemplo, o poliéster tem uma afinidade elétrica de -70. Isto significa que têm a possibilidade de acumular cargas negativas, enquanto um material como o Nylon, que tem uma afinidade de +30, acumula cargas positivas (mais corretamente, perde cargas negativas, visto que os elétrons são as cargas que se movimentam).

Quanto mais alto for o valor absoluto da afinidade, mais facilmente é afetado pelo campo elétrico. Por exemplo, enquanto um material com a afinidade de +10 é pouco afetado por um campo, outro com uma afinidade de +100, é mais afetado [33]–[37].

Sendo assim, um par de materiais são considerados compatíveis quando um tem uma afinidade elétrica negativa e o outro, uma positiva, ou seja, quando um dos materiais tende a perder cargas negativas e o outro a acumular.

Em suma, um par de matérias, que sejam compatíveis quando friccionados, vão promover uma transferência de carga elétrica entre eles. Quando eles são separados, vai permanecer um diferencial de carga entre eles, enquanto se mantiver promovida o isolamento da carga do material, estando ambos estaticamente carregados [33]–[37].

3.5.2. Indução electrostática

Indução electrostática trata-se do fenómeno que utiliza um elemento de carga para induzir eletricidade estática num material. Qualquer material é composto por átomos, e esses elementos contêm cargas elétricas móveis (elétrão). Qualquer material contém um certo número de cargas positivas e negativas, e elas podem estar dispostas no material de forma não uniforme, conferindo a uma secção do material uma carga elétrica não neutra [38]–[40].

Esse efeito pode ser induzido utilizando um objeto que esteja eletricamente carregado (indutor) nas proximidades do objeto onde se pretende induzir carga estática (induzido). Ao aproximar o objeto com carga (por exemplo positivamente), o campo elétrico criado por ele vai afetar os elétrões no induzido fazendo com que as cargas opostas sejam atraídas para a sua superfície, criando um desequilíbrio local de cargas elétricas (Figura 3.21).

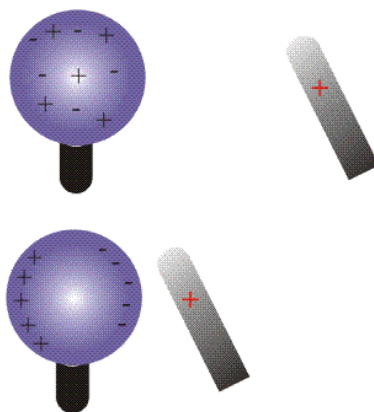


Figura 3.21 - Exemplo de interação entre indutor e induzido [41]

Quando o objeto induzido estabelece uma ligação com a terra (fonte infinita de elétrons), o desequilíbrio local vai ser balanceado com a transferência de carga com a terra (Figura 3.22).

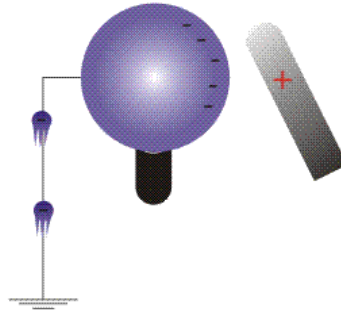


Figura 3.22 - Ligação do indutor ao "ground" [41]

A ligação pode depois ser removida e o objeto indutor afastado do induzido, deixando o objeto com um excesso de carga (negativa no caso do exemplo) e assim carregado com eletricidade estática (Figura 3.23).

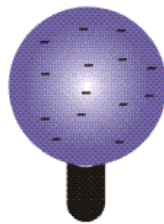


Figura 3.23 - Objeto induzido carregado com eletricidade estática [41]

3.5.3. Gerador de iões negativos

A primeira opção que foi considerada para a geração de eletricidade estática foi a adaptação de um componente chamado gerador de iões negativos (GIN). Este aparelho é muito utilizado em aplicações que envolvem filtragem de ar. O seu propósito é a criação de um campo elétrico negativo forte o suficiente para causar a ionização do ar, separando-o de partículas nele suspensas (Figura 3.24).

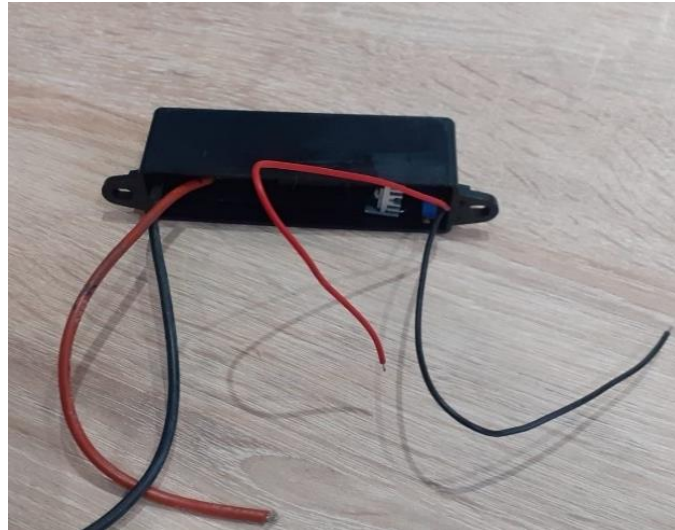


Figura 3.24 - Gerador de iões negativos

O GIN funciona através do acúmulo de potencial elétrico num dos seus terminais, o qual tem o sinal negativo e por isso cria um campo elétrico que vai transferir eletrões para o seu ambiente (como o ar no exemplo de filtração do ar). O acúmulo de potencial é conseguido utilizando um circuito de multiplicação de potência, tendo capacidade de transformar uma tensão nominal 12 Volts até 20 kilovolts. Essa transformação é conseguida a potência constante. Em contrapartida, para haver um incremento no potencial elétrico, existe uma necessária redução da corrente elétrica (Equação 14).

$$P = V \times I$$

Equação 14 - Potência elétrica

- Onde P – Potência elétrica em Watts (W); V – Potencial elétrico em Volts (V) e I – Intensidade de corrente em Ampere (A)

O valor final de 20 kV (necessários para ionizar o ar) de GIN comerciais impedem a sua adaptação no protótipo de análise de fio têxtil, pois uma tensão elétrica tão alta dentro do

protótipo iria resultar num arco elétrico entre o GIN e outros componentes metálicos. Contudo, foi possível montar um circuito elétrico de complexidade relativamente baixa (Figura 3.25), que consegue executar a multiplicação e acumulação de potencial elétrico, mas com um valor de saída mais baixo.



Figura 3.25 - Circuito de multiplicação de potencial elétrico

Este circuito é constituído essencialmente por dois tipos de componentes elétricos: condensadores e díodos. De forma simplificada, díodos tem a função de permitir que a corrente que por eles passa apenas o faça num sentido, e condensadores tem como função a acumulação de potencial elétrico quando alimentados num dos seus terminais e a descarga desse mesmo potencial quando alimentado no outro. Quando alimentados por uma fonte de corrente alternada (230 V no exemplo seguinte) e orientados como mostra a Figura 3.26, o potencial elétrico no final do circuito é 2 vezes maior do que no início³ (consequentemente a intensidade da corrente é 2 vezes menor).

³ É importante realçar que num circuito real, vão existir perdas de potência elétrica, como por exemplo, pela resistência do próprio fio, através do efeito de *Jule*, e por essa razão a subida de potencial elétrico não será um pouco menor que 2x

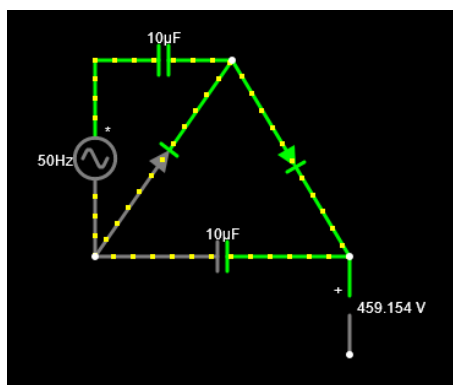


Figura 3.26 - Exemplo de circuito de multiplicação de tensão elétrica

Este exemplo mostra apenas a configuração de 2 pares de condensadores e díodos. No entanto, a adição de mais pares resulta num potencial elétrico final mais alto. O protótipo construído para a geração de eletricidade estática (Figura 3.25), tem 6 pares de condensadores/díodos, possibilitando a transformação de uma corrente alternada de 230 V numa corrente contínua de -1,37 kV (Figura 3.27).

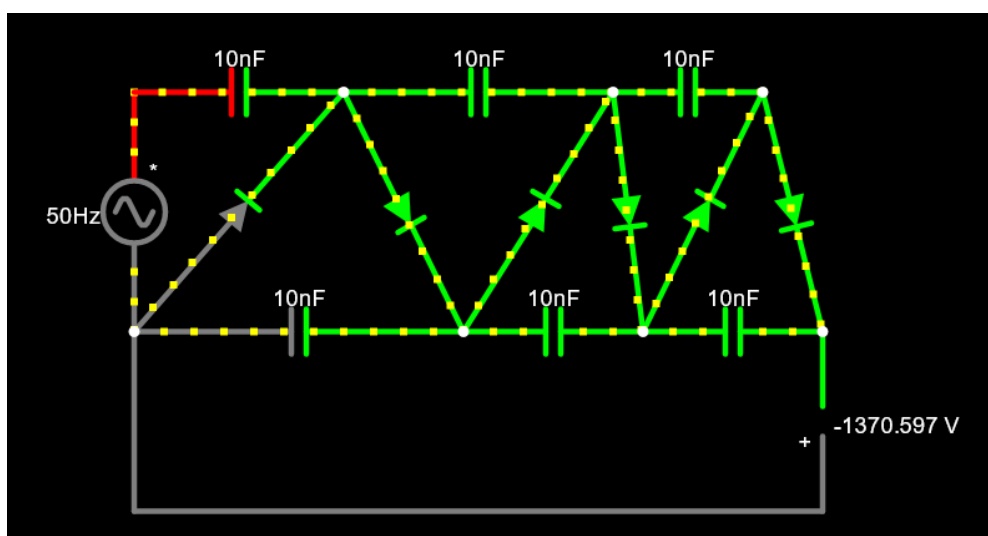


Figura 3.27 - Simulação de circuito para gerador de eletricidade estática

Com este circuito completo, é possível então a criação de um campo elétrico dentro do protótipo capaz de afetar as pilosidades do fio têxtil.

3.5.4. Conclusão do gerador eletrostático

O objetivo principal deste mecanismo era facilitar a deteção das pilosidades do fio, separando-as do núcleo e esticando-as. Com isso os parâmetros de pilosidades poderiam ser obtidos com um maior grau de precisão. No entanto com o avanço deste projeto chegou-se à conclusão de que a sua implementação seria contraproducente. Primeiro, resultados iniciais

de análises de fio sem a sua implementação já apresentavam um elevado grau de precisão (quando comparados com os resultados obtidos em máquina *USTER Tester*) nos parâmetros de pilosidade. Em segundo lugar, um dos defeitos que se procurava detectar com a análise são as fibras soltas do núcleo. A implementação do gerador iria interferir nessa deteção, pois ao esticar as pilosidades, estas soltam-se do núcleo, criando assim um maior número de defeitos detetados.

4. Programação

Ao longo deste capítulo, vamos procurar descrever todas as funcionalidades do programa criado enumerando os passos necessários para efetuar uma análise de fio têxtil, desde a introdução e explicação dos dados de entrada, até aos cuidados a ter de forma a garantir um resultado preciso. De seguida são descritos todos os dados possíveis de determinar utilizando a análise do fio. À medida que os dados são apresentados, é exposta a metodologia utilizada para chegar aos parâmetros em questão. Por último, apresentam-se alguns exemplos de testes efetuados no programa.

4.1. Interface

A interface do programa (Figura 4.1) consiste apenas numa pequena janela, que pode ser dividida em duas secções como mostra a figura seguinte.

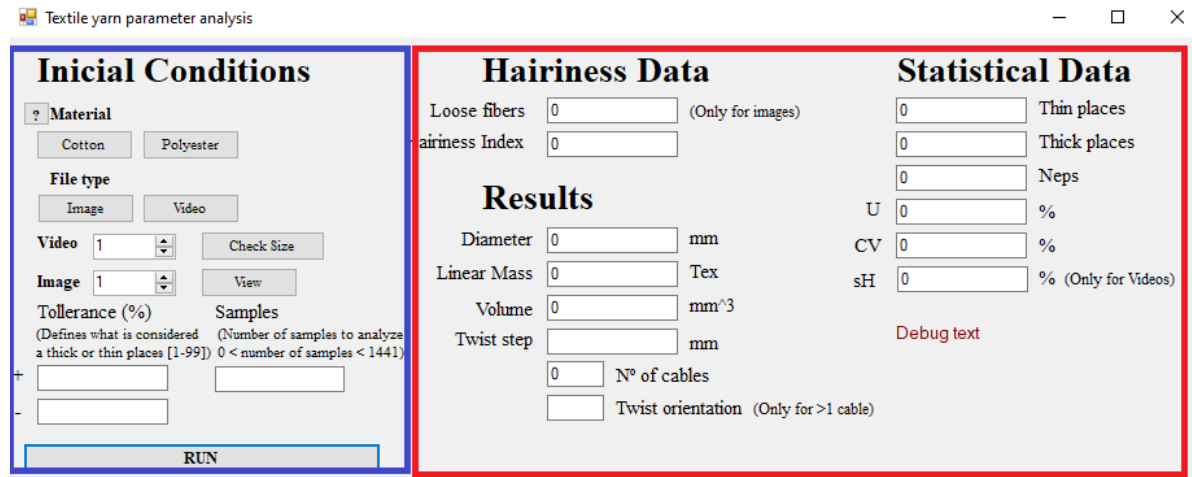


Figura 4.1 - Interface de utilizador

Do lado esquerdo, encontram-se todos os parâmetros de entrada do programa, neste caso, as condições iniciais necessárias para que qualquer teste de fio possa ser efetuado e que passamos a descrever:

- **“Material”** – O primeiro parâmetro a definir é o material do fio têxtil colocado a teste. É possível escolher entre o fio de algodão e o fio de poliéster. Este parâmetro vai afetar o valor de variáveis internas no cálculo de alguns parâmetros do fio, mais especificamente, o valor da densidade do material e da porosidade. Caso exista incerteza acerca do tipo de material que compõe o fio, como pode ser visto na imagem, existe um pequeno botão “?” de ajuda, que quando é premido, altera o “Debug Text” encontrado no canto inferior direito, para informação acerca do tipo de material que compõe cada um dos fios previstos para teste;
- **“File type” (Tipo de ficheiro)** – O segundo parâmetro permite ao utilizador seleccionar sobre que tipo de ficheiro pretende efetuar o teste. Entre um ficheiro de vídeo ou um ficheiro de imagem. Este parâmetro de entrada vai afetar o tipo de função que vai ser chamada na altura do teste, visto que a metodologia de análise do ficheiro é necessariamente diferente, dependendo se esse ficheiro é uma imagem ou um vídeo, (que na realidade é composto de centenas de imagens);

- Seleção de ficheiro – O terceiro parâmetro a selecionar é, como o nome indica, a seleção de um dos ficheiros presentes para efetuar o teste. Como é possível ver na imagem, ao lado de ambas as caixas de seleção para vídeos e imagens, existem botões que auxiliam o utilizador. No caso da seleção de imagens, o botão “View” permite ao utilizador visualizar a imagem selecionada, antes de proceder ao teste. No caso do vídeo, o botão “Check Size” altera o “Debug Text” para que disponibilize, ao utilizador, o número de “frames”, ou imagens, que compõe o vídeo selecionado.
- “Tolerance (%)” (Tolerância) – O próximo parâmetro de entrada está diretamente ligado a um dos parâmetros de saída dimensionais. A tolerância neste caso, refere-se à tolerância dimensional, ou seja, vai definir o ponto a partir do qual uma secção do fio é determinada como uma secção grossa ou fina. Por exemplo, uma seleção de tolerância de 10%, vai fazer com que amostras que apresentem uma diferença acima ou abaixo de 10% do valor médio, sejam consideradas zonas grossas ou finas respetivamente. Por motivos práticos a seleção da tolerância na zona grossa e fina encontra-se separada, com o objetivo de dar ao utilizador maior nível de controlo nos parâmetros do teste;
- “Samples” (Nº de amostras) – O último parâmetro vai definir o número total de amostras que o programa vai recolher da imagem/vídeo a analisar. Este parâmetro tem algumas condições a ter em conta pelo utilizador antes de o definir. Inicialmente no caso dos vídeos, como se trata de um conjunto de imagens, o número de amostras não pode exceder o número de “frames” ou de imagens que o vídeo contém. Por esse motivo existe o botão “Check Size” anteriormente mencionado, que dá informação ao utilizador sobre esse número para cada vídeo. Outra condição a ter em conta é que este parâmetro está diretamente relacionado com a resolução da análise. Ou seja, se queremos uma resolução semelhante à máquina da USTER, que retira uma amostra a cada 3 milímetro de fio, precisamos de escolher um nº de amostras que considere ao mesmo tempo o comprimento de fio a ser analisado e a velocidade do fio no vídeo. Caso um número não seja especificado neste campo, no caso da análise de vídeo, será assumido o nº de “frames” do vídeo como o valor de nº de amostras.

Do lado direito da interface, encontramos todos os parâmetros de saída, mais concretamente, todos os dados que procuramos obter com o teste do fio. Estes resultados podem ser divididos em três categorias. A primeira é formada por todos os parâmetros base do fio:

- *“Diameter”* (Diâmetro do fio);
- *“Linear mass”* (Massa linear);
- *“Volume”*;
- *“Twist step”* (Passo de enrolamento);
- *“Nº of cables”* (Nº de cordas);
- *“Twist orientation”* (Sentido de enrolamento).

A segunda categoria engloba os dados mais específicos da pilosidade:

- *“Hairiness index”* (Índice de pilosidade);
- *“Loose fibers”* (Nº de fibras soltas): este parâmetro apenas é calculado na análise de imagens, visto que, no caso do vídeo, graças ao movimento do fio, o cálculo deste parâmetro torna-se inconsistente.

A terceira categoria contém, todos os parâmetros estatísticos:

- *“Thin places”* (Pontos finos);
- *“Thick places”* (Pontos grossos);
- *“Neps”* (Borbotos);
- Desvio médio de massa (U%);
- Coeficiente de variação de massa (CV%);
- Desvio padrão da pilosidade (sH%) (apenas calculado para vídeos, pois os números de dados de pilosidade de uma só imagem não são suficientes para ter um resultado exato).

4.2. Metodologia de análise

Depois de expor todos os parâmetros, tanto de saída como de entrada do programa, apresentaremos a metodologia que permite chegar aos resultados desejados, utilizando ferramentas de processamento de imagem aliadas a técnicas de programação. Como foi mencionado, as metodologias de análise de imagem e de vídeo são naturalmente diferentes, pois a primeira apenas lida com a análise de uma imagem, ao contrário de uma grande quantidade de imagens, no caso da segunda. Não obstante, a metodologia de análise de uma imagem singular, tanto no caso do vídeo ou da imagem, é muito semelhante. A grande diferença prende-se com o facto de, no caso de análise de vídeo, os processos terem de ser repetidos para cada imagem que compõe o vídeo e os resultados serem agregados no final. Consequentemente, descrevemos apenas por completo a metodologia da análise de imagem, mencionando periodicamente a metodologia de análise de vídeo, quando esta for suficientemente distinta.

Os algoritmos criados com esta metodologia encontram-se explicados minuciosamente no: Apêndice B – Discretização do código.

Devido à diversidade de resultados que se pretende obter com apenas uma imagem, não existe uma linha única de processos que leve a todos os dados. É necessária uma abordagem multifacetada aos processos de processamento de imagem para obtermos 3 tipos de imagens diferentes a partir das quais é possível retirar todos os dados:

- Imagem com o núcleo do fio isolado;
- Imagem com as pilosidades isoladas;
- Imagem com as partículas de enrolamento isoladas.

O fluxograma seguinte (Figura 4.2) demonstra a abordagem multifacetada utilizada para alcançar cada um dos 3 tipos de imagem.

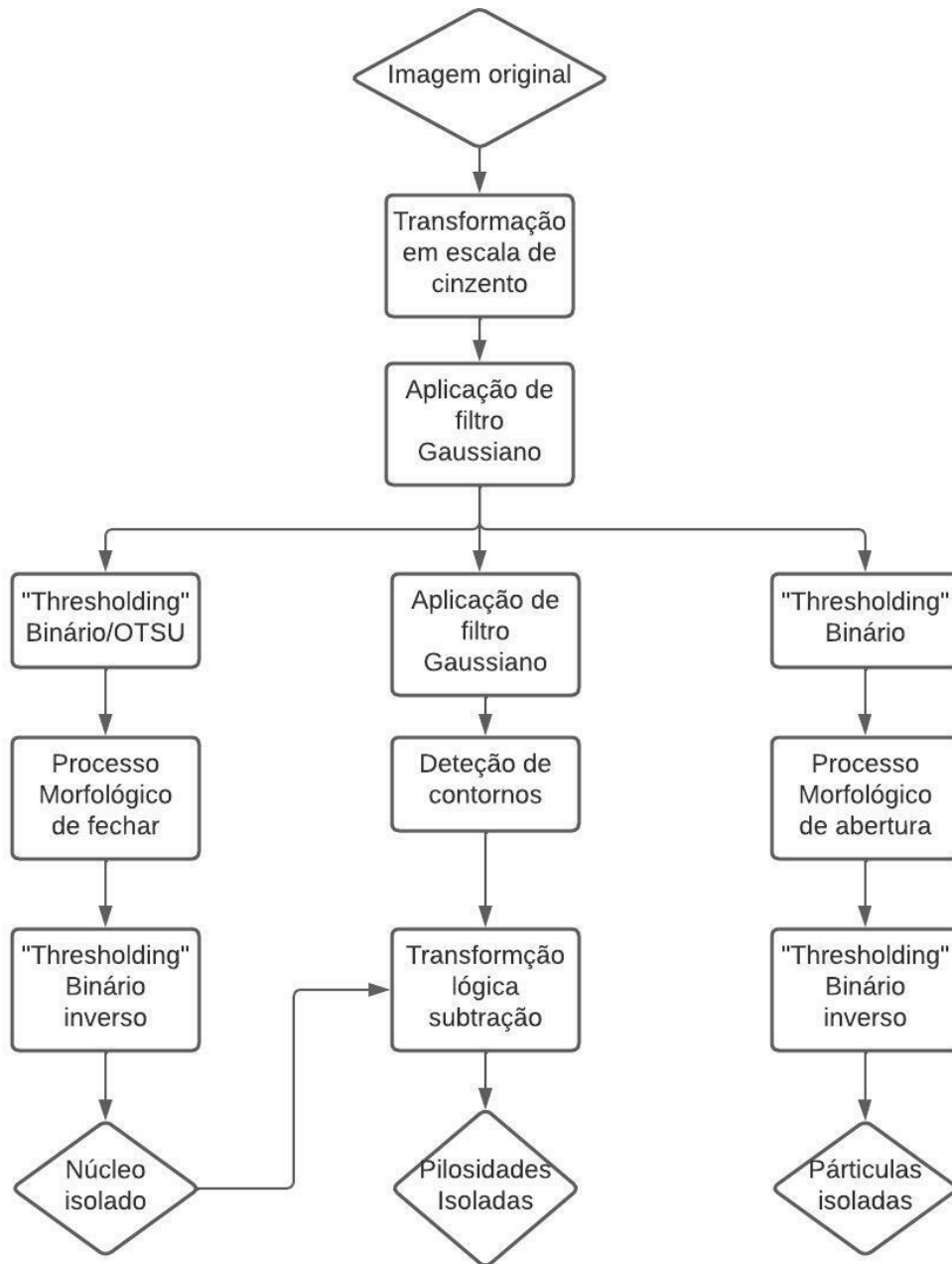


Figura 4.2 - Fluxograma da metodologia de análise

4.3. Ramo comum

Como podemos observar no fluxograma, existe um primeiro passo que é comum para todos os ramos desta metodologia, que é o de transformação da imagem em escala de cinzento. Este passo é necessário mesmo no caso do uso da câmara utilizada que apenas captura imagem em escala de cinzento, devido ao formato em que o *software* nativo da câmara

guarda as imagens. Quando são posteriormente abertas pelo *software* “*Visual Studio*”, existe uma conversão imperfeita do valor dos pixels, que obriga a que a transformação em escala de cinzenta seja necessária. Esta alteração não é observável a olho nu, no entanto, provou-se necessária em todas as transformações futuras. A imagem que se segue (Figura 4.3) é exemplo do ponto de partida para cada um dos ramos da metodologia adotada.

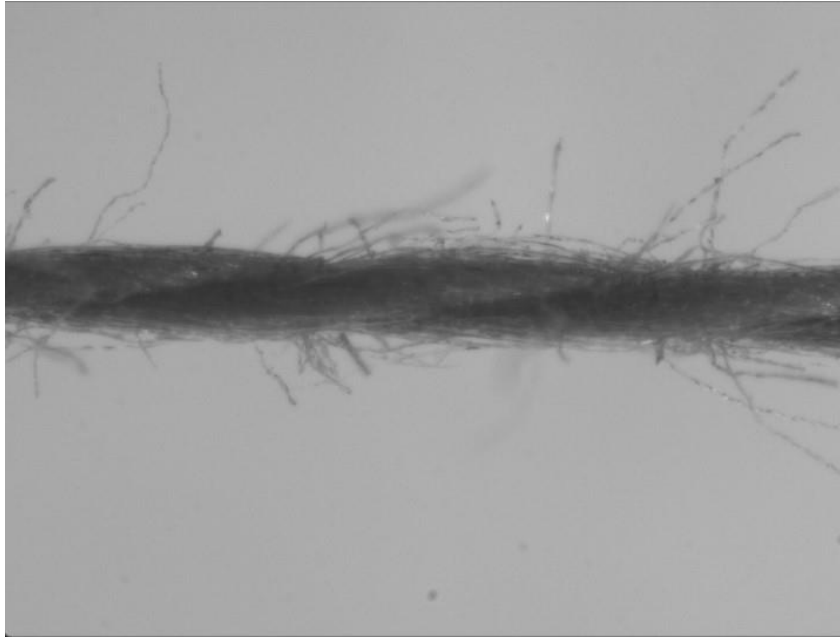


Figura 4.3 - Imagem em escala de cinzento

Este é o ponto de partida para cada uma das diferentes abordagens no cálculo de parâmetros do fio têxtil, sendo observável na imagem original com os valores de pixel corrigidos. No passo seguinte é aplicado um filtro Gaussiano à imagem anterior (Figura 4.4). Esse filtro cria um efeito de desfocagem na imagem e a sua aplicação tem como objetivo a remoção de ruído. Esta abordagem vai permitir que as transformações de imagem que se seguem tenham maior sucesso em isolar ou eliminar detalhes da imagem desejados.

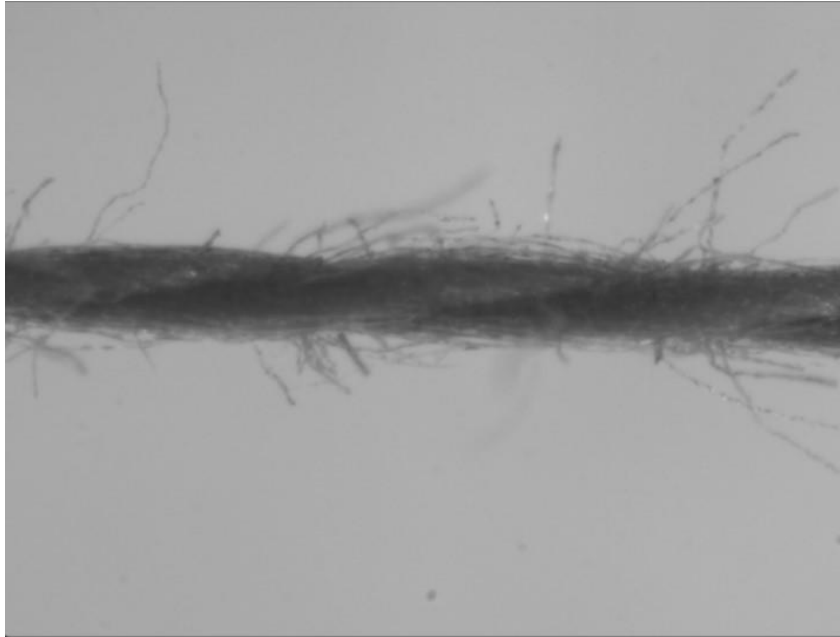


Figura 4.4 - Imagem com filtro Gaussiano

O primeiro objetivo que se pretende alcançar a partir deste ponto, é o isolamento do núcleo do fio, que vai permitir depois, o cálculo de grande parte das suas características de base. Para tal precisamos de remover da imagem tanto o seu fundo, como as pilosidades. Com essa finalidade utilizamos uma operação de *“Thresholding”*. Como é observável na imagem anterior, os pixels que contêm o núcleo do fio têm uma cor na escala de cinzento mais escuro. Com esse objetivo, se pretendemos isolar o núcleo, devemos separar os valores de pixels mais altos dos mais baixos. Por essa razão utilizamos um *“Thresholding”* binário, em que, caso saibamos o valor médio dos pixels do fundo da imagem, possamos utilizar esse valor como o valor de *“threshold”*. No entanto, essa abordagem, ainda traria alguma imprecisão ao processo. Principalmente no caso da análise do vídeo onde este processo será repetido centenas de vezes.

Consequentemente, ao contrário de se ter procurado definir globalmente o valor de *“threshold”* deste processo, utilizou-se o Método de OTSU para determinar em cada caso o valor ótimo de *“threshold”*.

4.4. Isolamento do núcleo

Com a imagem final do ramo comum (Figura 4.4) é possível iniciar o ramo de isolamento do núcleo do fio. O primeiro passo é a aplicação de um processo de "Threshold" binário. A esse processo é aliado a metodologia de OTSU descrita anteriormente. O resultado pode ser evidenciado na imagem seguinte (Figura 4.5).

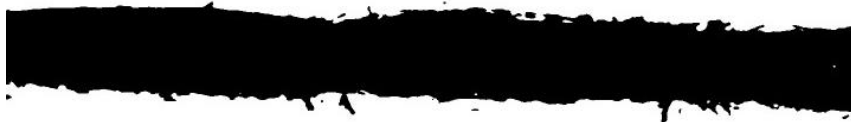


Figura 4.5 - Imagem após processo de "Threshold" binário

Este procedimento permite começar a ver que núcleo do fio já se encontra evidenciado e separado de todos os restantes detalhes da imagem inicial. Contudo, como se pode verificar, ainda existem algumas evidências de detalhes para além do núcleo, principalmente os pontos de partida de pilosidades do fio.

Por essa razão, é necessário eliminar essas evidências. Nesse sentido aplica-se um processo morfológico de fechar. Esse processo vai alisar as extremidades do fio, e em certos casos, onde ainda se pode ver vestígios de pilosidades do fio, limpa qualquer outro vestígio de fio fora do núcleo. A imagem seguinte (Figura 4.6) mostra um exemplo do resultado.



Figura 4.6 - Imagem após processo de fechar

Nesta imagem já se pode dar como concluído o isolamento do núcleo. Assim sendo, é possível calcular todos os parâmetros e características desejadas. No entanto, para operações futuras, bem como para consistência visual e de cálculo, é conveniente um último pro-

cesso de “*Thresholding*” inverso. Este processo tem apenas o objetivo de inverter as cores e consequentemente o valor dos pixels. O resultado dessa transformação é exemplificado pela Figura 4.7.



Figura 4.7 - Imagem de núcleo isolado

Com o núcleo completamente isolado, podemos começar a retirar parâmetros do fio. O primeiro, e mais evidente, é o diâmetro do fio que pode ser feito através da contagem de pixels brancos numa coluna da imagem, (Ver Figura 4.8). Este processo é repetido para todas as colunas de forma que no final seja obtido o valor médio, evitando que este seja influenciado pela presença de zonas grossas ou finas.

	Colunas									
Filas										

Figura 4.8 - Denominação de colunas e filas

No caso da análise de vídeo existe uma diferenciação importante a destacar. Para cada imagem, apenas se faz a medição do diâmetro numa só coluna da imagem. Isto é feito de forma a reduzir a redundância da medição, ou seja, evitando a medição da mesma secção várias vezes. Além disso poupa tempo de análise e poder computacional.

O diâmetro medido desta forma, vem na unidade de medição pixel, o que por si não é útil, a não ser que seja convertido para uma unidade real, neste caso o milímetro. Para fazer a conversão de pixel para milímetro foi feita a medição do comprimento real do fio na imagem. (Ver Apêndice A – Cálculo matemático do tamanho real da imagem e do fator de am-

pliação da lente). Tendo o tamanho real da imagem, é possível converter uma medição de pixels para milímetro, seguindo a Equação 15:

$$d_{mm} = d_p \times \frac{h}{1440}$$

Equação 15 - Conversão do diâmetro de pixel para milímetro

- Onde d_{mm} e d_p correspondem aos diâmetros em milímetros e em pixels respectivamente;
- h corresponde à altura real da imagem e 1440 corresponde ao número de pixels presentes por coluna.

Este processo pode ser repetido para a determinação de secções grossas ou finas do fio e para a detecção de *neps*. O que se consegue, inicialmente, pela divisão do número total de amostras de diâmetro pelo número de divisões desejadas, ou seja, a totalidade do fio analisado é dividido no número de secções definidas pelo utilizador. De seguida é calculado o valor médio do diâmetro para cada uma das secções e esse valor é comparado ao valor do diâmetro médio total. O valor da tolerância é utilizado para marcar o ponto de referência, a partir do qual, uma secção é considerada grossa ou fina. Por outro lado, para o cálculo de *neps*, o valor da tolerância dimensional é constante e corresponde a 200%, ou seja, secções que tenham um valor de diâmetro acima do dobro do valor médio é considerado um *nep*.

Um maior número de divisões vai levar a uma maior resolução na detecção de defeitos dimensionais do fio. Todos os testes procuraram ter uma resolução mínima de uma amostra por cada 3 milímetro de fio, que é a utilizada nas máquinas da USTER.

O segundo e terceiro parâmetros a calcular são respetivamente, a massa linear (Equação 1) e o volume do fio (Equação 2). Recuperando as respetivas equações podemos verificar que, o cálculo da massa linear e volume, como o comprimento do fio por amostra, a porosidade e densidade do material são parâmetros constantes de entrada, a incógnita será apenas o diâmetro.

Finalmente, com todos os parâmetros base do fio calculados, é possível avançar para os resultados estatísticos correspondentes à massa, nomeadamente o desvio médio de massa e o coeficiente de variação de massa (Equação 4)(Equação 5).

4.5. Isolamento das pilosidades

Para começar o processo de isolamento de pilosidades, retorna-se ao final do ramo comum, nomeadamente à imagem tratada com o filtro Gaussiano (Figura 4.4). A essa imagem é inicialmente aplicado um novo filtro Gaussiano. Pois, o processo de deteção de contornos que se segue é especialmente sensível a ruído da imagem, e para detectar da melhor forma a silhueta total das pilosidades, é necessário remover o máximo ruído possível.

Este processo não faz parte do ramo comum pois, em testes, foi observado que um filtro Gaussiano mais pesado comprometeria outros resultados, nomeadamente na deteção de partículas (Figura 4.6) e no isolamento do núcleo.

Após a obtenção de uma imagem de ruído reduzido é aplicado o algoritmo *Canny* (ver pág. 32) de forma a executar um processo de deteção de contornos. A imagem resultante vai ser apenas uma silhueta, como pode ser visto na Figura 4.9, do fio.



Figura 4.9 - Contornos isolados do fio

Como se pode observar, tanto a silhueta do fio como a das suas pilosidades se encontram demarcadas. O objetivo a partir daqui, é remover os pixels brancos desta imagem que correspondem ao núcleo do fio, de forma a isolar totalmente as suas pilosidades.

Com essa finalidade vamos procurar encontrar uma imagem que contenha apenas pixels do núcleo, para fazer uma operação de subtração a esta imagem.

Por acaso, é possível utilizar uma das imagens previamente obtidas para este propósito. Visto que o primeiro ramo desta metodologia procurou isolar o núcleo do fio, é possível utilizar a sua imagem final (Figura 4.7) com este propósito. No entanto, essa imagem não pode por si só ser utilizada para o processo de subtração, pois a operação de subtração de imagens subtrai o valor de cada par de pixels. Enquanto, no caso de subtrair 2 pixels brancos (ambos com o valor de 255) ou 2 pixels pretos (ambos com valor de 0) o resultado seria um valor positivo, a subtração de um pixel branco a um preto ($0 - 255$) resultaria num valor negativo.

Por essa razão, vamos primeiro procurar obter apenas os pixels que existem em comum entre a imagem do núcleo isolado e a dos contornos do fio. Utilizamos uma operação lógica de “And”, que apenas mantém o valor dos pixels que tem o mesmo valor em ambas as imagens, dando aos restantes o valor de 0, que neste caso representa o pixel preto. Um exemplo do resultado dessa operação pode ser visto na Figura 4.10.

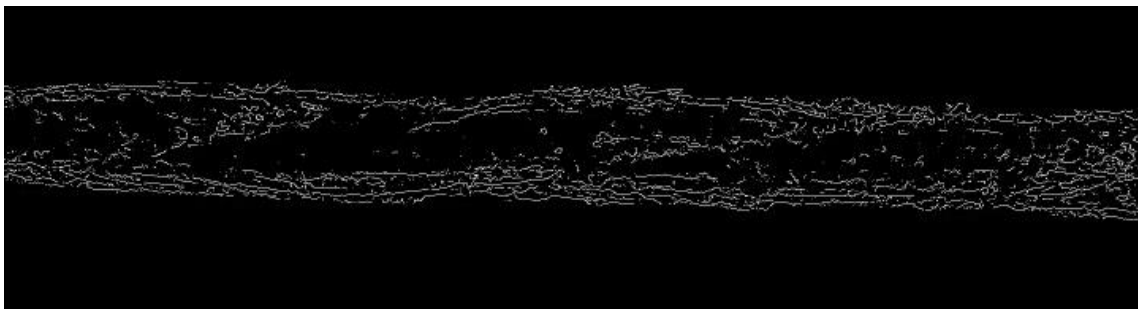


Figura 4.10 - Contornos do núcleo isolado

Como se pode observar, a imagem resultante da operação lógica (Figura 4.10), isola os pixels de contorno do núcleo do fio. Com ela, podemos efetuar a operação de subtração entre esta e a de contornos do fio (Figura 4.9). A imagem resultante terá as pilosidades isoladas (Figura 4.11).

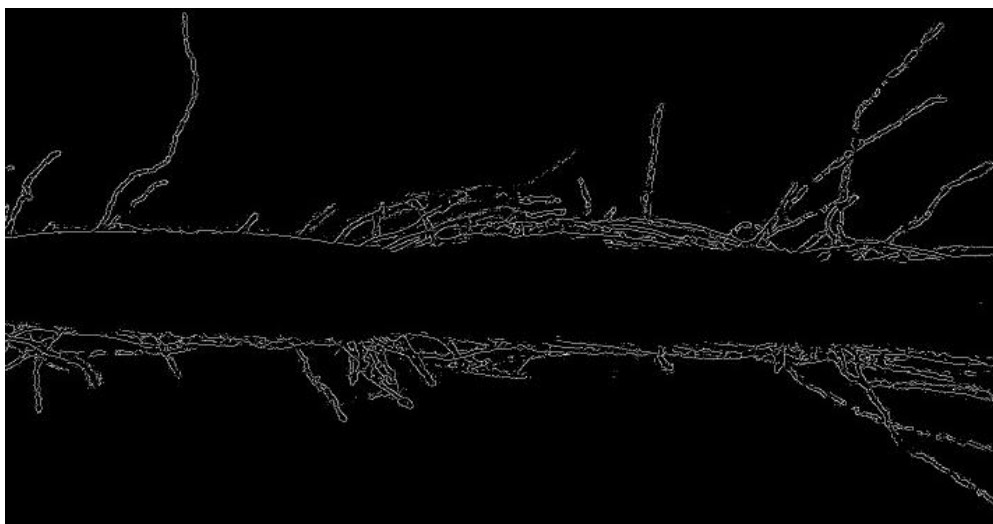


Figura 4.11 - Contornos da pilosidade isolada

Com as pilosidades isoladas, podemos retirar parâmetros da pilosidade. Começando pelo índice de pilosidade.

Para determinar o índice de pilosidade (Equação 3) precisamos de conhecer 2 parâmetros da imagem: o comprimento do fio na imagem e o comprimento das pilosidades. O comprimento do fio já foi anteriormente calculado. O comprimento das pilosidades pode ser estimado através da contagem de pixels brancos na imagem e utilizando a conversão de pixel para milímetro já estabelecida. No entanto, é importante notar que as imagens obtidas não contêm pixels exclusivos das pilosidades do fio, pois existem ainda os contornos externos do núcleo do fio. Para obter o valor real do comprimento das pilosidades na imagem basta, subtrair ao valor obtido pela contagem de pixels duas vezes o valor do comprimento do fio, de forma a eliminar o comprimento medido pelos pixels do contorno do núcleo.

O segundo parâmetro que podemos calcular é o número de fibras soltas do núcleo, ou seja, o número de pilosidades soltas do núcleo. Para calcular esse parâmetro é contado o número de pixels brancos existentes numa fila da imagem que se encontra a uma determinada distância do núcleo do fio. Essa contagem é feita tanto para cima do fio como para baixo.

Para podermos fazer essa operação primeiro precisamos de identificar os limites superiores e inferiores do núcleo do fio. Recorrendo à Figura 4.7, que mostra o núcleo isolado, podemos ir coluna a coluna e verificar onde é que o núcleo começa e acaba. Com essa informação é possível determinar a fila que, mais aproximadamente contém o meio do núcleo.

Esse dado permite a contagem do número de fibras soltas situadas a uma certa distância, tanto para cima como abaixo do núcleo. É importante referir que, como a imagem tratada contém os contornos das pilosidades, a contagem de 2 pixels equivale à existência apenas uma ponta solta⁴.

4.6. Isolamento de partículas

O terceiro ramo desta metodologia de tratamento de imagem tem como objetivo isolar as partículas das cordas do fio, de forma a poder obter parâmetros relativos ao enrolamento do fio.

Recorrendo de novo Figura 4.4 da imagem original tratada com um filtro Gaussiano, é aplicada uma operação de “*Thresholding*” binário. Ao contrário da operação feita no primeiro ramo desta metodologia, o método de OTSU não será aplicado, pois pretendemos encontrar manualmente o valor de “*threshold*” ideal para dividir o fio em partículas. Essa separação apenas é possível em fios com duas cordas, como é evidenciado no seguinte par de imagens (Figura 4.12 e Figura 4.13).



Figura 4.12 – Separação de partículas em fio de 1 Cabo



Figura 4.13 – Separação de partículas em fio de 2 Cordas

Esta separação acontece devido à forma como o enrolamento de dois ou mais cordas é feito. Seja o enrolamento em “S” ou em “Z”, as cordas vão criar sombra uma na outra, em

⁴ Na realidade, como existe sempre a presença de algum ruído na imagem, o cálculo do número de pontas soltas é feito ao dividir o número de pixels brancos por 2,5.

certas fases do seu enrolamento. Essa zona sombreada vai apresentar um valor de pixel mais baixo do que o restante do fio. Assim sendo, foi preciso testar e definir o valor ideal de “*threshold*” para que as partículas fossem devidamente separadas.

No entanto, como se pode observar na Figura 4.12, a operação deixa as partículas cortadas e desmanchadas. Para clarificar as partículas é utilizado um processo morfológico de abertura (erosão + dilatação). Este processo vai unificar as partículas e permitir uma leitura mais fácil dos parâmetros de fio pretendidos. Um exemplo de resultados obtidos por este processo pode ser observado na Figura 4.14.

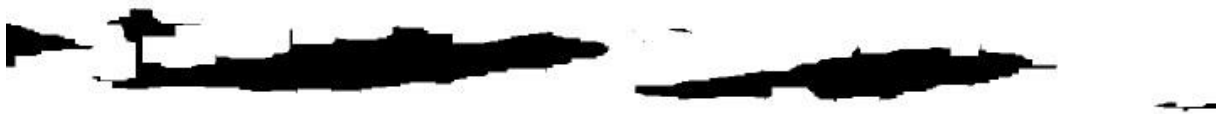


Figura 4.14 - Imagem de após processo de abertura

Com esta imagem já seria possível retirar os parâmetros necessários, no entanto, para manter consistência na área de programação, é feita um último processo de “*Thresholding*” binário invertido, que vai inverter o valor de todos os pixels. A Figura 4.15 exemplifica o processo.



Figura 4.15 - Imagem de partículas isoladas

Uma das primeiras características, que neste ponto se pode aferir, é a distinção entre fio de cabo único ou múltiplas cordas. Esta é necessariamente a primeira característica que podemos calcular, pois para fios de cabo único, os restantes parâmetros tornam-se irrelevantes. No sentido de determinar o número de cordas, faz-se uma contagem de partículas na imagem. No caso de apenas existir uma partícula, como é o caso na Figura 4.12, é possível concluir que o fio é de um cabo único. Caso exista mais do que uma partícula, podemos concluir que é um fio de 2 cordas.

É importante referir que todos os fios que se espera testar são apenas de 1 ou 2 cordas, daí ser possível concluir que qualquer fio com mais do que 1 cabo é automaticamente de 2 cordas.

O segundo parâmetro que se retira da última imagem (Figura 4.15) é o sentido de enrolamento das cordas. Para isso, olhamos para as arestas laterais das partículas e determinamos o ângulo do seu declive:

- Para ângulos inferiores a 90° → Enrolamento em “S”
- Para ângulos superiores a 90° → Enrolamento em “Z”

Finalmente, o último dado a retirar desta imagem é o passo de torção do fio. O passo de torção, neste caso, é equiparável à distância entre partículas. Para esse cálculo ser feito é necessário determinar os pontos de medição da imagem, ou seja, é necessário saber entre que dois pixels é que a medição vai ser feita, pois medições de aresta a aresta introduzem erro em casos de partículas que não tenham tamanhos iguais. Por isso, as medições são feitas reduzindo as partículas a um “centro de massa”, que em termos práticos equivale ao pixel central da partícula.

4.7. Apresentação de resultados

Quando todos os resultados estiverem calculados, o algoritmo devolve toda a sua informação para a janela inicial, o “*Debug Text*” é limpo de forma a sinalizar ao utilizador que o teste acabou e os campos com os parâmetros calculados são preenchidos. Na Figura 4.16, encontra-se como exemplo, o resultado de uma análise de vídeo.

Inicial Conditions	Hairiness Data	Statistical Data
<input type="checkbox"/> Material - Cotton <input type="button" value="Cotton"/> <input type="button" value="Polyester"/>	Loose fibers <input type="text" value="0"/> (Only for images) Hairiness Index <input type="text" value="5.33234502964911"/>	<input type="text" value="0"/> Thin places <input type="text" value="56"/> Thick places <input type="text" value="6"/> Neps
File type - Video <input type="button" value="Image"/> <input type="button" value="Video"/>	Results Diameter <input type="text" value="0.2755017"/> mm Linear Mass <input type="text" value="58.8973"/> Tex Volume <input type="text" value="0.1257827"/> mm ³ Twist step <input type="text" value="0.00331902"/> mm	U <input type="text" value="3.949054"/> % CV <input type="text" value="4.936317"/> % sH <input type="text" value="0.4496275"/> % (Only for Videos)
Video <input type="text" value="1"/> <input type="button" value="Check Size"/> Image <input type="text" value="1"/> <input type="button" value="View"/> Tolerance (%) <input type="text" value="50"/> <small>(Defines what is considered a thick or thin places [1-99])</small> Samples <input type="text" value=""/> <small>(Number of samples to analyze: 0 < number of samples < 1441)</small> + <input type="text" value="50"/> - <input type="text" value="50"/>	Twist step <input type="text" value="2"/> N° of cables <input type="text" value="S"/> Twist orientation (Only for >1 cable)	Purple and Yellow yarn = Cotton White yarn = Polyester
<input type="button" value="RUN"/>		

Figura 4.16 - Exemplo de resultado

5. Resultados e tratamento de dados

Este capítulo vai procurar apresentar todos os resultados obtidos através da aplicação do programa criado para vídeos e imagens de todos os três tipos de fios considerados. Primeiro vão ser apresentados os fios considerados para os testes, depois, os resultados obtidos pela máquina USTER Tester 3 utilizados como referência de avaliação. Seguidamente, serão apresentados os resultados obtidos do teste de imagem de cada fio. Depois serão apresentados os resultados de análises de vídeo e finalmente será apresentada uma análise detalhada dos resultados obtidos dos parâmetros base de forma a procurar padrões nos defeitos detetados e aferir a repetibilidade e fiabilidade da metodologia utilizada.

5.1. Tipos de fios têxteis testados

Para os testes deste sistema foram utilizadas três bobines de fio (Figura 5.1) diferentes.

- Fio de algodão roxo;
- Fio de algodão amarelo;
- Fio de poliéster branco.



Figura 5.1 - Três tipos de fio testados

A utilização destes três tipos diferentes de fio visava testar a robustez e a fiabilidade dos algoritmos desenvolvidos. Entre as três amostras de fio, existem diferenças muitos dos parâmetros que se pretende avaliar: diâmetro, massa linear, pilosidades, nº de cordas e material. Para criar uma referência dos dados a avaliar, foram realizados testes nos três tipos de fios com comprimento de 1 quilómetro numa máquina *USTER Tester 3*. Um exemplo dos resultados obtidos pode ser observado na Figura 5.2.

USTER TESTER 3 V2.21 ME 21-09-22 14:29 LABDRANTIN: PAGE: 5

VALEURS INDIVIDUELLES / RESUME

Art.no.: Essai no.: Filé: 20.9 tex
 fio polyester - Branco
 v: 400 m/min t: 2.5 min Essais: 1/1 Fente de mes.: 4 / Fils Force de frei.: 25 % Imperfections: F. courtes

No. d'essai	CVm (%)	Points m. (-50%)	Points gr. (+50%)	Boutons (+140%)	Boutons (+200%)	Pilosité (-)	sh (-)
1	11.13	0	18	96	33	3.70	0.83
Moyenne	11.13	0 /km	18 /km	96 /km	33 /km	3.70	0.83

Figura 5.2 – Exemplo de resultados de USTER Tester 3 de fio branco de poliéster

Alguns dos parâmetros pretendidos não são diretamente medidos pelo equipamento, contudo podem ser inferidos a partir de outros. Na Tabela 3, encontram-se expostos os resultados obtidos e utilizados posteriormente como referência dos parâmetros dos fios analisados.

Parâmetros	Algodão Roxo	Algodão Amarelo	Poliéster Branco
Diâmetro (mm)	0,270	0,175	0,175
Massa Linear (tex)	56,4	23,8	20,9
Volume (mm³)	0,1557	0,0654	0,0654
U (%)	7,39	8,78	9,18
CV (%)	9,27	11,06	11,59
Índice de Pilosidade	5,44	4,77	3,61
sH (%)	1,17	1,21	0,82
Zonas grossas (+50%)	0	10	25
Zonas grossas (+100%)	0	1	0
Zonas finas (-50%)	0	0	0
Neps (+140%)	67	44	164
Neps (+200%)	3	11	48

Tabela 3 - Resultados do equipamento USTER Tester 3

5.2. Resultados obtidos em imagem

Os resultados que vão ser apresentados, resultam de análises feitas a imagens retiradas aos fios disponíveis. Esses resultados vão estar contrapostos a resultados de referência obtidos por uma máquina que se encontra em utilização atualmente. No entanto, é preciso ter em mente que o comprimento de fio em análise nas imagens obtidas é de apenas 2,72 milímetros, enquanto os resultados apresentados como referência, são resultantes de comprimentos de cerca de 1 quilómetro de fio. Por essa razão é de esperar encontrar discrepâncias na comparação de resultados, principalmente nos dados estatísticos. Na Tabela 4, Tabela 5 e na Tabela 6 estão detalhados os resultados obtidos através da análise de imagens dos três tipos de fios disponíveis.

<i>Parâmetros</i>	<i>Protótipo</i>	<i>USTER Tester</i>
<i>Diâmetro (mm)</i>	0,275	0,27
<i>Massa linear (tex)</i>	58,7	56,4
<i>Volume (mm³)</i>	0,1616	0,156
<i>Sentido de torção</i>	S	n/a
<i>Passo de torção (mm)</i>	1,19	n/a
<i>Nº de cordas</i>	2	n/a
<i>Índice de pilosidade</i>	5,51	5,44
<i>Nº de fibras soltas</i>	7	n/a

Tabela 4 - Resultados de análise de imagem de fio roxo de algodão

<i>Parâmetros</i>	<i>Protótipo</i>	<i>USTER Tester</i>
<i>Diâmetro (mm)</i>	0,175	0,175
<i>Massa linear (tex)</i>	23,82	23,8
<i>Volume (mm³)</i>	0,0654	0,0654
<i>Sentido de torção</i>	S	n/a
<i>Passo de torção (mm)</i>	0	n/a
<i>Nº de cordas</i>	1	n/a
<i>Índice de pilosidade</i>	2,41	4,77
<i>Nº de fibras soltas</i>	0	n/a

Tabela 5 - Resultado de análise de imagem de fio amarelo de algodão

<i>Parâmetros</i>	<i>Protótipo</i>	<i>USTER Tester</i>
<i>Diâmetro (mm)</i>	0,173	0,175
<i>Massa linear (tex)</i>	20,5	20,9
<i>Volume (mm³)</i>	0,06393	0,0654
<i>Sentido de torção</i>	S	n/a
<i>Passo de torção (mm)</i>	0	n/a
<i>Nº de cordas</i>	1	n/a
<i>Índice de pilosidade</i>	2,21	3,61
<i>Nº de fibras soltas</i>	9	n/a

Tabela 6 - Resultado de análise de imagem de fio branco de poliéster

Como é possível observar, nesta comparação existem dados que não são possíveis comparar diretamente entre o protótipo e o equipamento da *USTER*, devido ao facto de haver dados apenas fornecidos por um dos lados.

No caso do protótipo, o único dado não medido é o desvio padrão da pilosidade (sH). Este não é medido no caso da análise de imagem pois, tendo em conta o relativamente curto comprimento analisado por imagem, torna-se impossível a obtenção de um valor verossímil, especialmente quando comparado com valores obtidos com comprimentos de várias magnitudes acima. Visto que não se considera que o valor possível obter através da análise de uma só imagem de alguma forma seja útil devido ao seu elevado grau de variedade, foi escolhido, que esse dado fosse apenas medido no caso da análise de vídeo. Pela mesma razão foi escolhido não apresentar a comparação entre equipamentos dos restantes resultados estatísticos, pois quaisquer comparações desses parâmetros em resultados de análises tão díspares não teriam valor científico.

No caso do equipamento *USTER*, existem vários dados que não são medidos. Por essa razão, não é possível verificar a precisão desses dados através de comparação direta com resultados base. Deste modo, apenas é possível confirmar os resultados obtidos fazendo uma inspeção visual. No caso de parâmetros como o sentido de torção e o nº de cordas e fibras soltas a sua verificação visual é direta, ou seja, simplesmente observando a imagem de cordas isolados é possível concluir se o resultado obtido se encontra correto ou errado. No entanto, no caso do passo de torção, é necessário fazer uma medição da imagem de forma a confirmar que os resultados obtidos se encontram de acordo com a realidade da imagem obtida. Essa medição pode ser feita em termos comparativos, como mostra a Figura 5.3. Como se sabe o comprimento do fio na imagem e o tamanho da imagem em pixels, é possível fazer uma medição de distância em pixels e converter para milímetro.



Figura 5.3 - Imagem de fio roxo com partículas isoladas

Os pontos vermelhos que se podem observar na imagem são os pontos considerados como o centro geométrico de cada partícula em questão. Esses pontos são os de posição 426 e 1016 respetivamente. Sabendo isso é possível calcular o valor do passo de torção (Equação 16).

$$\text{Passo} = (1016 - 426) = 590 \text{ pixels} \therefore 590 \times \left(\frac{2.93}{1440}\right) = 1,20 \text{ mm}$$

Equação 16 - Cálculo de passo de torção

Este resultado pode ser comparado com o da imagem do fio roxo, que o protótipo calculou como 1,19 milímetros. Desta mesma forma foram comparados resultados de várias imagens para confirmar a fiabilidade e a precisão dos resultados de passo de torção.

Em relação aos resultados diretamente comparáveis, é possível observar que, nos parâmetros base do fio, existe uma diferença mínima dos resultados (abaixo dos 10% de erro relativo) (Apêndice C – Cálculo de erro relativo). No caso do índice de pilosidade é possível observar uma discrepância considerável entre os resultados. Essa diferença é explicada pela diferença de comprimento de fio analisado em ambos os casos. Como foi mencionado, os resultados obtidos pelo equipamento *USTER*, são resultantes de uma análise de 1 quilómetro de fio, enquanto no caso do protótipo, cada imagem apenas captura 2,72 milímetros de fio. Para além disso, o equipamento de referência faz medições de 3 em 3 milímetros, ao contrário de em 0,05 milímetros neste caso para o protótipo. Por essas razões era espectável que os resultados obtidos pelo protótipo tivessem um nível de discrepância quando comparados com os da *USTER*.

5.3. Resultados obtidos em vídeo

No caso da análise de vídeo, os resultados obtidos pelo protótipo são o resultado da análise de 6 metros de fio, com uma totalidade de 2000 amostras, resultando assim numa reso-

lução de amostra de 3 milímetros, de forma a igualar a resolução do equipamento de referência. Por essa razão é de esperar que exista uma discrepância menor nos resultados estatísticos. A Tabela 7, Tabela 8 e Tabela 9 apresentam os resultados obtidos pelo protótipo e os valores de referência para comparação. Os resultados apresentados dos defeitos dimensionais do protótipo foram inferidos para o quilómetro a partir dos resultados de 6 metros obtidos.

<i>Parâmetros</i>	<i>Protótipo</i>	<i>USTER Tester</i>
<i>Diâmetro (mm)</i>	0,262	0,27
<i>Massa linear (tex)</i>	53,22	56,4
<i>Volume (mm³)</i>	0,158	0,156
<i>Sentido de torção</i>	S	n/a
<i>Passo de torção (mm)</i>	0,981	n/a
<i>Nº de cordas</i>	2	n/a
<i>Índice de pilosidade</i>	5,35	5,44
<i>Nº de fibras soltas</i>	n/a	n/a
<i>Zonas finas (-50%)</i>	0/km	0/km
<i>Zonas grossas (+50%)</i>	0/km	67/km
<i>Neps (+200%)</i>	0/km	3/km
<i>U (%)</i>	11,91	7,39
<i>CV (%)</i>	14,89	9,27
<i>sH (%)</i>	1,22	1,17

Tabela 7 - Resultados de análise de vídeo de fio roxo de algodão (6 metros)

<i>Parâmetros</i>	<i>Protótipo</i>	<i>USTER Tester</i>
<i>Diâmetro (mm)</i>	0,179	0,175
<i>Massa linear (tex)</i>	24,92	23,8
<i>Volume (mm³)</i>	0,074	0,0654
<i>Sentido de torção</i>	S	n/a
<i>Passo de torção (mm)</i>	0	n/a
<i>Nº de cordas</i>	1	n/a
<i>Índice de pilosidade</i>	4,42	4,77
<i>Nº de fibras soltas</i>	n/a	n/a
<i>Zonas finas (-50%)</i>	0/km	0/km
<i>Zonas grossas (+50%)</i>	0/km	44/km
<i>Neps (+200%)</i>	0/km	11/km
<i>U (%)</i>	4,64	7,39
<i>CV (%)</i>	5,80	9,27
<i>sH (%)</i>	0,97	1,17

Tabela 8 - Resultado de análise de vídeo de fio amarelo de algodão

<i>Parâmetros</i>	<i>Protótipo</i>	<i>USTER Tester</i>
<i>Diâmetro (mm)</i>	0,170	0,175
<i>Massa linear (tex)</i>	19,67	20,9
<i>Volume (mm³)</i>	0,0661	0,0654
<i>Sentido de torção</i>	S	n/a
<i>Passo de torção (mm)</i>	0	n/a
<i>Nº de cordas</i>	1	n/a
<i>Índice de pilosidade</i>	3,60	3,61
<i>Nº de fibras soltas</i>	n/a	n/a
<i>Zonas finas (-50%)</i>	0/km	0/km
<i>Zonas grossas (+50%)</i>	0/km	189/km
<i>Neps (+200%)</i>	0/km	48/km
<i>U (%)</i>	12,67	9,18
<i>CV (%)</i>	15,84	11,59
<i>sH (%)</i>	0,73	1,21

Tabela 9 - Resultado de análise de vídeo de fio branco de poliéster

Aqui encontramos um valor que nenhum dos equipamentos utilizados calcula, nomeadamente o nº de fibras soltas. Foi observado em testes prévios que o parâmetro de nº de fibras soltas, quando calculado numa análise de vídeo, apresentava resultados inconsistentes. Isto, dado que, o movimento do fio fazia com que as pilosidades soltas ficassem desfocadas com o movimento e escapassem à deteção. Para além disso, o valor de fibras soltas, estando separado do comprimento do fio analisado, perderia a relevância para análise.

Em relação aos resultados diretamente comparáveis pode observar-se que todos os parâmetros do fio foram calculados com um erro relativo inferior a 10%, a maior parte deles inferior a 5% (Ver Apêndice C – Cálculo de erro relativo). Isto é justificado pela presença de um maior número de amostras retiradas pelo protótipo, em relação aos resultados retirados de imagens. No entanto, o mesmo não pode ser dito dos resultados estatísticos. Enquanto é possível observar uma redução na diferença de resultados, face aos obtidos através da análise de imagem, ainda existe uma discrepância estatisticamente relevante. Esta desigualdade pode ser explicada pela diferença de comprimento de fio analisada, mas mais especificamente, advém do facto de existir um menor número de amostras a ser consideradas no caso do protótipo.

Tendo em conta que cada um dos equipamentos está a retirar uma amostra de 3 em 3 milímetros e existe uma diferença notável entre os comprimentos analisados, podemos concluir que o número de amostras retiradas pelo equipamento *USTER* é amplamente maior. E

como se pode observar na Equação 4 e/ou Equação 5, o número de amostras afeta proporcionalmente os valores dos dados estatísticos.

Foi adicionalmente feito um teste a 100 metros do fio de algodão roxo, com uma totalidade de 100 000 amostras, resultando numa resolução de 1 milímetro entre amostras. Devido ao elevado de amostras o tempo de processamento torna-se demasiado elevado, por essa razão apenas se fez uma análise. O fio roxo foi selecionado pois é o que permite o cálculo de um maior número de parâmetros. A Tabela 10 apresenta os resultados obtidos.

<i>Parâmetros</i>	<i>Protótipo</i>	<i>USTER Tester</i>
<i>Diâmetro (mm)</i>	0,275	0,27
<i>Massa linear (tex)</i>	58,8973	56,4
<i>Volume (mm³)</i>	0,158	0,156
<i>Sentido de torção</i>	S	n/a
<i>Passo de torção (mm)</i>	0.003	n/a
<i>Nº de cordas</i>	2	n/a
<i>Índice de pilosidade</i>	5,33	5,44
<i>Nº de fibras soltas</i>	n/a	n/a
<i>Zonas finas (-50%)</i>	0/km	0/km
<i>Zonas grossas (+50%)</i>	560/km	67/km
<i>Neps (+200%)</i>	60/km	3/km
<i>U (%)</i>	3,94	7,39
<i>CV (%)</i>	4,936	9,27
<i>sH (%)</i>	0,45	1,17

Tabela 10 - Resultados de análise de vídeo de fio roxo de algodão (100 metros)

Como podemos observar existe uma aproximação entre os dois resultados, quando comparados com o teste de 6 metros. Essa aproximação é comprovada pela diminuição do erro relativo (Ver Apêndice C – Cálculo de erro relativo). É de notar que existe uma diminuição drástica dos valores dos parâmetros estatísticos, isto acontece, pois, como já foi mencionado, os valores destes parâmetros são diretamente afetados pelo número total de amostras. No primeiro caso (6 metros de fio) existiam apenas 2 000 amostras, ao contrário das 100 000 do último caso (100 metros). Também podemos tomar em conta os resultados do equipamento USTER que tem no total 33 333 amostras, e como podemos observar existe uma diminuição dos valores estatísticos diretamente proporcional com o aumento do número de amostras.

Uma última observação que é possível fazer, é a grande diferença do resultado de passo de torção. Com o aumento da velocidade a deteção das partículas das cordas responsáveis

pelo cálculo do passo de torção torna-se cada vez mais ineficaz, fazendo com que o resultado calculado apresente menos exatidão.

5.4. Tratamento de dados

Nesta secção vão ser analisados os resultados obtidos com um maior nível de detalhe, de forma a verificar se existe algum padrão nas imperfeições encontradas nos resultados das análise de vídeo, ou se existe alguma falha na obtenção de imagens que possa introduzir erro no sistema.

5.4.1. Diâmetro

Para começar, vamos examinar a totalidade dos resultados de diâmetro dos testes executados aos três fios. Na Figura 5.4, encontram-se os resultados relativos ao teste de 6 metros de fio de algodão roxo, onde o diâmetro médio foi calculado como 0,262 milímetros.

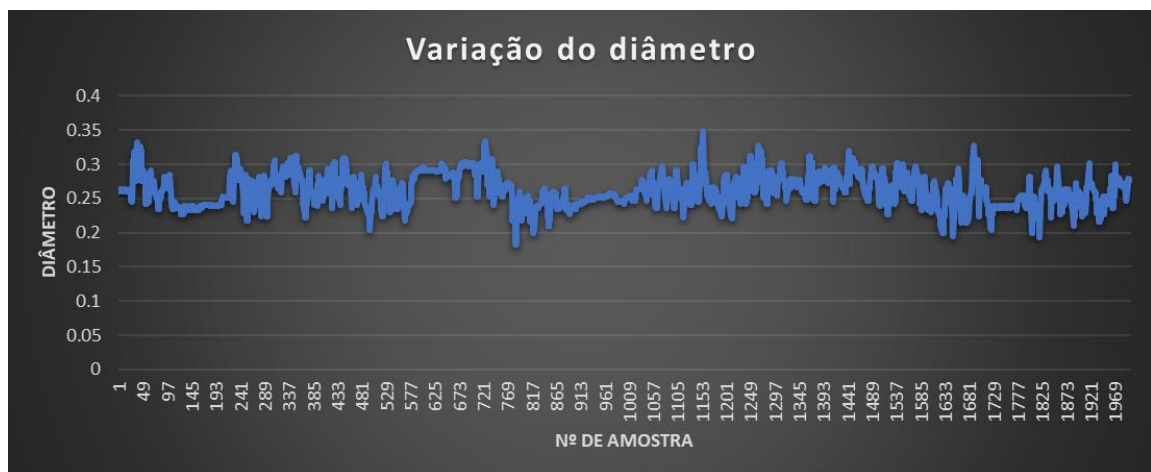


Figura 5.4 - Variação de diâmetro de fio de algodão roxo (6 metros)

O valor máximo e o mínimo medidos foram 0,348 e 0,183 milímetros respetivamente, originando uma variação máxima de 47 %. Ao longo do teste observamos que o valor do diâmetro tende sempre a manter-se por volta do valor médio, tendo periodicamente picos positivos de variação. Como o teste foi realizado a velocidade constante, é possível concluir que esses picos periódicos no tempo, o são também em comprimento.

Os picos positivos notáveis no gráfico estão a cerca de 288 amostras uns dos outros, no que se traduz em cerca de 0,9 metros. Podemos constatar que existe uma relativa periodicidade no aparecimento de defeitos geométricos no fio analisado. Essa periodicidade pode indicar que no processo de fabrico deste fio existiu uma imperfeição num dos rolamentos de

esmagamento, que criou uma variação na força de esmagamento, causando assim zonas periódicas de diâmetro mais elevado. Estes resultados podem verificar-se no espectrograma de massa apresentado nos resultados da USTER Tester (Figura 5.5). Picos no espectrograma representam defeitos periódicos no fio têxtil, com a frequência apresentada no seu eixo. Como podemos observar existe um pico notável na região de 1 metro, o que indica a existência de defeitos com uma periodicidade aproximada de 1 metros, indo ao encontro dos resultados apresentados pelo protótipo. Para além disso é notável um pequeno desnível na região entre os 20 e 30 centímetros

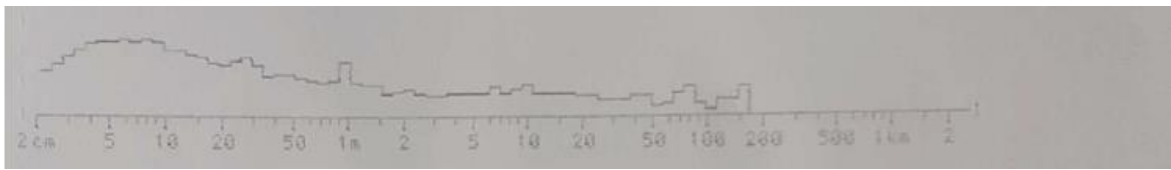


Figura 5.5 - Espectrograma de massa do fio de algodão roxo (USTER Tester 3)

Na Figura 5.6, encontram-se os resultados relativos ao teste de 100 metros de fio de algodão roxo, onde o diâmetro médio calculado foi de 0,275 milímetros.



Figura 5.6 - Variação de diâmetro de fio de algodão roxo (100 metros)

Como podemos observar, existem picos positivos altos ocasionalmente, no entanto apenas pela avaliação deste gráfico não é possível verificar se existe alguma periodicidade nestes defeitos. Por essa razão produzido um espectrograma (Apêndice D – Análise espectral) que mostrará alguma periodicidade existente (Figura 5.7).

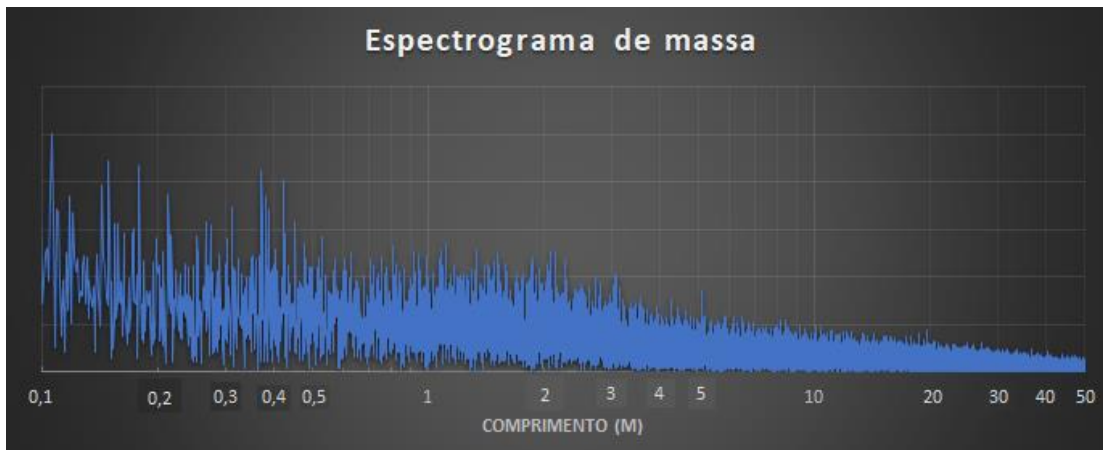


Figura 5.7 - Espectrograma de massa de fio de algodão roxo (Protótipo)

Como foi possível observar nos resultados da análise de 6 metros, existe um pico significativo na região de 0,4 a 0,5 metros. Para além disso é possível observar um pico na região do 1 metro bem como nos 5 metros de comprimento que explicam os altos picos notados na Figura 5.4. Os resultados deste espectrograma encontram-se em concordância com o obtido pelo equipamento da USTER (Figura 5.5).

Na Figura 5.8, encontram-se os resultados relativos ao fio de algodão amarelo, onde o diâmetro médio é de 0,179 milímetros.

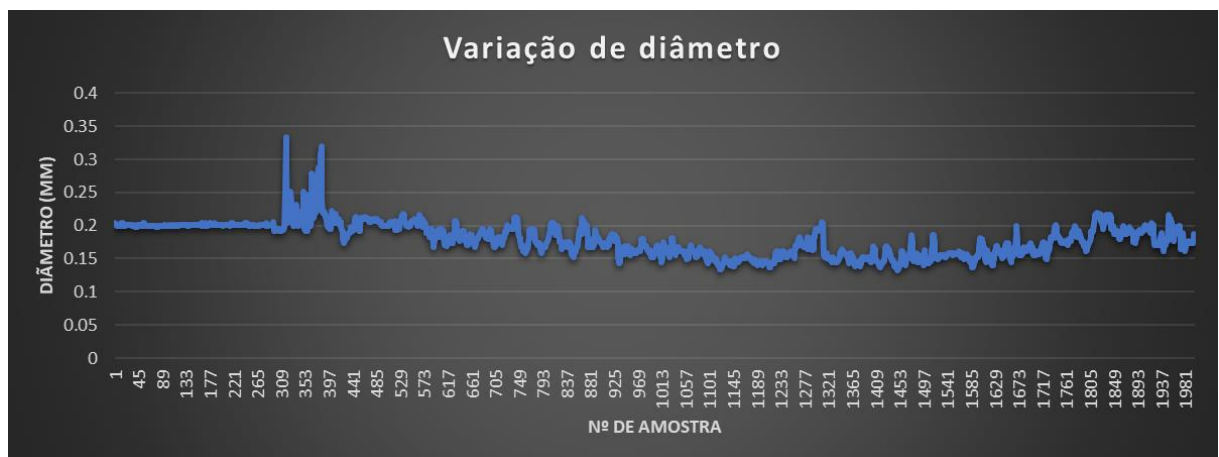


Figura 5.8 - Variação do diâmetro de fio de algodão amarelo

Nesta análise é imediatamente visível uma anomalia no início do ensaio, onde os valores medidos apresentam uma variação mínima seguida por um pico de variação enorme. Este acontecimento ocorreu, pois, o fio no início do ensaio encontrava-se parado e quando começou a mover-se teve alguma oscilação. Este resultado é exemplo de uma forma de intro-

duzir erro humano neste processo. Visto que todos os atos de captura de vídeo devem ser começados apenas quando o fio já se encontrar em movimento, o qual deve ser começado de forma gradual de modo a não causar vibrações que poderão afetar negativamente os resultados obtidos.

Retirando essa zona de consideração, o valor máximo e o mínimo medido foram 0,222 e 0,132 milímetros respectivamente, o que equivale a um valor de variação máxima de 40 %. Neste teste é notável um nível de variação consideravelmente mais reduzido quando comparado ao fio de algodão roxo. Ao contrário do gráfico anterior, este fio aparenta ter um menor nível de variação em pequenas escalas de comprimento, aparentando ter, em escalas maiores, uma tendência sinusoidal, com valores iniciais rondando 0,2 milímetros, descendo até aos 0,15 milímetros a meio do ensaio e acabando novamente perto dos 0,2 milímetros. Essa tendência é destacada na Figura 5.9, onde os limites do eixo do diâmetro são reduzidos.

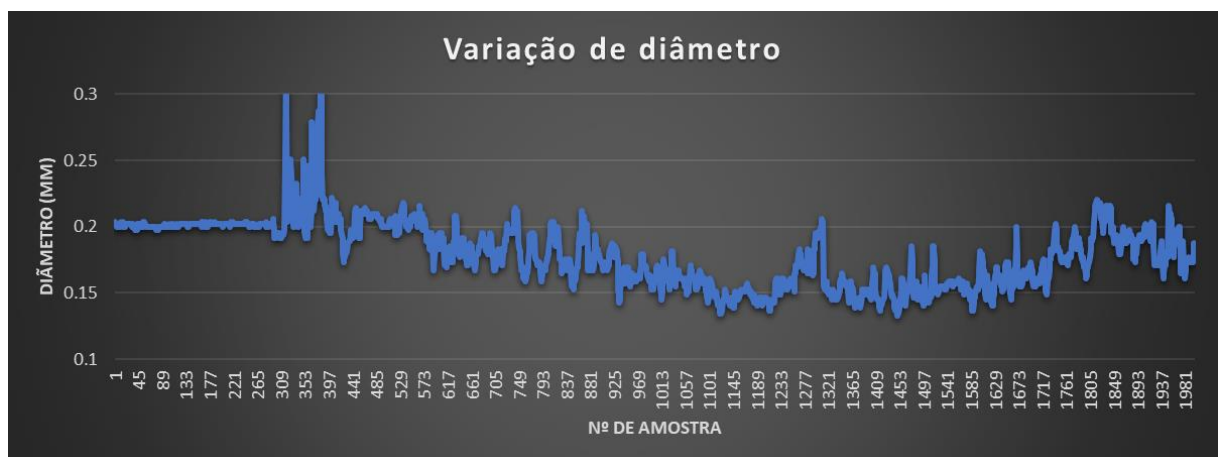


Figura 5.9 - Variação de diâmetro com limites de eixo reduzidos

Finalmente examinaremos a variação do diâmetro do fio de poliéster branco (Figura 5.10), que teve como valor de diâmetro médio 0,170 milímetros.

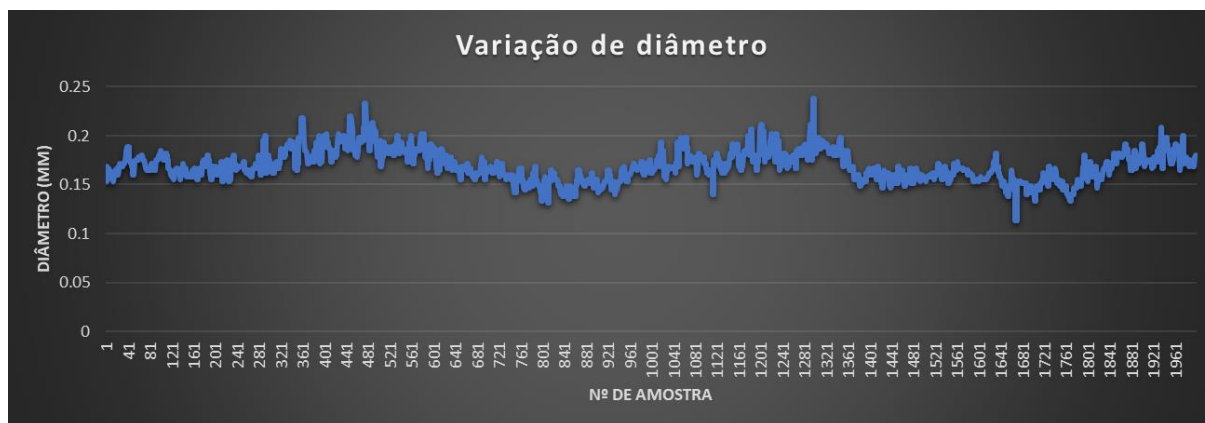


Figura 5.10 - Variação do diâmetro do fio de poliéster branco

O valor máximo e o mínimo medido foram de 0,238 e 0,113 milímetros respetivamente, resultando num valor de variação máxima de 47 %. Semelhantemente ao fio de algodão amarelo, este gráfico apresenta uma tendência sinusoidal rondando o valor médio medido, com picos positivos na zona dos 0,2 milímetros e negativos abaixo dos 0,15 milímetros. Constando no início e no fim do ensaio, é possível identificar 6 picos de variação, 3 positivos e 3 negativos, com um espaçamento relativamente semelhante de 400 amostras, o que equivale a cerca de 1,2 metros. Novamente podemos recorrer aos resultados de espectrograma de massa do equipamento da USTER (Figura 5.11). Neste caso o pico não é tão evidente, no entanto, é claro que existe uma demarcação na zona dos 1,2 metros⁵, conferindo assim o resultado do protótipo.

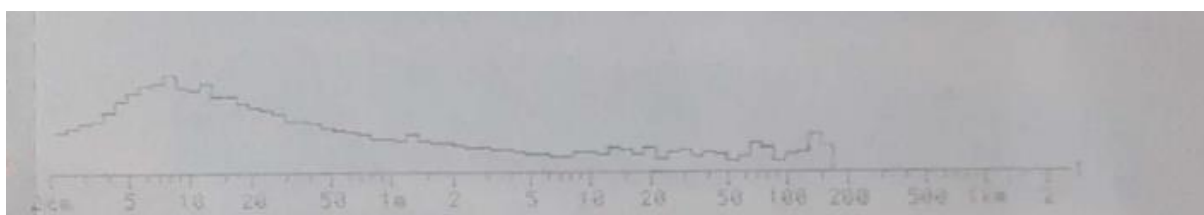


Figura 5.11 - Espectrograma de massa de fio de poliéster branco

Este padrão periódico, mantém-se consistente com irregularidades expectáveis no processo de fabrico. Mais concretamente, no caso da existência de desnível num dos rolagamentos de esmagamento que cause periodicamente forças de esmagamento mais altas seguidas por forças mais baixas, isso causaria uma variação do diâmetro de fio sinusoidal, semelhante ao que é observável neste resultado.

⁵ É importante realçar que a escala apresentada é logarítmica.

Para concluir a análise dos resultados de diâmetro, após um estudo individualizado a todos, pode afirmar-se que nenhum deles apresenta qualquer anomalia que possa ser causada por erro ou incerteza de medição do valor de diâmetro, não existindo em nenhum dos resultados variâncias de mais de 25 % do valor médio. Existe uma clara tendência para o valor médio obtido, tanto pelo protótipo como pelo equipamento de referência, o que indica que se fosse analisado ainda mais comprimento de fio, a diferença entre os resultados medidos pelos equipamentos seria ainda menor. É possível também observar que o sistema tem um bom nível de repetibilidade e fiabilidade, pois quando são retiradas várias imagens da mesma secção do fio, como foi o caso no início do ensaio apresentado na Figura 5.8, os resultados apresentavam um nível quase inexistente de variância.

5.4.2. Massa linear

No caso da análise dos resultados de massa linear, é importante reconhecer que é um valor calculado, onde a sua variação depende unicamente do diâmetro, por essa razão é expectável que os resultados apresentem semelhanças nas suas tendências de variação. No entanto, como o valor da massa linear é afetado de forma exponencial pelo diâmetro, como pode ser visto na Equação 1, as suas variações vão ser ainda mais notáveis.

Para começar, podemos observar na Figura 5.12 o gráfico que demonstra a variação da massa linear na análise de 6 metros de fio de algodão roxo, que teve como valor médio final 53,22 Tex.

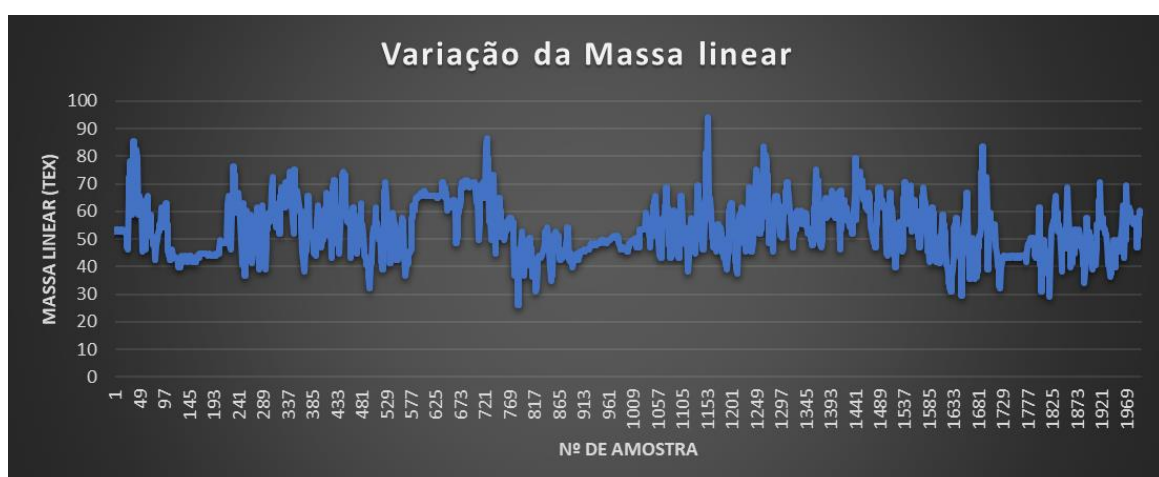


Figura 5.12 - Variação de massa linear do fio de algodão roxo (6 metros)

O valor máximo e o mínimo calculados foram de 94,15 e 28,08 tex respetivamente, tendo assim uma variação máxima de 72 %. Neste gráfico já são mais facilmente identificados

os 4 picos positivos de variação de diâmetro, bem como o pico negativo. A examinação deste gráfico também permite destacar o alto nível de variação de massa em curtos comprimentos de fio, levando à conclusão de que a análise de uma só imagem acarreta um grande nível de incerteza em relação ao resultado de massa linear.

Na Figura 5.13, encontram-se os resultados de variação de massa linear de análise de 100 metros de fio de algodão roxo, onde o valor médio calculado foi de 58,90 Tex.

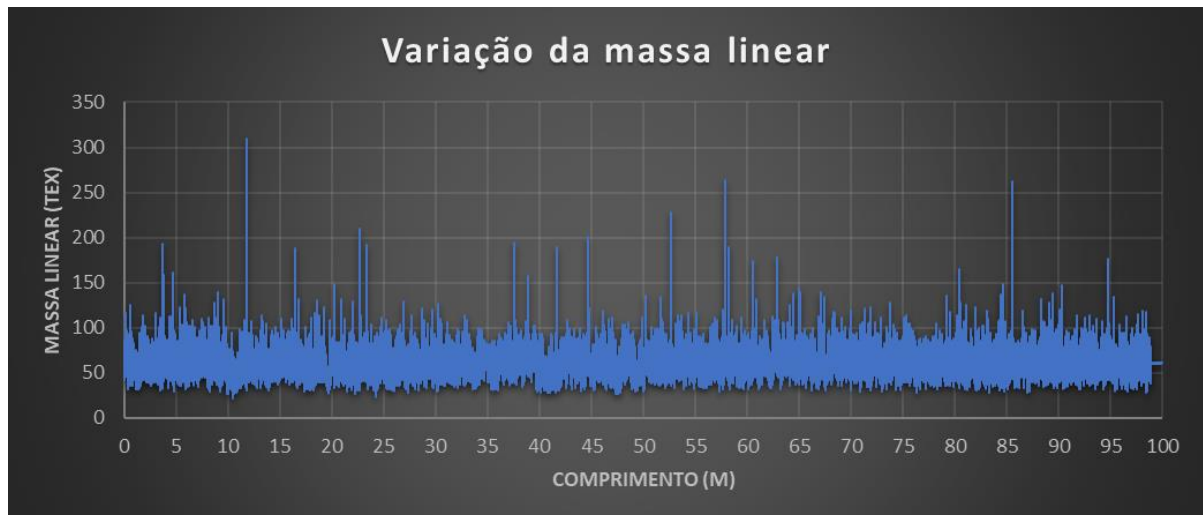


Figura 5.13 - Variação de massa linear do fio de algodão roxo (100 metros)

Neste gráfico encontram-se ainda mais destacados os defeitos dimensionais mais graves, indicados pelos picos extremos ocasionais dos resultados de massa linear.

De seguida vamos verificar a variação da massa linear do fio de algodão amarelo (Figura 5.14), o qual teve um valor médio de 24,92 tex.

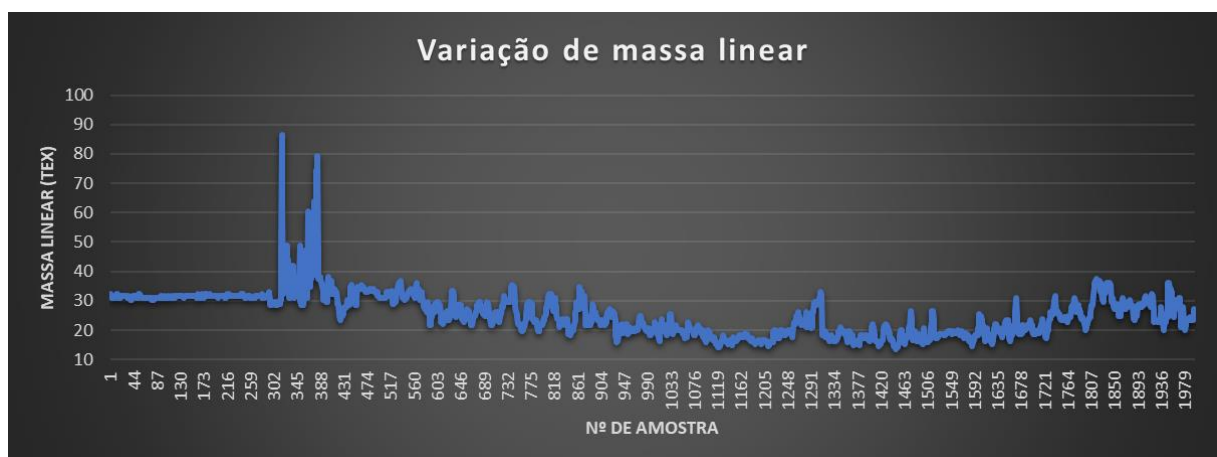


Figura 5.14 - Variação da massa linear do fio de algodão amarelo

Novamente descartando as primeiras 400 amostras⁶, o valor máximo e o mínimo calculado foi de 38,26 e 13,64 Tex respetivamente, tendo assim uma variação máxima de 64 %. Analisando o gráfico, destaca-se o baixo nível de variação em curtos cumprimentos, especialmente quando comparado com o fio de algodão (mesmo material) roxo (Figura 5.12). O facto de o fio roxo ser composto por duas cordas, em oposição à única corda que compõe o fio amarelo, pode ser a explicação para esta diferença, sendo que, como pode ser observado na Figura 2.10 e na Figura 4.3, as torções das duas cordas causam uma ondulação das extremidades do fio, provocando assim uma maior variação do valor de diâmetro (e consequentemente do valor da massa linear).

É mais evidente a tendência sinusoidal da massa linear ao longo do comprimento do fio, sendo ela ainda mais clara na Figura 5.15 onde o limite do eixo da massa linear é ajustado.

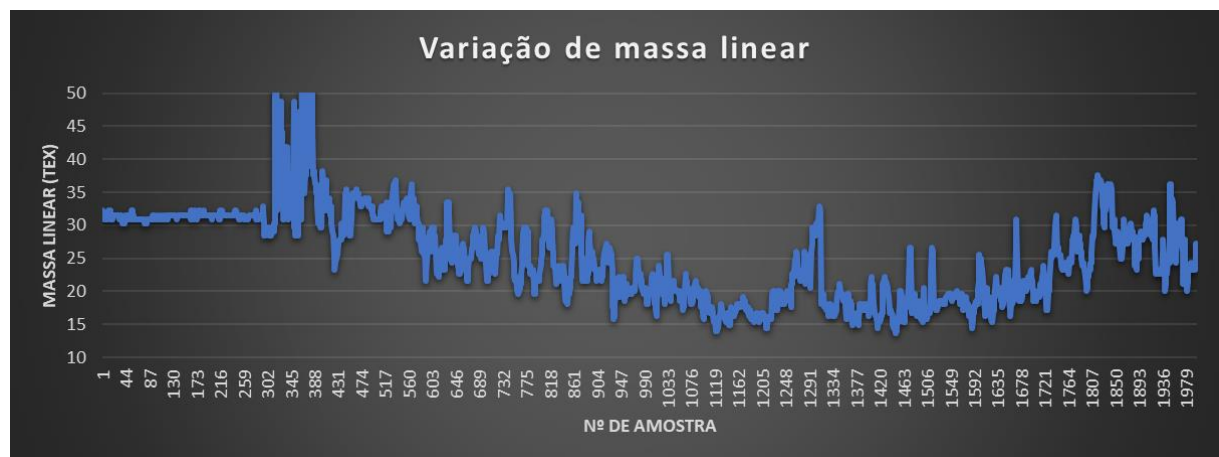


Figura 5.15 - Variação da massa linear do fio amarelo com escala ajustada

É possível fazer uma última observação com este gráfico. Visto que variações nas medições de diâmetro são mais destacadas nos gráficos de variação de massa linear, o facto de existir uma variação quase inexistente no início do ensaio, quando o fio se encontra parado e as amostras retiradas são da mesma secção de fio, eleva o grau de repetibilidade dos algoritmos utilizados.

Nesta escala reduzida é possível notar alguns picos na variação que podem indicar defeitos do fio. Entre as amostras 600 e 1000 e as amostras 1470 e 2000 existem picos positivos com uma periodicidade relativamente curta (entre as 80 até as 130 amostras, o que equivale a

⁶ Como foi mencionado na secção anterior as primeiras 400 amostras foram obtidas inicialmente com o fio parado e depois com um início de movimento brusco, que causou uma oscilação no fio, introduzindo erro no cálculo dos seus parâmetros.

uma média de 315 milímetros ou 31,5 centímetros). Para além disso existe também outro padrão com uma periodicidade mais elevada, com picos nas amostras perto dos 900, 1300 e 1600⁷, o que tem como média um intervalo de 300 amostras, o que equivale a aproximadamente 1,05 metros. Ambas estas periodicidades podem ser verificadas no espectrograma apresentado pelo equipamento USTER (Figura 5.16), onde se pode verificar um pico evidente, um na região imediatamente após 1 metro e outro entre os 30 e 40 centímetros.



Figura 5.16 - Espectrograma de massa de fio de algodão amarelo

Para finalizar, a Figura 5.17 expõe o gráfico de variação de massa linear do fio de poliéster branco, que teve um valor médio calculado de 19,67 Tex.

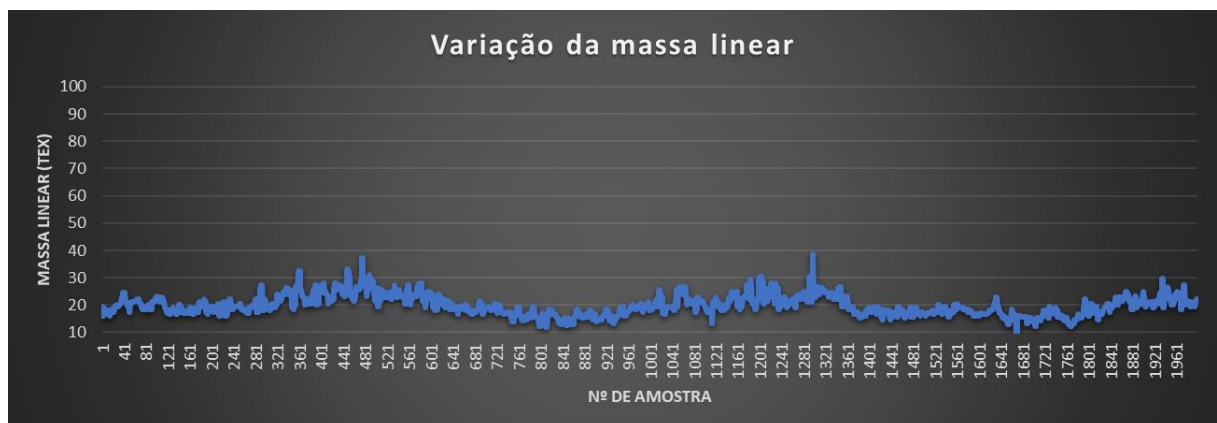


Figura 5.17 - Variação da massa linear do fio de poliéster branco

O valor máximo e mínimo de massa linear calculados foram de 38,67 e 8,79 Tex respetivamente, resultando assim numa variação máxima de 77 %.

Como é possível observar, os níveis de variação de massa são mais pequenos, quando comparados ao dos fios de algodão. Por essa razão e para fazer uma análise mais pormenorizada destes resultados, é necessário primeiro ajustar a escala dos seus eixos (Figura 5.18).

⁷ Os valores das amostras são aproximados de forma a facilitar a sua leitura no gráfico.

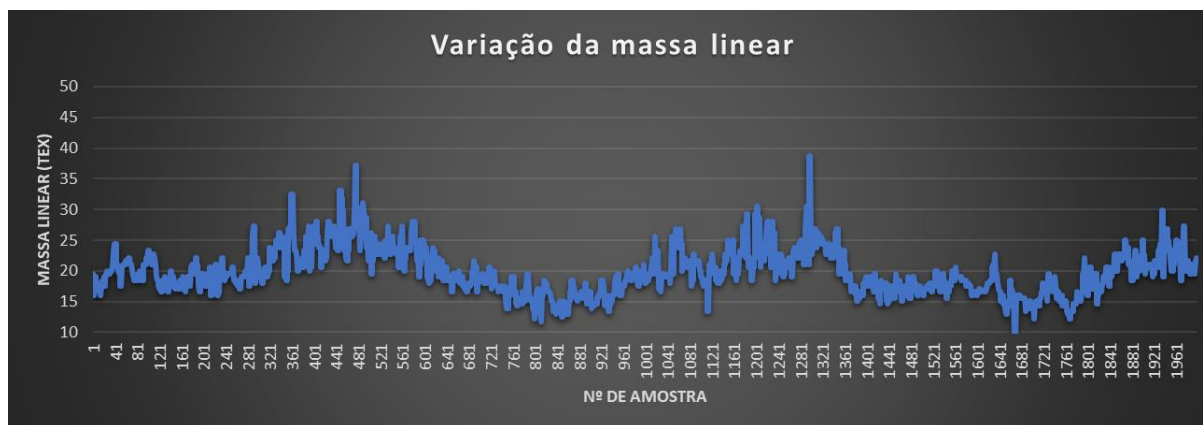


Figura 5.18 - Variação da massa linear do fio branco com escala ajustada

Com uma escala ajustada é possível não só confirmar que a massa linear segue um padrão sinusoidal ao longo do seu comprimento, como identificar mais facilmente os seus picos e vales.

5.4.3. Índice de pilosidade

Ao examinar dados de índice de pilosidade ao longo do comprimento do fio, é expectável variações menos periódicas e sem padrões repetidos, porque, mesmo que a distribuição das pilosidades fosse uniforme em todo o comprimento do fio, o sentido e a orientação das mesmas é aleatório, como pode ser observado na Figura 4.3. E, como o índice de pilosidades não depende diretamente do número de pilosidades numa amostra, mas sim do comprimento total das mesmas (Equação 3), o seu valor vai sofrer variações em padrões aleatórios controlados. No entanto, é previsível que os dados não apontem nenhuma tendência de crescimento ou redução, e sim que se mantenham sempre a tender para o seu valor médio.

Começamos por analisar a Figura 5.19 que expõem o gráfico de variação do índice de pilosidade do fio de algodão roxo, que foi calculado pela máquina em 5.33.

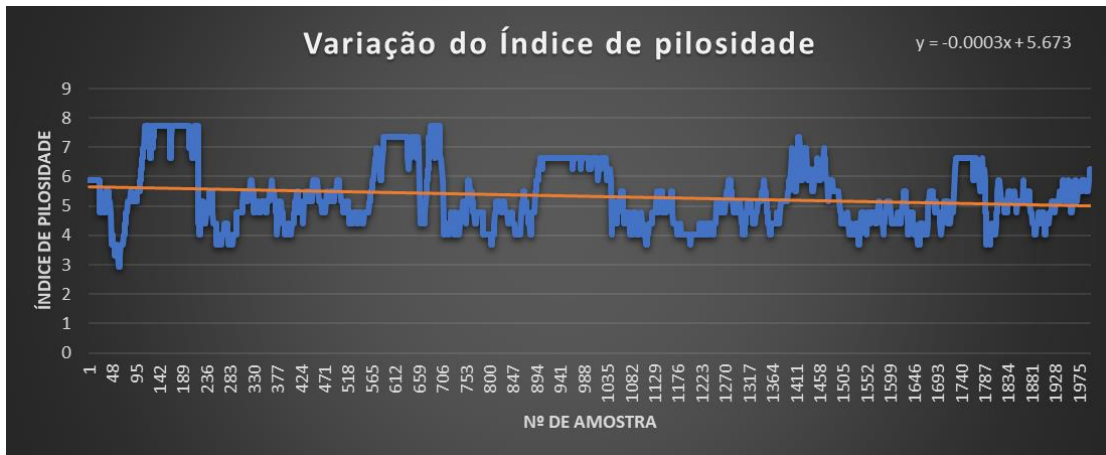


Figura 5.19 - Variação do índice de pilosidade de fio de algodão roxo (6 metros)

O valor máximo e o mínimo calculados foram de 6,61 e 2,94 respetivamente, originando uma variação máxima de 56 %. Como é possível observar existe um grande nível de variação, no entanto, quando se cria uma reta de tendência com os dados obtidos, a equação da mesma tem um declive absoluto de 0,003. Isso permite concluir que existe um bom grau de estabilidade no resultado médio obtido, ou seja, que esse resultado não estaria sujeito a uma mudança significativa com o aumento do comprimento analisado, dando um maior nível de confiança ao mesmo. Este facto pode-se confirmar utilizando os dados obtidos através da análise de 100 metros de fio de algodão roxo (Figura 5.20).

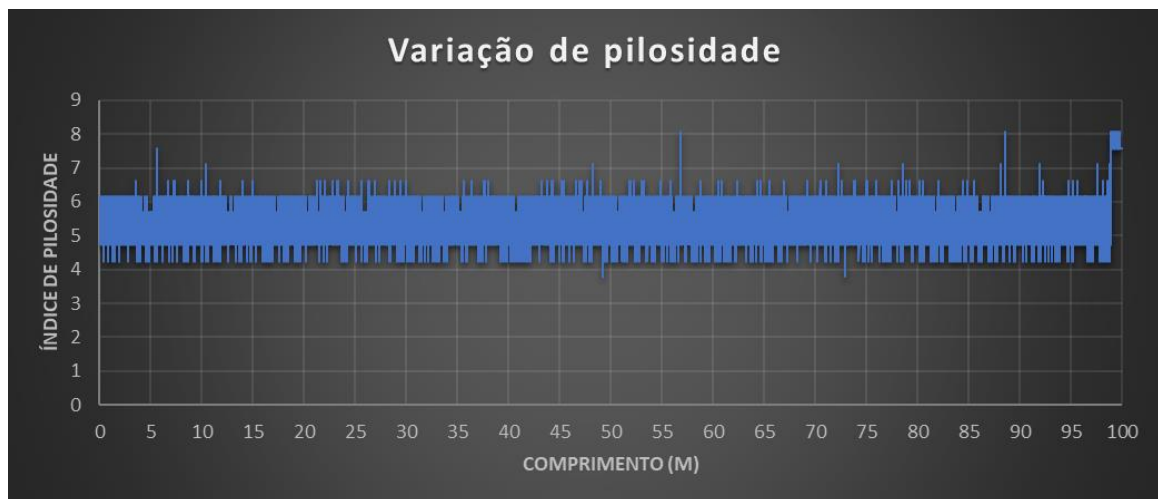


Figura 5.20 - Variação do índice de pilosidade de fio de algodão roxo (100 metros)

Não são observáveis periodicidades claras nas variações do índice de pilosidade, o que se pode constatar, é que existem picos positivos ocasionais, no entanto para confirmar se existe alguma periodicidade na presença de defeitos foi criado um espectrograma para os dados

de pilosidade (Figura 5.21). A esse gráfico foi adicionado uma linha de tendência de forma a melhor detetar os picos na magnitude.

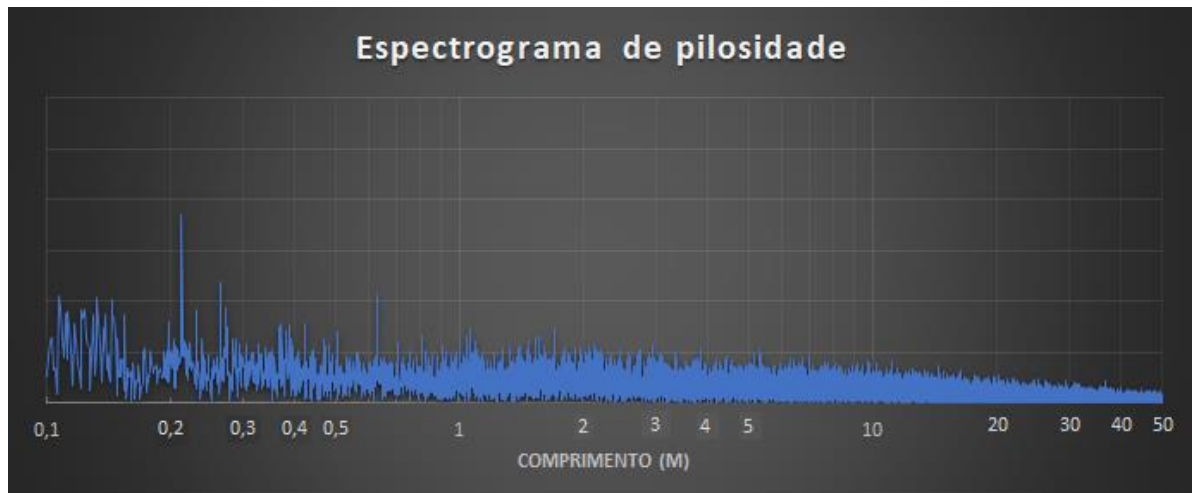


Figura 5.21 - Espectrograma de pilosidade de fio de algodão roxo (Protótipo)

No espectrograma é possível detetar 3 picos de magnitude significativos. Primeiro com um pico na região dos 0,2 metros (20 centímetros), seguido por um pico na região do 0,6 metro e um segundo pico menos significativo na região de 1 metro. Esta informação pode ser comparada com a obtida pelo equipamento USTER (Figura 5.22), onde é possível observar um ligeiro pico na região dos 50 a 60 centímetros e um segundo pico ligeiro na região de 1 metro, indicando um defeitos repetidos com essas periodicidades.



Figura 5.22 - Espectrograma de pilosidade de fio de algodão roxo (USTER Tester 3)

Nos gráficos dos restantes fios, Figura 5.23 para o caso do fio de algodão amarelo e Figura 5.24 no caso do fio branco de poliéster, observa-se novamente uma estabilidade nos resultados de pilosidades, tendo declives das retas de tendência de 0,002 e -0,007 respetivamente.

Em relação a defeitos periódicos no fio de algodão amarelo e poliéster branco, não é possível encontrar nenhum padrão que possa indicar a presença de defeitos periódicos. Recorrendo aos espectrogramas do fio amarelo (Figura 5.25) e do fio branco (Figura 5.26), não existem picos significativos (existe um pequeno pico na região de 1,5 metros no espectro-

grama do fio branco) em comprimentos detetáveis pelo protótipo (2 centímetros a 2 metros). Um aspeto relevante a destacar no caso do fio de algodão amarelo (Figura 5.23) é o do início do seu ensaio, como já foi mencionado. Enquanto o seu resultado não é tão estável quando comparado com os resultados de diâmetro e massa linear da mesma secção, existe ainda assim um grau mínimo de variação, quando comparado com o restante ensaio e com os resultados dos outros fios. O menor grau de repetibilidade é justificado pelo alto grau de sensibilidade do algoritmo de deteção de contornos “Canny”, onde mesmo com condições idênticas, uma variância mínima na forma como o objeto se encontra iluminado ou no seu posicionamento, vai traduzir-se numa imagem final diferente.

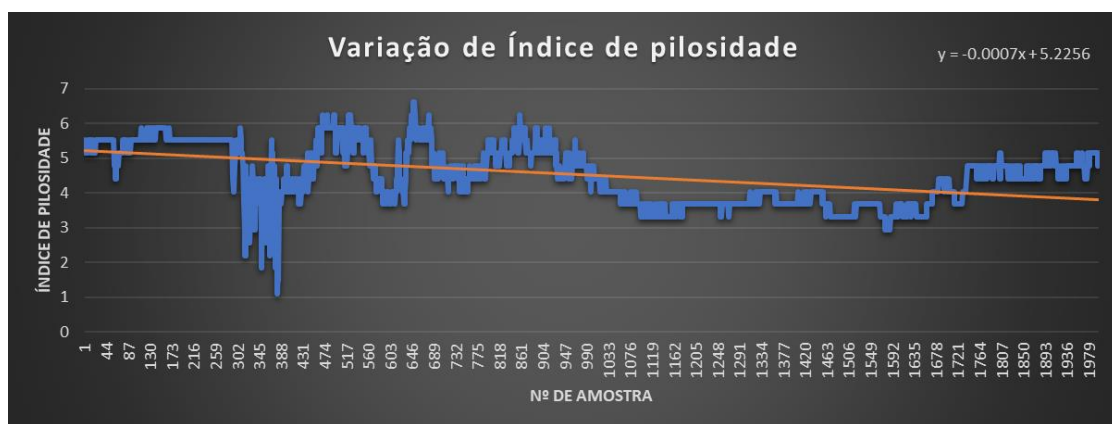


Figura 5.23 - Variação do índice de pilosidade do fio de algodão amarelo

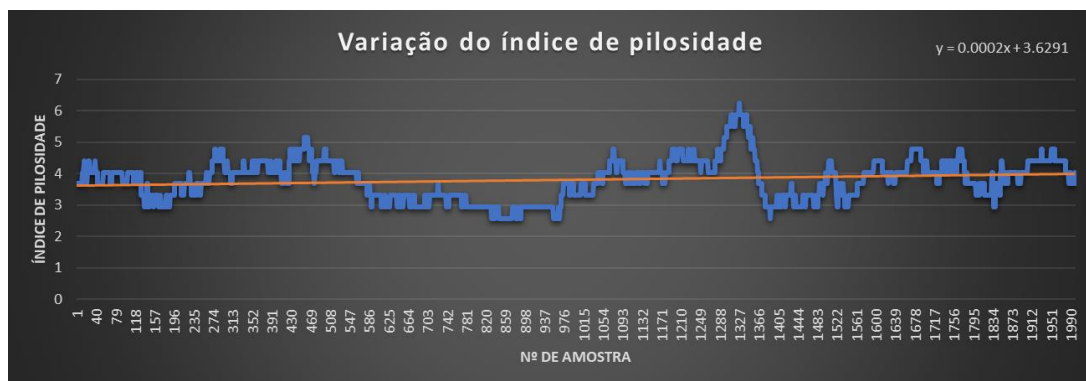


Figura 5.24 - Variação do índice de pilosidade do fio de poliéster branco

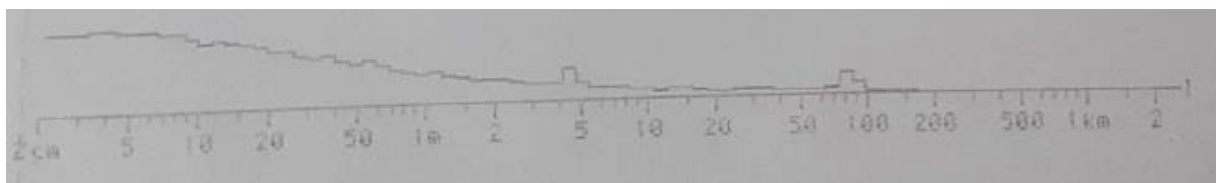


Figura 5.25 - Espectrograma de pilosidade de fio de algodão amarelo

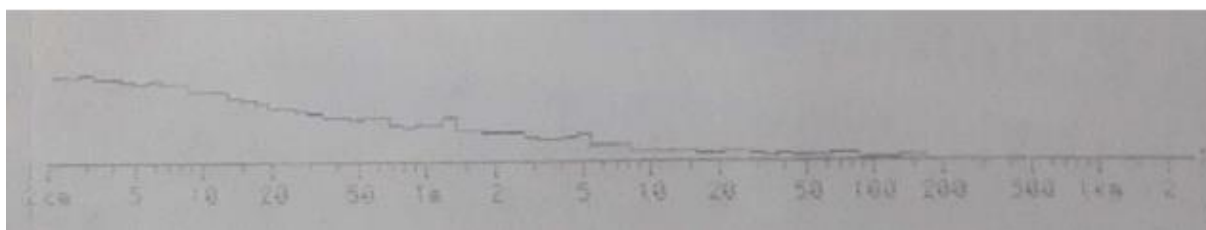


Figura 5.26 - Espectrograma de pilosidade de fio de poliéster branco

5.4.4. Passo de torção

Pela natureza da composição dos três fios disponíveis, apenas será analisado o resultado da variação do passo de torção do fio de algodão roxo, por este ser o único que resulta da torção de mais do que um cabo. De forma a poupar poder computacional e reduzir tempo de análise, foi testado um número reduzido de amostras para o passo de torção, mais propriamente 300 amostras ao longo do comprimento analisado, o que equivale a uma resolução de amostra de 20 em 20 milímetros.

Como é necessário estabelecer um valor rígido para a operação de “*Threshold*” que destaca as cordas, existem situações onde partículas possam não ser detetadas ou divididas a meio para uma única imagem. Isso, naturalmente, vai afetar o resultado obtido para o passo de torção, criando alguns extremos positivos e negativos. No entanto esses extremos serão balanceados e devemos esperar obter um gráfico com uma linha de tendência com declive aproximado do 0.

A Figura 5.27 demonstra a variação dos dados de passo de torção, que foi no final calculada como 0.911 milímetros.



Figura 5.27 - Variação do passo de torção para o fio de algodão roxo (6 metros)

Como estava previsto existem alguns picos de variação, no entanto, esses são separados por zonas de variação relativamente baixa. Quando é calculado o declive para a linha de tendência dos dados obtidos, encontramos o valor extremamente perto de 0 (-0,0006), o que indica uma tendência neutra, como era esperado. Contudo, o nível de variação aqui observado indica que esta análise tem um baixo grau de confiança no caso de amostras únicas, ou seja, o cálculo do passo de torção em imagens únicas está sujeito a um maior grau de incerteza.

5.4.5. Sentido de torção

Nesta parte vai ser analisado a fiabilidade e a repetibilidade dos algoritmos criados na determinação do sentido de torção de fio têxtil. Tal como o parâmetro de passo de torção, o sentido de torção apenas pode ser calculado em fios que são formados por mais de uma corda em torção. Por essa razão, apenas serão apresentados resultados consequentes da análise do fio de algodão roxo. E como o cálculo do sentido de torção está ligado à deteção de partículas, o número de amostras é novamente reduzido.

A determinação do sentido de torção é feita pela determinação do declive de uma das extremidades das partículas de cordas detetadas, ou seja, não vai ser tão afetado por cortes ou falhas na deteção total de partículas, pois ele apenas requer a deteção correta de uma das extremidades de uma das partículas. Por essa razão não é de esperar que exista deteção significativa de valores errados.

A Figura 5.28 apresenta um gráfico acumulativo com os resultados obtidos.

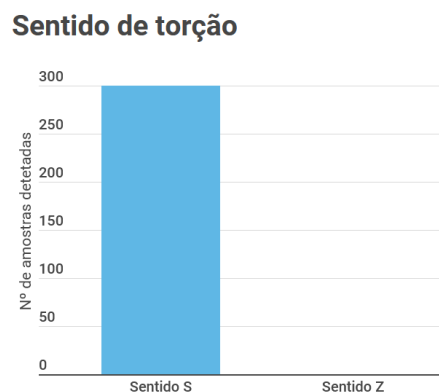


Figura 5.28 - Resultados do cálculo do sentido de torção

Como é possível observar, não existiu discordância de resultados em nenhuma das amostras. Isto é possível graças ao grande nível de resolução da câmara utilizada, que permite obter uma imagem do fio com um tamanho significativamente grande, para possibilitar a boa detecção das extremidades das partículas.

5.4.6. Fibras soltas

O último dado de imperfeições calculado é o de fibras soltas. Como foi mencionado acima, a detecção deste parâmetro na análise de vídeo, acarreta um maior nível de incerteza e erro, por isso, para obter várias amostras com resultados mais exatos recorreu-se a uma análise de várias imagens de cada fio parado. Por essa razão, o número de amostras disponíveis não é tão amplo como os restantes parâmetros, no entanto, será possível chegar a uma conclusão relativamente à repetibilidade e fiabilidade dos dados através de uma inspeção visual.

Seguem-se alguns exemplos de imagens com retas de referência, que se encontram a 0,5 milímetros do centro do núcleo, acompanhadas pelo resultado dado pelos algoritmos criados.

Na Figura 5.29 encontra-se um exemplo de uma imagem do fio de algodão roxo. O resultado de nº de fibras soltas dado pelo programa foi de 8 fibras soltas.

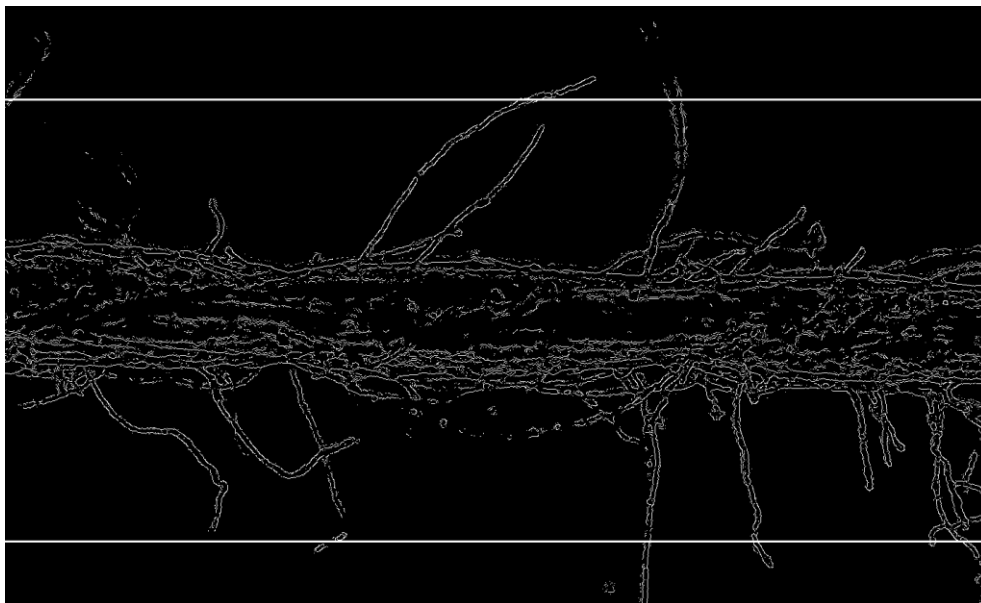


Figura 5.29 - Exemplo 1 de detecção de fibras soltas em fio roxo de algodão

Examinando detalhadamente a imagem é possível observar que as linhas brancas de referência, de facto interseccionam exactamente 8 pilosidades soltas do núcleo do fio, três deles na parte superior da imagem e as restantes 5 na inferior. No entanto, também se conclui que a detecção correcta dos contornos é fulcral para precisão dos resultados. Na Figura 5.30 encontra-se outro exemplo para o mesmo fio, onde o resultado devolvido pelo programa foi de 3 fibras soltas.



Figura 5.30 - Exemplo 2 de detecção de fibras soltas em fio roxo de algodão

Novamente é possível confirmar que o resultado obtido confere com o que se pode observar na imagem, tendo duas pilosidades soltas a interseccionarem a reta superior e uma a inferior.

No que se refere aos restantes fios, foram feitos testes iguais. Na Figura 5.31 aparece um exemplo de um teste feito ao fio de algodão amarelo, onde o resultado obtido foi de 3 fibras soltas.

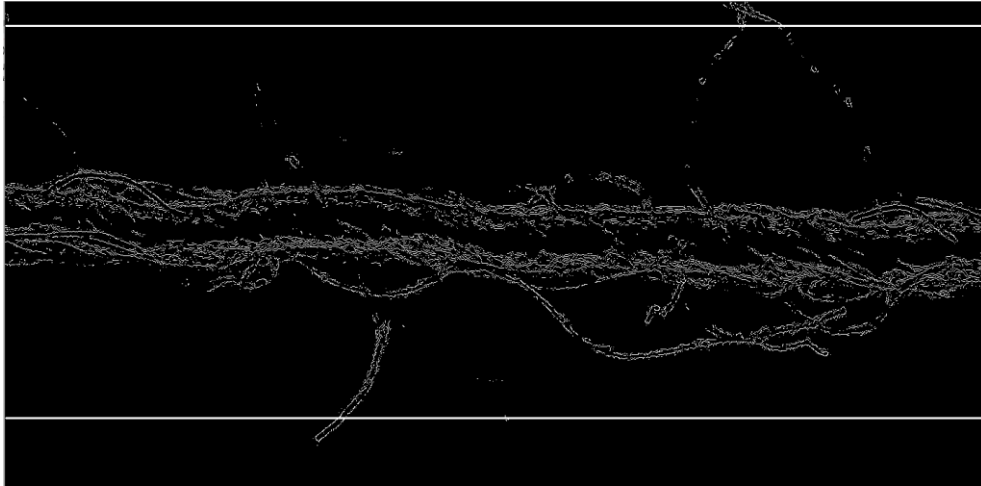


Figura 5.31 - Exemplo de detecção de fibras soltas em fio amarelo de algodão

Nesta imagem, mais uma vez, é possível concluir que o resultado dado é correto, no entanto, é também exemplo de uma fonte possível de erro: a falha na detecção das pilosidades. Como podemos ver, as duas fibras soltas superiores não têm todo o seu comprimento totalmente detetado, significando que se fosse feito a verificação a uma distância mais curta estas não seriam detetadas. Este fator é agravado tendo o fio em movimento, pelo que se decidiu que a obtenção deste parâmetro seria excluída da análise de vídeo.

Como último exemplo, temos a Figura 5.32, que se trata de uma imagem do fio de poliéster branco, o qual teve o resultado de 2 fibras soltas.

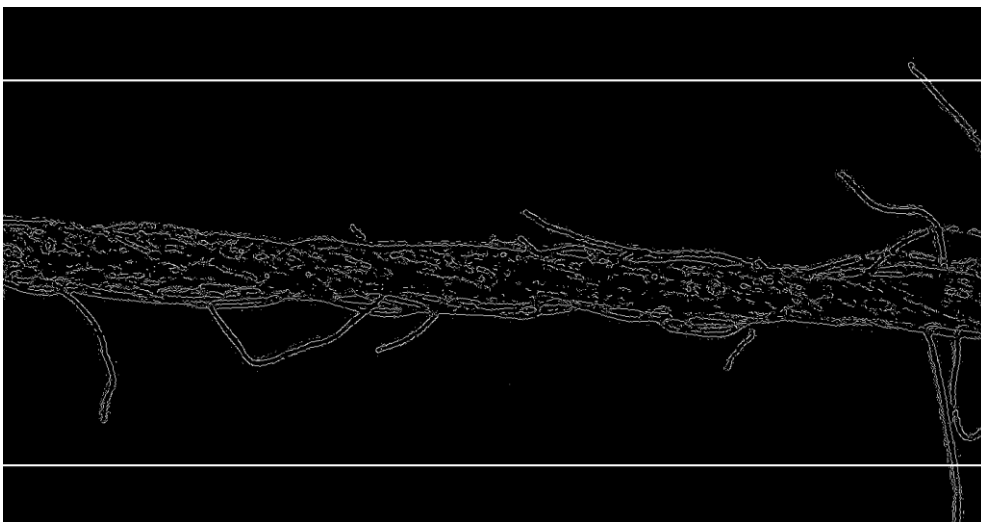


Figura 5.32 - Exemplo de detecção de fibras soltas em fio branco de poliéster

Pode concluir-se que o resultado obtido vai ao encontro do que se observa através da imagem.

Em conclusão, é de enfatizar que foram feitos 15 testes a cada fio e foram obtidos os seguintes resultados:

- Fio de algodão roxo: 87% de resultados em concordância com inspeção visual;
- Fio de algodão amarelo: 80%;
- Fio de poliéster branco: 100%.⁸

Como se pode constatar o programa não tem um alto nível de precisão. Fibras soltas podem não ser detetadas, por falhas na deteção dos seus contornos, como pode ser visto na Figura 5.33, onde foram detetadas apenas 3 fibras soltas, pois uma (situada no canto inferior direito da imagem) tem uma falha no seu contorno no local onde intersesta a linha de referência.

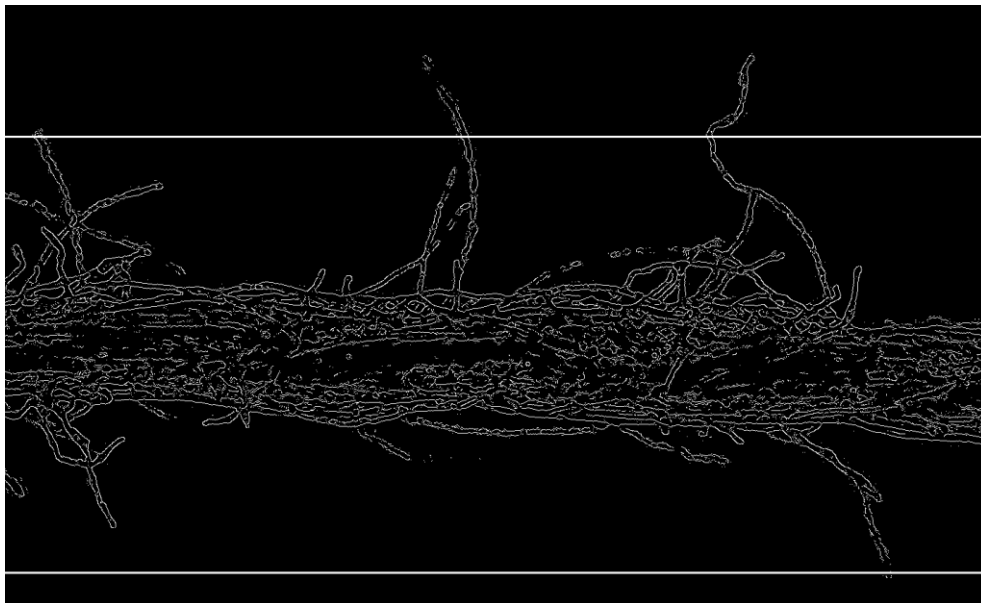


Figura 5.33 - Exemplo de erro na deteção de contorno de pilosidade

Este tipo de erros tem origem na necessidade de estabelecer um grau de sensibilidade fixo para o algoritmo “Canny” para todas as imagens. Esta limitação poderia ser eliminada com a aplicação de inteligência artificial [42], pois esta possibilita em cada imagem definir um grau diferente de sensibilidade ou até testar vários ao mesmo tempo, dependendo não

⁸ É de notar que 80% dos resultados obtidos para este fio eram de 0 pontas soltas e por isso existe menos margem para erro.

só do fio em questão, mas também de outros dados como o índice de pilosidade, tamanho do núcleo, entre outros.

Outro tipo de erros advém da curvatura da pilosidade, como pode ser observado na Figura 5.34, onde uma das fibras soltas (vista na parte inferior direita da imagem) é contada duas vezes. Isto acontece, pois, a pilosidade em questão é o que se pode chamar uma “*loop fiber*”, ou seja uma pilosidade que forma um arco com a sua curvatura. Isto faz com que a pilosidade passe duas vezes na coluna de referência e seja contada incorretamente.

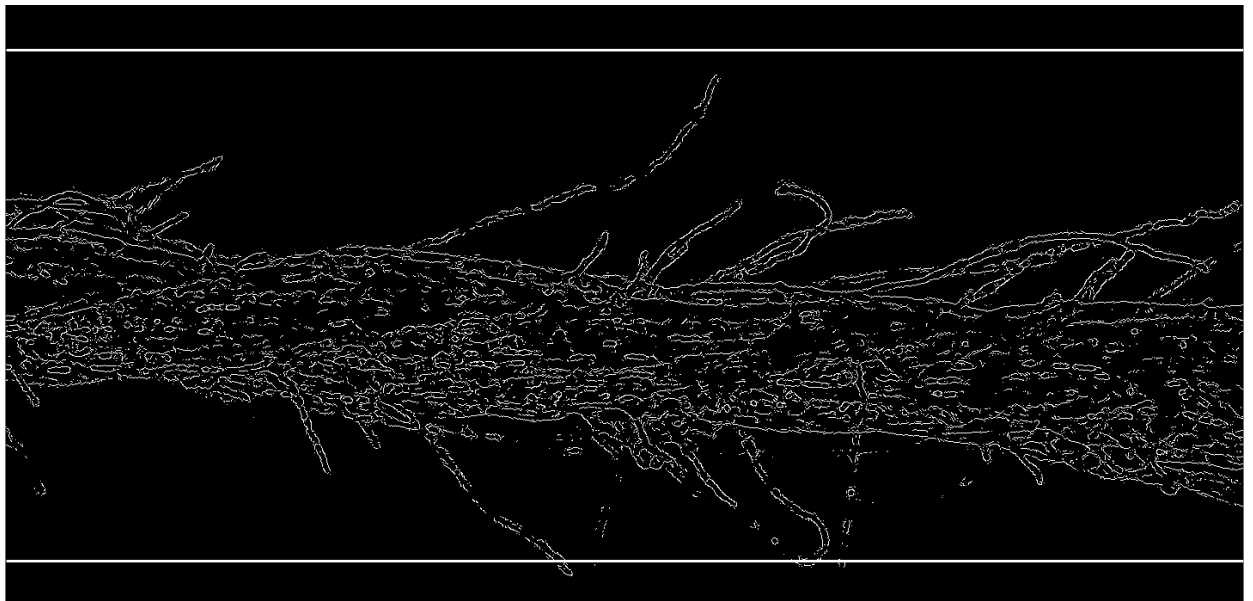


Figura 5.34 - Exemplo de pilosidade em "loop"

Este seria outro aspeto, onde a possível futura implementação de inteligência artificial poderia resolver o problema, pois seria capaz de identificar o tipo de pilosidade em questão, através da memorização de milhares de exemplares, e corrigir o resultado [42].

Por fim, pode concluir-se que os resultados, no que se trata ao cálculo do nº de fibras soltas, estão sujeitos a um considerável número de erros, pelo que, é sugerido que sejam retiradas várias imagens com o fio parado ao longo de todo o seu comprimento e que os resultados sejam depois agregados de forma a obter um resultado com maior nível de confiança. É, por essa razão, que este é o parâmetro onde existe maior oportunidade de melhoramento em trabalhos futuros. Pode, no entanto, concluir-se que os erros existentes advêm do processamento da imagem e não do método de determinação das fibras soltas.

5.5. Conclusões de tratamento de dados

O objetivo principal do programa de análise de qualidade de fio têxtil é obter resultados com um erro relativo abaixo dos 10%, quando comparados com resultados de referência de um equipamento utilizado industrialmente. Esse objetivo foi cumprido, no entanto, é preciso assinalar que, devido a limitações de hardware, apenas foi possível obter resultados exatos para 100 metros de fio, ao contrário do 1 quilómetro que o equipamento USTER testou. Contudo, os resultados de 1 quilómetro podem ser inferidos a partir da análise de 100 metros com um alto grau de confiança. Isso explica a grande proximidade entre os resultados obtidos pelo protótipo e pelo equipamento *USTER Tester 3*.

Para além disso, como foi possível concluir a partir da comparação dos espectrogramas de ambos os equipamentos, a presença de defeitos periódicos encontra-se na mesma gama de periodicidade. Graças a esse facto, foi possível comprovar que os resultados obtidos pelo protótipo vão ao encontro do que é possível obter em equipamentos de testagem industriais, neste caso o equipamento *USTER Tester 3*.

Após a análise detalhada dos resultados obtidos pelo protótipo, é possível concluir que, os resultados dos vários parâmetros calculados apresentam um elevado nível de fiabilidade e repetibilidade, apesar de se poder verificar alguma variação conforme o parâmetro calculado.

6. Conclusões e trabalhos futuros

Neste capítulo são retiradas as conclusões de todo o trabalho realizado, bem como feita uma introspeção relativa ao sucesso do trabalho face os objetivos inicialmente definidos. Para além disso são apresentadas propostas para trabalhos futuros.

6.1. Conclusões

O trabalho aqui exposto faz parte de um projeto inovador, cujo objetivo principal era o desenvolvimento de algoritmos que permitissem a avaliação da qualidade de fio têxtil, utilizando a tecnologia de processamento de imagens, através da análise de imagens e vídeo, que pretende ir ao encontro de uma necessidade crescente específica do setor industrial têxtil.

Foi também projetado o desenvolvimento de um mecanismo de geração de eletricidade estática, que auxiliasse a análise dos dados de pilosidade, através da separação das pilosidades no fio.

Com esse intuito, foi feito inicialmente um estudo aprofundado dos conceitos fundamentais de fio têxtil, de forma a poder identificar os parâmetros necessários para efetuar uma avaliação de qualidade. Também foram estudadas as metodologias de processamento de imagem de forma a obter uma maior compreensão acerca das ferramentas disponibilizadas por esta tecnologia. Estes estudos permitiram a clarificação e subdivisão dos objetivos em etapas mais concretas.

Além disso foram expostos os instrumentos utilizados no desenvolvimento do projeto, desde softwares que permitiram a captura de imagens, o seu processamento e a execução dos algoritmos desenvolvidos, até aos hardwares responsáveis pela criação de um ambiente ideal de captura e pela captura em si de imagens.

Em termos da implementação de um mecanismo de geração electroestática, foram estudados vários métodos de geração de eletricidade estática, de forma a seleccionar o que permitisse cumprir plenamente o objetivo definido. Foi, inicialmente, testada a utilização de um componente pré-fabricado (Gerador de iões negativos) capaz de acumular carga estática de forma a separar as pilosidades do fio. No entanto, concluímos que a potência utilizada pelo componente era demasiada, sendo possível replicar o seu funcionamento com um circuito simples. Por essa razão, foi desenvolvido um protótipo que tem um funcionamento semelhante e uma potência inferior, permitindo a sua implementação no ambiente de captura de imagem. Ainda assim, concluímos que a sua utilização não é necessária, pois testes iniciais aos dados de pilosidade apresentavam resultados com um alto grau de precisão.

Além disso, a separação de pilosidades iria impedir a identificação de um tipo de defeito de fio, nomeadamente o número de pilosidades soltas.

Posteriormente foi detalhada a metodologia utilizada para o desenvolvimento dos algoritmos de processamento de imagem, e para o programa desenvolvido fazer a comunicação com o utilizador. A metodologia foi pormenorizada à posteriori com maior detalhe, de forma a traduzir a linha de ação de cada algoritmo.

Por último, foram testados os algoritmos criados e comparados os resultados com um equipamento de referência. Essa comparação permitiu-nos concluir que o objetivo principal de criação de algoritmos capazes de fazer uma avaliação de qualidade de fio têxtil foi cumprido: atendendo a que foi conseguido comprovar o nível de erro relativo para os resultados obtidos abaixo dos 10%; foi possível demonstrar não só a repetibilidade dos resultados, mas também a sua fiabilidade. No entanto, os testes efetuados apenas foram capazes de analisar uma quantidade relativamente pequena de fio pois, com o aumento de comprimento de fio analisado, aumenta também os requisitos computacionais necessários para a sua análise. Esse facto aliado à deteção de áreas onde os algoritmos criados têm resultados menos fiáveis permite que em trabalhos futuros estes e outros resultados possam ser aprimorados.

6.2. Trabalhos futuros

No que diz respeito a desenvolvimentos futuros deste projeto sugere-se, a implementação de inteligência artificial. Com a utilização dos algoritmos criados neste projeto é possível obter enorme número de imagens e resultados que podem ser utilizados como base para ensinar uma rede neuronal a identificar imperfeições em imagens de fio têxtil [42]. Esta implementação não só poderia vir a melhorar os algoritmos nas áreas onde eles são menos fiáveis, mas também conseguir aumentar a sua performance e reduzir custos computacionais de cada análise. Para além disso poderiam eventualmente ser introduzidos outros tipos de fios, com constituições diferentes [42].

Também é sugerida a expansão da interface do programa, adicionando mais opções de visualização de dados e de pós processamento, sem a necessidade de recorrer a softwares externos como o Microsoft Excel.

Referências Bibliográficas

- [1] L. A. Dobrzański, “Significance of materials science for the future development of societies”, *J Mater Process Technol*, vol. 175, n. 1–3, pp. 133–148, Jun. 2006, doi: 10.1016/J.JMATPROTEC.2005.04.003.
- [2] K. Yildiz, Z. Yildiz, Ö. Demir, e A. Buldu, “Determination of Yarn Twist Using Image Processing Techniques”, Set. 2015. doi: 10.17758/UR.U0615024.
- [3] W. Wang, B. Xin, N. Deng, J. Li, e N. Liu, “Single vision based identification of yarn hairiness using adaptive threshold and image enhancement method”, *Measurement (Lond)*, vol. 128, pp. 220–230, Nov. 2018, doi: 10.1016/j.measurement.2018.06.029.
- [4] *Application Handbook USTER Statistics 2013 | PDF | Yarn | Coefficient Of Variation* [Online]. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/215008519/Application-Handbook-USTER-Statistics-2013>. Acedido a: Dez. 27, 2022).
- [5] B. C. Goswami, J. G. Martindale, e F. L. Scardino, *Textile Yarns - Technology, Structure and Applications*. John Wiley & Sons, 1997.
- [6] V. Carvalho, F. Soares, N. Gonçalves, A. Ferraz, R. Vasconcelos, e M. Belsley, “Image processing: Characteristics and applications in textile industry and biomedicine”, *Image Processing: Methods, Applications and Challenges*, pp. 1–55, 2012.
- [7] V. Carvalho, F. Soares, N. Gonçalves, A. Ferraz, R. Vasconcelos, e M. Belsley, “Image processing: characteristics and applications in textile industry and biomedicine”, *Nova Science Publishers*, 2012.
- [8] V. H. Carvalho, M. S. Belsley, R. M. Vasconcelos, e F. O. Soares, “Automatic Yarn Characterization System: Design of a Prototype”, *IEEE Sens J*, vol. 9, n. 8, pp. 987–993, 2009, doi: 10.1109/JSEN.2009.2025810.
- [9] V. Carvalho, M. Belsley, R. M. Vasconcelos, e F. O. Soares, “Yarn periodical errors determination using three signal processing approaches”, *Digit Signal Process*, vol. 23, n. 5, pp. 1427–1440, Set. 2013, doi: 10.1016/J.DSP.2013.06.003.

- [10] *TEXTILEWORLD: Composite Yarn Manufacturing & Their Applications* [Online]. Disponível em: <http://maxatex.blogspot.com/2011/04/composite-yarn-manufacturing-their.html>. Acedido a: Set. 14, 2022.
- [11] L. Yang, J. Motohisa, J. Takeda, e T. Fukui, *Mechatronics in engineering design and product development*. 2007.
- [12] L. Vincent, “Morphological Grayscale Reconstruction in Image Analysis: Applications and Efficient Algorithms”, *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 2, n. 2, pp. 176–201, 1993, doi: 10.1109/83.217222.
- [13] *Color / Processing.org* [Online]. Disponível em: <https://processing.org/tutorials/color>. Acedido a: Out. 19, 2022.
- [14] *2469 Rgb Pixel Cliparts, Stock Vector and Royalty Free Rgb Pixel Illustrations* [Online]. Disponível em: https://www.123rf.com/clipart-vector/rgb_pixel.html?sti=mcseikg80apuu6y818 | Acedido Out. 19, 2022.
- [15] Z. Li e M. S. Drew, “Pixel & RGB.pdf”, *Museum*, 2003. Acedido a: Dez. 29, 2022. Disponível: https://www.academia.edu/36068566/Pixel_and_RGB_pdf
- [16] *RGB (3x8-bit pixel) mode | Download Scientific Diagram* [Online]. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/RGB-3x8-bit-pixel-mode_fig1_346669123. Acedido a: Out. 19, 2022.
- [17] D. Hema e Dr S. Kannan, “Interactive color image segmentation using HSV color space”, *Science and Technology Journal*, 2020.
- [18] *HSV – Wikipédia, a enciclopédia livre* [Online]. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/HSV>. Acedido a: Out. 19, 2022.
- [19] F. Ribeiro, “Operações Aritméticas/Lógicas, Segmentação, Máscaras de Convolução e Filtros Morfológicas”, Texto pedagógico, *Universidade do Minho*, 2020.
- [20] P. K. Sahoo, S. Soltani, e A. K. C. Wong, “A survey of thresholding techniques”, *Comput Vis Graph Image Process*, vol. 41, n. 2, pp. 233–260, Fev. 1988, doi: 10.1016/0734-189X(88)90022-9.

- [21] *OpenCV: Miscellaneous Image Transformations* [Online]. Disponível em:
https://docs.opencv.org/4.x/d7/d1b/group__imgproc__misc.html#ggaa9e58d2860d4afa658ef70a9b1115576ac7e89a5e95490116e7d2082b3096b2b8. Acedido a: Out. 19, 2022.
- [22] L. Torok, “Método de Otsu”, *Instituto de Computação - Universidade Federal Fluminense*. 2016.
- [23] *Otsu’s method – Wikipedia* [Online]. Disponível em:
https://en.wikipedia.org/wiki/Otsu%27s_method. Acedido a: Out. 19, 2022.
- [24] A. C. Bovik e S. T. Acton, “Basic Linear Filtering with Application to Image Enhancement”, *The Essential Guide to Image Processing*, pp. 225–239, Jan. 2009, doi: 10.1016/B978-0-12-374457-9.00010-X.
- [25] E. Trucco e A. Verri, *Introductory Techniques for 3-D Computer Vision*. 1998.
- [26] *Canny edge detector – Wikipedia* [Online]. Disponível em:
https://en.wikipedia.org/wiki/Canny_edge_detector. Acedido a: Out. 19, 2022.
- [27] B. Girod, “Digital Image Processing”, *Universidade de Stanford*. 2013.
- [28] *OpenCV: Morphological Transformations* [Online]. Disponível em:
https://docs.opencv.org/4.x/d9/d61/tutorial_py_morphological_ops.html. Acedido a: Out. 19, 2022.
- [29] P. Caldas, “Automação de um Sistema de Desenrolamento e Enrolamento de Fio Têxtil”, *Universidade do Minho, Guimarães*, 2021.
- [30] P. Caldas, F. Sousa, F. Pereira, H. Lopes, e J. Machado, “Automatic system for yarn quality analysis by image processing”, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, vol. 44, n. 11, p. 565, 2022, doi: 10.1007/s40430-022-03875-3.
- [31] F. Sousa, “Projeto Mecânico de um Sistema de Desenrolamento e Enrolamento de Fio Têxtil”, *Universidade do Minho, Guimarães*, 2021.
- [32] *Static electricity – Wikipedia* [Online]. Disponível em:
https://en.wikipedia.org/wiki/Static_electricity. Acedido a: Out. 19, 2022.

- [33] *Triboelectric effect* – *Wikipedia* [Online]. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Triboelectric_effect. Acedido a: Out. 19, 2022.
- [34] H. Zou *et al.*, “Quantifying the triboelectric series”, *Nat Commun*, vol. 10, n. 1, p. 1427, Dez. 2019, doi: 10.1038/s41467-019-09461-x.
- [35] J. Henniker, “Triboelectricity in Polymers”, *Nature*, vol. 196, n. 4853, p. 474, 1962, doi: 10.1038/196474a0.
- [36] C. Xu *et al.*, “On the Electron-Transfer Mechanism in the Contact-Electrification Effect”, *Advanced Materials*, vol. 30, n. 15, p. e1706790, Abr. 2018, doi: 10.1002/adma.201706790.
- [37] *Materials that Cause Static Electricity by Ron Kurtus - Physics Lessons: School for Champions* [Online]. Disponível em: https://www.school-for-champions.com/science/static_materials.htm#YbDqdboYyUk. Acedido a: Out. 19, 2022.
- [38] E. M. Purcell, E. J. Morin, *Electricity and Magnetism*. Cambridge University Press, 2013.
- [39] W. M. Saslow, *Electricity, magnetism, and light*. US: Academic Press, 2002. Acedido a: Out. 19, 2022. Disponível em: <https://books.google.com/books?id=4liwlxqt9NIC&q=electrostatic+induction+equilibrium&pg=PA159>
- [40] *Electrostatic induction* – *Wikipedia* [Online]. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Electrostatic_induction. Acedido a: Out. 19, 2022.
- [41] Processos de Eletrização - Só Física [Online]. Disponível em: <https://www.sofisica.com.br/conteudos/Eletromagnetismo/Eletrostatica/eletrizacao3.php>. Acedido a: Out. 19, 2022.
- [42] M. Sikka, A. Sarkar, e S. Garg, «Artificial intelligence (AI) in textile industry operational modernization», *Research Journal of Textile and Apparel*, Set. 2022, doi: 10.1108/RJTA-04-2021-0046.

[43] Entenda distância focal, ângulo de visão e círculo de imagem – apenas imagens [Online]. Disponível em: <https://apenasimagens.com/pt/distancia-focal-circulo-imagem/>. Acedido a: Out. 19, 2022.

Apêndice A – Cálculo matemático do tamanho real da imagem e do fator de ampliação da lente

Antes de ser possível fazer qualquer tipo de medição numa imagem capturada, é necessário saber com precisão as dimensões de um objeto de referência, do qual podemos extrapolar todas as outras dimensões desejadas. O melhor objeto de referência é o pixel, sendo que é o objeto elementar da imagem e que tem uma forma geométrica (quadrado) simples.

Para obter as dimensões reais do pixel, primeiro vamos procurar obter a dimensão da imagem no seu total. Depois, apenas é necessário dividir a largura da imagem pelo número de pixels presentes numa fila da imagem.

Para obter as dimensões da imagem à altura do fio, foi primeiro calculado as dimensões reais do fundo da imagem. Sabendo a distância entre o fundo da imagem e a câmara, bem como a distância entre a câmara e o fio, permite efetuar um cálculo comparativo para a obtenção do comprimento real do fio na imagem. Isto é possível pois a área da secção da imagem aumenta proporcionalmente com a distância entre a secção e a lente da câmara, como se demonstra na Figura A.1.

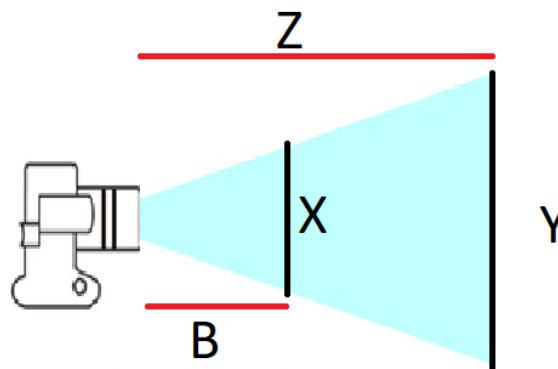


Figura A.1 - Visualização do campo de visão [43]

De forma a obter o tamanho real do fundo da imagem foi captada uma imagem onde o fundo continha um quadrado com uma dimensão conhecida de 2 milímetros. Depois, foi aplicada uma regra de três simples para descobrir o comprimento total da imagem (**Y**), que é

4,23⁹ milímetros. Como sabemos que a dimensão da imagem é de 1440x1080 pixels podemos também calcular diretamente a altura da imagem em 3,17 milímetros.

Com o tamanho do fundo da imagem calculado, foi medida a distância entre o fundo da imagem e a lente da câmara (**Z**) e a distância entre o fundo da câmara e o fio (**B**), cujos resultados foram de 41,6 milímetros e 12,8 milímetros respectivamente.

Com todas estas dimensões podemos então aplicar uma regra de três simples que permita calcular o comprimento real da secção de imagem onde o fio se encontra (**X**).

A razão entre o comprimento do fundo da imagem (**Y**) e a distância entre o fundo e a lente (**Z**) é igual à razão entre o comprimento da secção do fio (**X**) e a distância entre o fio e a lente (**B**). Isto pode ser traduzido na Equação 17.

$$\frac{4,23}{41,6} = \frac{X}{41,6 - 12,8} \quad \therefore X = \frac{4,23 \times 28,8}{41,6} = 2,92 \text{ mm}$$

Equação 17 - Cálculo do tamanho real da imagem

Tendo o valor do comprimento da secção do fio, podemos obter a sua altura, pois a proporção entre a altura e comprimento de qualquer secção de imagem é conhecida. Com a medição da secção do fio da imagem podemos então calcular as dimensões reais do pixel. Sabendo que uma fila de imagem, contém 1440 pixels e mede 2,92 milímetros, obtemos o valor de 2,02 nanómetros.

Outro parâmetro importante de saber é o fator de ampliação da lente utilizada. Para conseguir calcular matematicamente este valor, é necessário fazer uma comparação entre dimensões de imagens com e sem o uso da lente. Como já se obteve uma medição de imagem com a lente, apenas é preciso repetir o processo sem a sua utilização (assegurando que a distância entre a câmara e o fundo é a mesma que a distância entre a lente e o fundo). O resultado obtido para o comprimento da imagem sem o uso da lente de ampliação foi de 83,2 milímetros. O fator de ampliação foi então calculado como demonstra a Equação 18.

$$Fa = \frac{83,2}{4,23} = 19,7 \sim 20x$$

Equação 18 - Cálculo de fator de ampliação

⁹ É importante notar que estes resultados foram obtidos já com a lente de ampliação colocada na câmara pois, é com essa lente que as imagens serão capturadas.

Apêndice B – Discretização do código

Neste apêndice será apresentado todo o código desenvolvido, comentado de forma a seguir a linha de pensamento dos algoritmos criados.

Primeiro é necessário definir os vários setores do projeto criado. Existem 2 a ter em consideração: o “*header*”, que está principalmente responsável pelo funcionamento do IGU (Interface gráfica do utilizador), e o “*script*” que é responsável pela execução dos algoritmos criados. Esta divisão não é estritamente necessária, no entanto, contribui para a otimização e melhor funcionamento do código.

Começando pelo “*script*” temos inicialmente as definições das bibliotecas computacionais utilizadas.

```
#define _USE_MATH_DEFINES // Permite utilizar números matemáticos como o PI
// Bibliotecas de opencv
#include <opencv2/imgcodecs.hpp>
#include <opencv2/highgui.hpp>
#include <opencv2/imgproc.hpp>
// Bibliotecas gerais do visual studio
#include <iostream>
#include <string>
#include <stdint.h>
#include <cmath>
#include <numeric>
#include "Form1.h"
```

Figura B.1 - Inclusão de bibliotecas

De seguida estão “*namespaces*” utilizados. Estes servem para separar funções que têm o mesmo nome e retirar ambiguidade do código.

```
using namespace FrontEnd;
using namespace System;
using namespace System::Windows::Forms;
using namespace cv;
```

Figura B.2 - Inclusão de “namespaces”

Finalmente antes de se criar as funções são declaradas as variáveis de base para todo o programa.

```
float ro, po = 0.65, l = 2.72, d = 2.2, mat = 0, tolborboto = 2, pd, tex, V, med, CVf, Uf, distpon = 0.5, pontas, hi, sh, passo, passoM
double mediaHI;
int fin = 0, gros = 0, borboto = 0, fps = 200, ls = 0, li = 0, ps = 0, particulas = 0, cordas, twist, ke = 0;
bool part = false;
```

Figura B.3 - Declarações de variáveis base

De seguida é chamada a primeira função (Análise de imagem), dentro da sua declaração estão as variáveis que são importadas do “header”, ou seja, as variáveis definidas pelo utilizador. O primeiro passo dentro da função é colocar a zero todos os contadores e escolher entre todas as imagens disponíveis qual irá ser analisada, o ciclo “switch” serve mesmo para esse caso, dependendo da variável (im), uma imagem diferente será utilizada.

```
// // Função chamada para a análise de imagem
double analiseimagem(double toll, double tol2, int divi, int mat, int im) {
    fin = 0, gros = 0, borboto = 0, ps = 0, pontas = 0, passo = 0, cordas = 0, twist = 0, particulas = 0; // Colocar todos estes valores
    std::string path; // Define o caminho da imagem
    switch (im) { // O ciclo switch permite definir vários caminhos possíveis, deixando uma variável externa (im) definir qual dos camin
    case 1:
        path = "Imagens/1.bmp";
        break;
    case 2:
        path = "Imagens/2.bmp";
        break;
    case 3:
        path = "Imagens/3.bmp";
        break;
    case 4:
        path = "Imagens/4.bmp";
        break;
    case 5:
        path = "Imagens/5.bmp";
        break;
    case 6:
        path = "Imagens/6.bmp";
        break;
    case 7:
        path = "Imagens/7.bmp";
        break;
    case 8:
        path = "Imagens/8.bmp";
        break;
    case 9:
        path = "Imagens/9.bmp";
        break;
    case 10:
        path = "Imagens/10.bmp";
        break;
    case 11:
        path = "Imagens/Branco no amarelo 2.bmp";
        break;
    }
}
```

Figura B.4 - Declaração da localização das imagens

O próximo passo é definir todas as matrizes que vão ser utilizadas para os processos de PI, bem como definir o elemento estrutural a utilizar nas operações morfológicas.

```
Mat img = imread(path); // Lê a imagem
Mat imgGray, imgBlur, imgThre, imgClo, imgInv, imgCanny, imgSub, imgAnd, imgTg, imgFi; // Define várias matrizes para todas as diferentes imagens resultantes
Mat kernel = getStructuringElement(MORPH_RECT, cv::Size(30, 30)); // Definição do kernel
```

Figura B.5 - Declaração das matrizes base e leitura da imagem

De seguida é feita a diferenciação da densidade do material e da sensibilidade a utilizar no processo “Canny” dependendo do material que o utilizador seleccionou.

```

////////////////////////////////////// INTERAÇÃO COM O UTILIZADOR ////////////////////////////////////////
// Definição do valor de densidade a utilizar dependendo do material a analisar
if (mat == 1)
{
    ro = 1.34;
    ke = 6;
}
else if (mat == 2)
{
    ro = 1.52;
    ke = 10;
}

```

Figura B.6 - Atribuição de variáveis, dependentes de material

Com a imagem lida e todas as variáveis relevantes declaradas e definidas, o próximo passo é a execução das operações de processamento de imagem.

```

////////////////////////////////////// PROCESSOS DE PROCESSAMENTO ////////////////////////////////////////

cv::cvtColor(img, imgGray, COLOR_BGR2GRAY); // Transforma a imagem em escala de cinzento
cv::GaussianBlur(imgGray, imgBlur, cv::Size(5, 5), 10, 0); // Gera um efeito de Blur
cv::threshold(imgBlur, imgThre, 0, 255, THRESH_BINARY | THRESH_OTSU); // Threshold OTSU
cv::morphologyEx(imgThre, imgClo, MORPH_CLOSE, kernel); // Processo de Closing que consiste na dilatação e depois erosão
cv::threshold(imgClo, imgInv, 0, 255, THRESH_BINARY_INV); // Inverter cores
cv::threshold(imgGray, imgTg, 60, 255, THRESH_BINARY); // Faz um Threshold para a separação das partículas
cv::morphologyEx(imgTg, imgFi, MORPH_OPEN, kernel); // Operação de opening para isolar as partículas
cv::threshold(imgFi, imgFi, 0, 255, THRESH_BINARY_INV); // Inverter cores de imgFi

cv::GaussianBlur(imgBlur, imgBlur, cv::Size(5, 5), 10, 0); // Gera um efeito de Blur
cv::Canny(imgBlur, imgCanny, ke, ke); // Algoritmo de detecção de contornos

cv::bitwise_and(imgInv, imgCanny, imgAnd); // Operação logica de AND entre a imagem com nucleo isolado e a imagem de detecção de contornos
cv::absdiff(imgCanny, imgAnd, imgSub); // Operação de subtração entre a imagem de detecção de contornos e a imagem resultante da operação AND

```

Figura B.7 - Operações de processamento de imagem

Com o processamento de imagem feito, começa-se a retirar informação das imagens resultantes. Mas primeiro torna-se necessário declarar matrizes e parâmetros intermédios utilizados nos processos matemáticos de recolha de informação das imagens.

```

////////////////////////////////////// PROCESSOS INTERMÉDIOS ////////////////////////////////////////

uint dist = distpon * (1080 / d); // Distância limite apartir do qual uma pilosidade é cosniderada solta do núcleo
// Declaração de contadores e definição de valor inicial
uint y = 0;
uint k = 0;
uint p = 0;
uint ls = 0, li = 0, ps = 0, pa = 0, pi = 0;
uint h = 0;
uint q;
std::vector<uint> numero; // Vetor onde se vai guardar o numero de pixels brancos em cada coluna
std::vector<double> area; // Vetor onde se guarda os valores de area
std::vector<float> mediaML; // Vetor onde se guarda os valores médios de Massa Linear
std::vector<float> partM, partI, partF, passoMed; // Vetores onde se vão guardar o meio, início, fim de partículas, bem como os passos de torção calculados

```

Figura B.8 - Declaração de parâmetros intermédios

Os primeiros dados recolhidos são da imagem com o núcleo isolado, e é feito inicialmente a contagem de pixels brancos em cada coluna para o cálculo do diâmetro médio. De seguida é encontrado o limite superior e inferior do núcleo.

```

for (uint r = 0; r < imgInv.cols; r++) // Contar o numero de pixels brancos em cada coluna
{
    for (uint c = 0; c < imgInv.rows; c++)
    {
        k = imgInv.at<uchar>(c, r);
        if (k == 255)
        {
            p++; // Contador de pixel branco
        }
    }
    numero.push_back(p); // Guarda o valor de p no vetor número
    p = 0; // Recomeça o contador
}
for (uint r = 0; r < imgInv.rows; r++) // Localização dos pontos superiores e inferiores do nucleo
{
    k = imgInv.at<uchar>(r, 540); // 540 é a coluna central da imagem
    if (ls == 0) // se o limite superior ainda não tiver sido definido ...
    {
        if (k == 255) // se o pixel medido for branco...
        {
            ls = r; // define o pixel medido como o limite superior do núcleo
        }
    }
    else if (ls > 0 && li == 0) // se o limite superior estiver definido e o limite inferior não..
    {
        if (k < 255) // se o pixel avaliado não for branco ...
        {
            li = r; // o pixel em questão é tornado o limite inferior do núcleo
        }
    }
}
}

```

Figura B.9 - Cálculo do diâmetro e dos limites do núcleo

Com os limites do núcleo delineados é calculada a fila central do núcleo e as filas limites da imagem, a partir das quais uma pilosidade detetada constitui pelo solto. É depois analisada a imagem com as pilosidades isoladas e feita a contagem de pixels que não fazem parte do núcleo e com essa informação calculado o índice de pilosidade. De seguida, são contados os pixels que se encontram a mais que 0.5 milímetros do núcleo e com essa informação é calculado o número de fibras soltas.


```

float lim = (li + ls) / 2; // Cálculo do coluna central do núcleo do fio
uint lm = round(lim); // Arredondamento de forma a obter um número inteiro
uint s = ls - dist, inf = li + dist; // Utiliza o dist pon e os limites do núcleo para definir as filas de referência para as pontas soltas
for (uint r = 0; r < imgSub.cols; r++) // Verificação do número de pixels da pilosidade na imagem de pilosidades isoladas
{
    for (uint c = 0; c < imgSub.rows; c++)
    {
        k = imgSub.at<uchar>(c, r);
        if (k == 255) // Se o pixel for branco
        {
            h++; // Sobe o contador de pixels de pilosidades
        }
    }
}
h = (h / 4) * (d / 1080); // Conversão do comprimento da pilosidade em mm
hi = h / l; // Cálculo do índice de pilosidade
for (uint r = 0; r < imgCanny.cols; r++) //Contagem de pixels de pontas soltas
{
    if (s <= 1 || inf >= 1080) // Se algum dos limites calculados se encontrar fora da imagem, esta operação é parada
        //e definido um valor específico para alertar o header que houve erro
    {
        ps = 999;
        break;
    }
    y = imgCanny.at<uchar>(inf, r);
    k = imgCanny.at<uchar>(s, r);
    if (k == 255 || y == 255) // Se algum dos pixels medidos for branco conta-se 1 ponta solta
    {
        ps++; //Aciona o contador de pontas soltas
    }
}
pontas = (ps / 2.5); // Divide-se por 2 pois ambas as arestas das pilosidades são contadas
pontas = floor(pontas); //Faz um arredondamento do valor pontas para um número inteiro
for (uint r = 0; r < imgEi.cols; r++)

```

Figura B.10 - Cálculo de índice de pilosidade e fibras soltas

Depois, passa-se para a análise da imagem de partículas isoladas. Olhando para a fila central do núcleo é contado como parte de uma partícula os pixels que tiverem valor 255 (branco). Sempre que o estado do pixel avaliado passa de 0 para 255 (preto para branco) é considerado o início de uma nova partícula. Quando o inverso acontece, é considerado o final da partícula. Para isso utilizam-se variáveis booleanas. É também guardada a posição do primeiro pixel da partícula, para que se possa fazer a determinação do sentido de torção. Isto é feito contando o número de pixels com valor 255 na coluna do pixel guardado e contando o número que se encontra acima e abaixo da fila central do núcleo. Caso existam mais pixels brancos acima da fila central, indica que o enrolamento é feito em Z, pois o declive dos limites laterais da partícula é acima de 90°. Por outro lado, caso existam mais pixels brancos abaixo da fila centra, o enrolamento é contado como em S.

```

for (uint r = 0; r < imgFi.cols; r++)
{
    k = imgFi.at<uchar>(lm, r);
    if (k == 255) // Verifica se existe mudança de estado da partícula
    {
        if (part == false) // Se o booleano de partícula estiver em falso, significa que este é o início de uma partícula
        {
            particulas++; // Aumenta em +1 o contador de partículas
            partI.push_back(r); // Guarda o valor de r no vetor de início de partícula
            q = r; // Guarda a posição do primeiro pixel
        }
        part = true; // Ativa o booleano de partícula
    }
    else if (k == 0) // Define o estado da partícula para negativo
    {
        if (part == true) // Se o booleano de partícula estiver ativo
        {
            partF.push_back(r); // Guarda a posição de pixel como o do final de partícula
        }
        part = false; // Desativa o booleano de partícula
    }
}

for (uint r = 0; r < imgFi.rows; r++) // Verifica se a torção é em S ou Z
{
    k = imgFi.at<uchar>(r, q); // Verifica todas as linhas na coluna onde a última partícula acaba
    if (k == 255)
    {
        if (r < lm) // Se o pixel contado estiver abaixo da coluna média do fio conta +1
        {
            pa++;
        }
        else if (r > lm) // Se o pixel contado estiver em cima da coluna média do fio conta +1
        {
            pi++;
        }
    }
}

```

Figura B.11 – Contagem de partículas

```

if (pa > pi) // Se pa for maior que pi significa que a torção é em S
{
    twist = 1;
}
else if (pa < pi) // Se pa for menor que pi significa que a torção é em Z
{
    twist = 2;
}

```

Figura B.12 - Determinação do sentido de torção

Antes de se calcular os valores base do fio é preciso definir as divisões da imagem. Para isso dividem-se o número de colunas existentes na imagem pelo número de divisões desejadas. Segue-se o cálculo do diâmetro médio em cada uma das divisões.

```

double pixcomp = imgInv.cols / divi; // Calculasse o comprimento de cada divisão
for (double i = 0; i < divi; i++) // Vai fazer o cálculo dos parâmetros para cada divisão
{
    float a = (std::accumulate(numero.begin() + i * pixcomp, numero.begin() + (i + 1) * pixcomp, 0) / pixcomp) * (d / 1000); //Valor de diâmetro da divisão
    float b = (po * ro * (M_PI * pow((a * 0.1 / 2), 2))) * 100000; // Valor da massa linear para a divisão
    mediaML.push_back(b); // Guarda o valor da massa linear da divisão no vetor
    area.push_back(a); // Guarda o valor do diâmetro da divisão no vetor
}

```

Figura B.13 - Cálculo de diâmetro de cada divisão da imagem

A partir deste ponto já podem ser feitos os cálculos finais dos restantes parâmetros base do fio.

```

//////////////////////////////////// CALCULO DE PARAMETROS BASE //////////////////////////////////////
float px = std::accumulate(numero.begin(), numero.end(), 0) / 1440; // Média de pixels brancos por coluna
pd = (px * (d / 1080)); // Conversão de diâmetro de pixels para mm
V = M_PI * pow(pd/2, 2) * l; // Cálculo de Volume em mm3
tex = (po * ro * (M_PI * pow(pd * 0.1 / 2, 2))) * 100000; // Cálculo de massa linear em Tex

Uf = (100 * abs(mediaML.at(divi - 1) - tex)) / tex; // Calcula o desvio médio de massa
CVf = Uf * 1.25; // Calcula o coeficiente de variação de massa

double max = px * (1 + tol1), min = px * (1 - tol2), borb = px * (1 + tolborboto); // Definie as referencias para um ponto grosso, fino e borbotado respectivamente

```

Figura B.14 - Cálculo dos parâmetros base do fio

É seguido pelo cálculo do valor do passo torção. Para isso é calculada a diferença entre os pontos de início e final de cada partícula de forma a determinar os seus centros geométricos. É depois calculada a distância entre os centros de 2 partículas diferentes. Caso não exista a presença de 2 partículas na imagem, o fio é considerado como um fio de 1 corda.

```

if (particulas > 2) // Conta o numero de cordas. Se houver mais de 2 particulas
{
    cordas = 2; // são consideradas duas cordas
    for (int i = 0; i < partI.size(); i++) // Cálculo do passo de torção
    {
        float pmp = (partI.at(i) + partF.at(i)) / 2; // Cálculo da posição do centro geométrico da partícula
        partM.push_back(pmp); // Guarda a posição central da partícula
    }
    for (int i = 0; i < partM.size() - 1; i++)
    {
        passo = partM.at(i + 1) - partM.at(i); //Calcula o passo de torção entre 2 particulas
        passoMed.push_back(passo); // Guarda o valor de passo de torção
    }

    passo = std::accumulate(passoMed.begin(), passoMed.end(), passoMed.at(0)) / passoMed.size(); // Calcula o valor médio do passo de torção
    passo = passo * (1 / 1440); // Converteo o valor de pixel para milimetro
}
else // senão é considerado 1 corda e o passo é considerado 0.
{
    cordas = 1;
    passo = 0;
}

```

Figura B.15 - Cálculo do passo de torção de imagem.

Para terminar a função de análise de imagem, são comparados os valores de diâmetro de cada divisão da imagem com o valor médio de diâmetro de forma a detetar a presença de defeitos dimensionais.

```

double max = px * (1 + tol1), min = px * (1 - tol2), borb = px * (1 + tolborboto); // Definie as referencias para um ponto grosso, fino e borbotado respectivamente

for (int i = 0; i < divi; i++) {
    if (numero.at(i) < min) // Se o valor da massa linear se encontra abaixo da referencia do minimo, é considerado zona fina
    {
        fin++;
    }
    else if (numero.at(i) > max) // Se a massa linear da seccção for superior ao valor maximo...
    {
        if (numero.at(i) > borb) // ... e superior ao valor de borbotado é considerado borbotado...
        {
            borbotado++;
        }
        else // ... caso contrário é considerado zona grossa
        {
            gros++;
        }
    }
}

```

Figura B.16 - Deteção de defeitos dimensionais.

Com o final da análise de imagem, passamos para a função de análise de vídeo. Tal como a função anterior, o primeiro passo é declarar as variáveis iniciais, as matrizes necessárias

para todos os processo intermédios e a identificação e leitura do ficheiro de vídeo a analisar. É também feita a contagem do número de “frames” que o vídeo contém, ou seja, o número de imagens que formam o vídeo. Uma adição feita foi a declaração e abertura de ficheiros onde se vão guardar alguns resultados.

```

std::string path;
switch (im) { // Define vários caminhos para o vídeo sendo apenas utilizado o que correspondeer ao valor de (im)
case 1:
    path = "Imagens/100 m ama.avi";
    break;
case 2:
    path = "Imagens/VideoTeste2.avi";
    break;
case 3:
    path = "Imagens/Fio Branco 2.avi";
    break;
case 4:
    path = "Imagens/VideoTeste4.avi";
    break;
case 5:
    path = "Imagens/VideoTeste5.avi";
    break;
case 6:
    path = "Imagens/VideoTeste9.avi";
    break;
}

std::ofstream dout, pout, mout; //Declara variáveis de ficheiros que vão ser utilizados para guardar resultados
dout.open("Diameter.xls"); // Declara o nome do ficheiro onde se vão guardar os valores de diâmetros
mout.open("Linear mass.xls"); // Declara o nome do ficheiro onde se vão guardar os valores de massa linear
pout.open("Hairness.xls"); // Declara o nome do ficheiro onde se vão guardar os valores de pilosidades

VideoCapture cap(path); //Introduz o objeto de vídeo
int length = cap.get(CAP_PROP_FRAME_COUNT); // Conta o numero de frames do vídeo
Mat img, imgGray, imgBlur, imgThre, imgFin, imgCanny, imgTg, imgFi, imgAnd, imgSub; // Declara matrizes para guardar as imagens resultantes
Mat kernel = getStructuringElement(MORPH_RECT, cv::Size(20, 20)); // Definição do kernel
// Define vetores e atribui-lhes um tamanho igual ao numero de frames do vídeo

std::vector<float>media(length); // Vetor de diametro
std::vector<float>ML(length); // Vetor de massa linear
std::vector<float>HP(length); // Vetor de Indice de pilosidade
std::vector<float>cordasM(300); // Vetor de numero de cordas
std::vector<float>passoMed(300); // Vetor de passo medio
std::vector<int>twistM; // Valor do sentido de torção
std::vector<float>pontasM(300); // Vetor de pontas soltas
float temp = length / fps; // Cálculo do tempo do vídeo
uint j = 0, g = 0, t = 0; // Declaração de contador

// Declaração da densidade do material dependendo do fio analisado
if (mat == 1)
{
    ro = 1.34;
    ke = 4;
}
else if (mat == 2)
{
    ro = 1.52;
    ke = 6;
}

```

Figura B.17 - Declarações iniciais para análise de vídeo

O próximo passo é a abertura de um ciclo que vai ler cada “frame”, ou imagem do vídeo de cada vez. São depois aplicadas algumas operações de processamento de imagem, nomeadamente as que originam o isolamento do núcleo e das pilosidades.

```

////////////////////////////////////// LEITURA DE VÍDEO ////////////////////////////////////////
for (int i = 0; i < length; i++) // O loop é utilizado para ler cada frame do video em sucessão
{
    cap.read(img); //Lê um frame do viedeo
    : //////////////////////////////////////// PROCESSOS DE PROCESSAMENTO ////////////////////////////////////////

    cvtColor(img, imgGray, COLOR_BGR2GRAY); // Transforma a imagem em escala de cinzento
    GaussianBlur(imgGray, imgBlur, cv::Size(3, 3), 3, 0); // Gera um efeito de Blur
    threshold(imgBlur, imgThre, 0, 255, THRESH_BINARY | THRESH_OTSU); // Threshold OTSU
    morphologyEx(imgThre, imgFin, MORPH_CLOSE, kernel); // Operação de closing
    threshold(imgFin, imgFin, 0, 255, THRESH_BINARY_INV); // Inverter cores
    GaussianBlur(imgBlur, imgBlur, cv::Size(3, 3), 3, 0); // Gera um efeito de Blur
    Canny(imgBlur, imgCanny, ke, ke); // Detecção de contronos
    bitwise_and(imgFin, imgCanny, imgAnd); // Operação de AND entre a imgFin e a imgCanny
    absdiff(imgCanny, imgAnd, imgSub); // Subtração da imgAND à imgCanny
}

```

Figura B.18 - Abertura de ciclo para leitura de "frames"

O próximo passo é naturalmente o cálculo do diâmetro do fio na imagem e do índice de pilosidade. Para o diâmetro, como estamos a fazer uma medição por imagem, apenas é medido o diâmetro na coluna central da imagem, de forma a poupar poder computacional a medir a mesma secção em imagens diferente. No caso do índice de pilosidade, devido ao facto de existir a possibilidade da sua medição ser inviabilizada pelo movimento do fio em certas imagens, existe um contador que conta quando é que o índice foi calculado corretamente, de forma que no futuro o valor médio não seja afetado por medições erradas. No final dos respetivos cálculos os valores de diâmetro e índice de pilosidade são guardados num vetor.

```

//////////////////////////////////// CALCULAR DIAMETRO //////////////////////////////////////
uint dist = distpon * (1080 / d); // Definição da distancia de referencia para as pontas soltas
uint k, s, ls = 0, li = 0;
uint p = 0, h = 0, q = 0;

for (uint r = 0; r < imgFin.rows; r++) // Contar o numero de pixies brancos na coluna central da imgFin
{
    k = imgFin.at<uchar>(r, 720);
    if (k == 255)
    {
        p++;
    }
}

for (uint r = 0; r < imgSub.cols; r++) // Verificação do número de pixels da pilosidade
{
    for (uint c = 0; c < imgSub.rows; c++)
    {
        k = imgCanny.at<uchar>(c, r);
        if (k == 255)
        {
            h++; // Contagem de pixels brancos na imagSub
        }
    }
}

h = (h / 3.25) * (d / 1080); // COnversão do comprimento da pilosidade em mm
h = h - (2*1);
hi = h / l; // Cálculo do indice de pilosidade
if (hi > 10) // Se houver uma anomalia na imgSub o valor da pilosidade é descartado
{
    hi = 0;
    j++;
}
else if (hi == 0)
{
    j++;
}
HP.at(i) = hi; // Guardado o valor do indice de pilosidade

```

Figura B.19 - Cálculo de diâmetro e índice de pilosidade em vídeo.

Com o diâmetro e índice de pilosidade calculado, passamos para a análise da imagem de partículas isoladas. Como os dados que se pretendem obter a partir dessa imagem são em grande parte estáticos ao longo do fio, foi decidido que apenas seriam calculados nas 300 primeiras imagens, de forma a poupar poder computacional. São feitas, portanto as transformações de imagem que resultam na isolação das partículas. Depois os processos de cálculo dos parâmetros de torção são executados da mesma forma que no caso da análise da imagem. A única diferença é que os resultados, depois de calculados, são guardados num vetor de forma a poder calcular o seu valor médio no final.

```

if (i < 300)
{
cv::threshold(imgGray, imgTg, 89, 255, THRESH_BINARY); //Threshold para detectar particulas
cv::morphologyEx(imgTg, imgFi, MORPH_OPEN, kernel); // Processo de open
cv::threshold(imgFi, imgFi, 0, 255, THRESH_BINARY_INV); // Inversão de cores
std::vector<int>partI, partF, partM, passoM, LM(1440); // Declaração de vetores onde se vão guardar os dados calculados
uint dist = distpon * (1080 / d); // Distância limite apartir do qual uma pilosidade é cosiderada solta do núcleo
uint y = 0;
part = false; // Desativa o boleano de particula no inicio de cada ciclo
particulas = 0; // Poe a zero o numero de particulas inicialmente
ls = 0, li = 0; // Coloca os valores iniciais de Ls e li
for (uint c = 0; c < imgFin.cols; c++)
{
for (uint r = 0; r < imgFin.rows; r++)
{
k = imgFin.at<uchar>(r, c);
if (k == 255 && ls == 0) // Se o pixel considerado for branco e o limite superior ainda não estiver definido...
{
ls = r; // ... define a posição do pixel como limite superior
}
else if (k == 0 && ls > 0 && li == 0) // Se o pixel considerado for preto e o limite superior já estiver definido...
{
li = r; // Define a posição do pixel como limite inferior
}
}
float lim = (li + ls) / 2; // Calcula-se a coluna central do nuclu do fio
uint lm = lm = round(lim); // Arredondamento para ter um valor inteiro
LM.at(c) = lm; // Guardar o valor do lm em vetor
}
float lim = std::accumulate(LM.begin(), LM.end(), LM.at(0)) / LM.size(); // Cálcula o valor médio de lm
uint lm = round(lim), pa = 0, pi = 0; // Arredonda para obter valor inteiro e declara variaveis pa e pi

```

Figura B.20 - Operações de isolamento de partícula e cálculo de limites do núcleo

```

for (uint r = 0; r < imgFi.cols; r++) // Verificação do numero de particulas
{
k = imgFi.at<uchar>(lm, r);
if (k == 255) // Se o pixel medido for branco ...
{
if (part == false) // ... e o boleano de particua estiver desativado...
{
particulas++; // ... conta +1 particula
partI.push_back(r); // Guarda a posição do pixel como inicio de particula
q = r; // Guarda valor de inicio de particula para referencia futura
}
part = true; // Ativa o boleano de particula
}
else if (k == 0) // Se o pixel medido for preto ...
{
if (part == true) //... e o boleano de particula estiver ativo ...
{
partF.push_back(r); //... Guarda a posição do pixel como final da particula
}
part = false; // ... desativa o boleano de particula
}
}
if (partF.size() > 1)
{
particulas = 2;
cordas = 2;
}
else
{
particulas = 1;
cordas = 1;
}
}

```

Figura B.21 - Cálculo do número de partículas e de cordas.

```

if (particulas = 2 && partI.size() > 1)
{
    for (int i = 0; i < partI.size(); i++) // Cálculo do passo de torção
    {
        float pmp = (partI.at(i) + partF.at(i)) / 2; // Cálculo da posição do centro geométrico da partícula
        partM.push_back(pmp); // Guarda a posição central da partícula
    }
    if (partM.size() > 1)
    {
        for (int i = 0; i < partM.size() - 1; i++)
        {
            passo = partM.at(i + 1) - partM.at(i); //Calcula o passo de torção entre 2 partículas
            passoM.push_back(passo); // Guarda o valor de passo de torção
        }
    }
    for (uint r = 0; r < imgFi.rows; r++) // Verificação do sentido de torção
    {
        k = imgFi.at<uchar>(r, q);
        if (k == 0)
        {
            if (r < lm) // Se o pixel medido estiver abaixo do centro do fio conta pa
            {
                pa++;
            }
            else if (r > lm) // Se o pixel estiver acima do do centro do fio conta pi
            {
                pi++;
            }
        }
    }
    if (pa > pi) // Determina o sentido de torção dependendo da diferença entre pa e pi
    {
        twist = 1;
    }
    else if (pa < pi)
    {
        twist = 2;
    }
}

```

Figura B.22 - Cálculo do sentido de torção

```

if (cordas == 2) // Se forem duas cordas faz o cálculo do passo de torção
{
    if (passoM.size() > 0)
    {
        passo = std::accumulate(passoM.begin(), passoM.end(), passoM.at(0)) / passoM.size();
        passo = passo * (1 / 1440);
        if (passo > 1)
        {
            passo = 0;
        }
        passoMed.at(i) = passo;
    }
}
if (passo > 0)
{
    t++;
}
cordasM.at(i) = cordas; // Guarda em vetor o numero de cordas
twistM.push_back(twist); // Guarda em vetor o sentido de torção

```

Figura B.23 - Cálculo do passo de torção e armazenamento dos dados calculados em vetor

Com os dados de torção calculados, a imagem fica analisada na sua totalidade, por isso restam os cálculos dos parâmetros base do fio a partir do valor de diâmetro medido. Os valores calculados são depois armazenados nos respectivos ficheiros de Excel. É também aberta a imagem em análise para o utilizador.


```

float pd = (p * (d / 1000)); // Conversão de diâmetro de pixels para mm
media.at(i) = pd; // Guarda em vetor o diâmetro do fio deste frame
tex = (po * ro * (M_PI * pow((pd * 0.1 / 2), 2))) * 100000; // Calcula a massa linear do frame
ML.at(i) = tex; // Guarda em vetor o valor da massa linear

dout << pd << std::endl; // Guarda o valor do diâmetro no ficheiro
mout << tex << std::endl; // Guarda o valor da massa linear no ficheiro
pout << hi << std::endl; // Guarda o valor da pilosidade no ficheiro

cv::imshow("Imagem Inicial", imgFin); // Abre a imagem Fi
cv::waitKey(1); // Fim do fram

```

Figura B.24 - Cálculo dos parâmetros base do fio.

No final destes cálculos acaba a análise da imagem atual e recomeça com a imagem seguinte.

Depois de todas as imagens serem analisadas são fechados os ficheiros de armazenamento de resultados e são feitos os cálculos finais. São calculados os valores médios dos parâmetros do fio. São feitos os cálculos dos parâmetros estatísticos e no final é feita a verificação dos defeitos geométricos.

```

dout.close(); // fecha a edição do ficheiro
mout.close(); // fecha a edição do ficheiro
pout.close(); // fecha a edição do ficheiro
med = std::accumulate(media.begin() + 1, media.end(), media.at(0)) / media.size(); // Calcula o valor medio de todos os frames do diâmetro de fio
V = M_PI * pow(med/2, 2) * l; // Cálculo de Volume em mm3
tex = (po * ro * (M_PI * pow((med * 0.1 / 2), 2))) * 100000; // Cálculo de massa linear em Tex
if (passoMed.size() > 0) // Se existe valores guardados de passo de torção...
{
    passo = std::accumulate(passoMed.begin(), passoMed.end(), passoMed.at(0)) / t; // ... calcula o valor medio do passo de torção
}
if (passo > 0)
{
    cordas = 2;
}
else
{
    cordas = 1;
}
twist = std::accumulate(twistM.begin(), twistM.end(), twistM.at(0)) / twistM.size(); // Calcula o valor medio do sentido de torção
twist = round(twist); // Arredonda o valor twist de forma a ter valor inteiro
float texfin = ML.at(length - 1); // Valor final de massa linear
float max = med * (1 + tol1), min = med * (1 - tol2), borb = med * 2; // Definição de valores de referencia para zona grossa, fina e borbotos
mediaHI = std::accumulate(HP.begin(), HP.end(), HP.at(0)) / (HP.size() - j); // Valor medio do indice de pilosidade
float DPH = 0;
for (int i = 0; i < length; i++) // Cálculo de valor intermedio do desvio padrao de pilosidades
{
    DPH = DPH + pow((HP.at(i) - mediaHI), 2);
}
float sh = pow(HP.size(), -1); // Cálculo de valor intermedio desvio padrao de pilosidades
sh = sqrt(sh * DPH); // Cálculo de desvio padrao de pilosidade
pontas = std::accumulate(pontasM.begin() + 1, pontasM.end(), pontasM.at(0)) / pontasM.size(); // Cálculo do valor medio de pontas soltas
Uf = (100 * abs(texfin - tex)) / tex; // Cálculo do desvio medio de massa
CVf = 1.25 * Uf; // Cálculo do Coeficiente de variação de massa

for (double i = 0; i < length - 1; i++) // Calcular pontos grossos, finos e borbotos
{
    double c = media.at(i);

    if (c < min)
    {
        fin++;
    }
    else if (c > max)
    {
        if (c > borb)
        {
            borboto++;
        }
        else
        {
            gros++;
        }
    }
}

```

Figura B.25 - Finalização da análise de vídeo

Dentro ainda do ficheiro “script” existem duas pequenas funções. A primeira está responsável por permitir que o utilizador pré-visualize a imagem antes de escolher fazer a sua análise. A função começa por fazer a leitura e abertura da imagem, de forma semelhante à função de análise. Depois é feita uma diminuição do tamanho da imagem de forma a ocupar menor espaço no ecrã do utilizador, e finalmente é aberta a imagem.

```
void abririmagem(int im) {
    std::string path; // Define o caminho da imagem
    switch (im) {
        case 1:
            path = "Imagens/1.bmp";
            break;
        case 2:
            path = "Imagens/2.bmp";
            break;
        case 3:
            path = "Imagens/3.bmp";
            break;
        case 4:
            path = "Imagens/4.bmp";
            break;
        case 5:
            path = "Imagens/5.bmp";
            break;
        case 6:
            path = "Imagens/6.bmp";
            break;
        case 7:
            path = "Imagens/7.bmp";
            break;
        case 8:
            path = "Imagens/8.bmp";
            break;
        case 9:
            path = "Imagens/9.bmp";
            break;
        case 10:
            path = "Imagens/10.bmp";
            break;
        case 11:
            path = "Imagens/11.bmp";
            break;
    }

    Mat img = imread(path); // Lê a imagem
    Mat imgResize; // Matriz da imagem mais pequena
    cv::resize(img, imgResize, cv::Size(720, 540), INTER_LINEAR); // Diminui o tamanho da imagem
    cv::imshow("Imagem", imgResize);

    return;
}
```

Figura B.26 .- Função de pré-visualização de imagem

A última função faz a verificação do número de “frames”, ou imagens, que constituem um certo vídeo. Para isso é aberto o vídeo pelo programa e feita a contagem do número de imagens que contém. Essa informação será depois transmitida para o ficheiro “header”.

```

void verificartamanho(int vd)
{
    std::string path;
    switch (vd) { // Define vários caminhos para o vídeo sendo apenas utilizado o que corresponder ao valor de
    case 1:
        path = "Imagens/VideoTeste1.avi";
        break;
    case 2:
        path = "Imagens/VideoTeste2.avi";
        break;
    case 3:
        path = "Imagens/Fio Branco 2.avi";
        break;
    case 4:
        path = "Imagens/VideoTeste4.avi";
        break;
    case 5:
        path = "Imagens/VideoTeste5.avi";
        break;
    case 6:
        path = "Imagens/VideoTeste9.avi";
        break;
    }
    VideoCapture cap(path); //Introduz o objeto de video
    int tam = cap.get(CAP_PROP_FRAME_COUNT); // Conta o numero de frames do video
    return;
}

```

Figura B.27 - Função de verificação de tamanho do vídeo.

Com isto termina o ficheiro de “script”.

O ficheiro “header” principalmente controla a interação entre o utilizador e o algoritmo, transformando os parâmetros do teste dados pelo utilizador em variáveis de entrada para os algoritmos criados e transformando os resultados obtidos pelos algoritmos em texto que o utilizador possa ver. Para além disso também passa informação quando o utilizador não introduz algo corretamente, ou quando não utiliza corretamente o programa.

A primeira seleção programada é a da seleção de material, e assim é primeiro feita a conversão da variável de material dependente do botão pressionado.

```

private: System::Void button2_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) { // Quando o botão de selecionar material como Algodão
    label1->Text = "Material - Cotton"; // Muda o texto de material
    mat = 2; // Define a variável de material como algodão
}
private: System::Void button3_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) { // Quando o botão de selecionar material como Poliéster
    label1->Text = "Material - Poliester"; // // Muda o texto de material
    mat = 1; // Define a variável de material como poliéster
}

```

Figura B.28 - Seleção do material a analisar

Depois o mesmo é feito para a seleção de tipo de ficheiro a analisar e das tolerância e número de divisões selecionadas.

```

private: System::Void button4_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) { // Quando se aciona o botão de seleção de imagem
    label14->Text = "File type - Image "; // Muda o texto do tipo de ficheiro
    ima = true; // Ativa o booleano de ficheiro
    vid = false; // Desativa o booleano
}
private: System::Void label14_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
}
private: System::Void button5_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) { // Quando se aciona o botão de seleção de vídeo
    label14->Text = "File type - Video "; // Muda o texto do tipo de ficheiro
    vid = true; // Ativa o booleano de vídeo
    ima = false; // Desativa o booleano
}

```

Figura B.29 - Seleção do tipo de ficheiro a analisar

```

private: System::Void textBox1_TextChanged(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) { // Quando escolhemos o valor da tolerância positiva
    tol1 = System::Convert::ToDouble(textBox1->Text) / 100; // A tolerância é convertida de percentual para fracionária
}
private: System::Void label3_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
}
private: System::Void textBox2_TextChanged(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) { // Quando se escreve na caixa de divisões
    divi = System::Convert::ToInt16(textBox2->Text); // Converte o valor de texto para valor inteiro
}

```

Figura B.30 - Seleção da tolerância positiva e número de divisões

```

private: System::Void textBox16_TextChanged(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) { //Quando se escolhe um valor da tolerância negativa
    tol2 = System::Convert::ToDouble(textBox16->Text) / 100; // Converte o valor percentual em fracionário
}

```

Figura B.31 - Seleção da tolerância negativa

Depois são chamadas as respetivas funções no acionamento dos botões de pré-visualizar uma imagem e verificar o tamanho de um vídeo. Na primeira é verificada apenas a imagem que se encontra selecionada pelo utilizador e importada para a função. Na segunda o mesmo é feito para o vídeo selecionado, mas depois da conclusão da função, o valor do tamanho do vídeo é exportado para o ficheiro “header” e escrito na caixa de “debug”. Existe também o botão “?” que escreve na caixa “debug” que material corresponde a cada um dos três fios utilizados.

```

private: System::Void button2_Click_1(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) { // Quando se clica na pre-visualização
    im = System::Convert::ToInt16(numericUpDown1->Value); // O valor do número da imagem é convertido em inteiro
    abririmagem(im); // Chama a função de abertura de imagem
}
private: System::Void button6_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) { // Quando o botão [?] é selecionado
    label4->Text = "Purple and Yellow yarn = Cotton\nWhite yarn = Poliester"; // Muda o texto "debug"
}
private: System::Void label28_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
}
private: System::Void button7_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) { // Quando se clica no botão de verificar tamanho de vídeo
    vd = System::Convert::ToInt16(numericUpDown2->Value); // O número do vídeo selecionado é convertido em inteiro
    verificartamanho(vd); // Chama a função de verificar tamanho de vídeo
    extern int tam; // Extrai o valor de tamanho
    label4->Text = System::Convert::ToString(tam); // Escreve o valor extraído na caixa "debug"
}

```

Figura B.32 - Funções de apoio ao utilizador

As restantes verificações são feitas quando se clica no botão de começar a análise. O primeiro passo é verificar que todas as variáveis de entradas se encontram dentro de valores aceitáveis. Quando esse não é o caso, a análise é cancelada e é escrito na caixa “debug” o tipo de erro que foi encontrado e sugerido uma solução.

```

private: System::Void button1_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs e) { // Quando o botão "Run" é acionado
    if (mat == 0) { // Caso nenhum material seja selecionado
        label4->Text = "ERROR : Choose a material";
    }
    else if (tol1 >= 1 || tol1 <= 0 || tol2 <= 0 || tol2 >= 1) { // Caso seja escolhido valores de tolerância inválidos
        label4->Text = "ERROR : Choose a \n tolerance value between 1 e 99";
    }
    else if (divi <= 0 && ima == true) { // Caso não seja selecionado nenhum número de divisões na análise de imagens
        label4->Text = "ERROR : Choose a\n positive number of samples";
    }
}

```

Figura B.33 - Detecção de erros nos parâmetros de entrada

Depois é verificado que tipo de análise foi escolhida. No caso da análise de imagem, é verificado qual o número da imagem selecionada e importados todos os parâmetros de entrada para a função de análise de imagem. Quando a função acaba de executar todos os valores são exportados para o ficheiro “header” e escritos nas suas respectivas caixa no interface. Caso exista um erro no número de pelos soltos detetados, é avisado o utilizador e esse resultado apenas é mostrado como “Error”.

```

else {
    im = System::Convert::ToInt16(numericUpDown1->Value); // Converte para integral
    vd = System::Convert::ToInt16(numericUpDown2->Value); // Converte para integral
    if (ima == true) { // Caso se tenha escolhido a análise de imagem
        label4->Text = "Image Analisis running"; // Muda o texto "debug" para informar o utilizador que está a correr teste
        analiseimagem(tol1, tol2, divi, mat, im); // Executa a função de análise de imagem
        extern float pd, tex, V, pontas, hi, Uf, CVf, passo; // Extrai os resultados obtidos pela função do "script"
        extern int fin, gros, borboto, cordas, twist; // Extrai os resultados obtidos pela função do "script"
        if (twist = 1)
        {
            textBox15->Text = "S"; // Muda o texto na caixa de resultado de sentido de torção
        }
        else if (twist = 2)
        {
            textBox15->Text = "Z"; // Muda o texto na caixa de resultado de sentido de torção
        }

        label4->Text = ""; // Apaga o texto da caixa de "debug"
        if (pontas > 100) // Caso haja erro na deteção de pontas soltas
        {
            textBox3->Text = System::Convert::ToString(pd); // Escreve o resultado na respetiva caixa
            textBox4->Text = System::Convert::ToString(tex);
            textBox5->Text = System::Convert::ToString(V);
            textBox6->Text = System::Convert::ToString(fin);
            textBox7->Text = System::Convert::ToString(gros);
            textBox8->Text = System::Convert::ToString(borboto);
            textBox9->Text = System::Convert::ToString(Uf);
            textBox10->Text = System::Convert::ToString(CVf);
            textBox11->Text = "Error"; // Informa o utilizador que houve erro no cálculo deste parâmetro
            textBox12->Text = System::Convert::ToString(hi);
            textBox14->Text = System::Convert::ToString(cordas);
            textBox17->Text = System::Convert::ToString(passo);
            label4->Text = "Loose fibers limits \n out of range of image"; // Muda o texto "debug" para informar do erro.
        }
        else // Caso não existam erros
        {
            textBox3->Text = System::Convert::ToString(pd); // Escreve o resultado na respetiva caixa
            textBox4->Text = System::Convert::ToString(tex);
            textBox5->Text = System::Convert::ToString(V);
            textBox6->Text = System::Convert::ToString(fin);
            textBox7->Text = System::Convert::ToString(gros);
            textBox8->Text = System::Convert::ToString(borboto);
            textBox9->Text = System::Convert::ToString(Uf);
            textBox10->Text = System::Convert::ToString(CVf);
            textBox11->Text = System::Convert::ToString(pontas);
            textBox12->Text = System::Convert::ToString(hi);
            textBox14->Text = System::Convert::ToString(cordas);
            textBox17->Text = System::Convert::ToString(passo);
        }
    }
}

```

Figura B.34 - Execução da análise de imagem.

Caso seja escolhida a análise de vídeo, são novamente captados os parâmetros de entrada e importados para a função de análise de vídeo. É escrito na caixa “debug” que se está a decorrer uma análise de vídeo e são zeradas todas as caixas de texto dos resultados. É depois chamada a função de análise de vídeo. Quando ela termina são exportados todos os resultados obtidos e escritos nas respetivas caixas de texto.

```

}
else if (vid == true) { // Caso seja escolhido análise de vídeo
    label4->Text = "Video Analysis running"; // Muda o texto "debug" para avisar o utilizador que o teste está a decorrer
    textBox3->Text = System::Convert::ToString(0); // Primeiro zeramos todos os campos com os resultados
    textBox4->Text = System::Convert::ToString(0);
    textBox5->Text = System::Convert::ToString(0);
    textBox6->Text = System::Convert::ToString(0);
    textBox7->Text = System::Convert::ToString(0);
    textBox8->Text = System::Convert::ToString(0);
    textBox9->Text = System::Convert::ToString(0);
    textBox10->Text = System::Convert::ToString(0);
    textBox12->Text = System::Convert::ToString(0);
    textBox13->Text = System::Convert::ToString(0);
    textBox14->Text = System::Convert::ToString(0);
    textBox17->Text = System::Convert::ToString(0);
    analisevideo(tol1, tol2, mat, vd); // Chama a função de análise de vídeo
    extern float med, tex, V, Uf, CVf, sH, passo; // Extraímos as variáveis de saída da função
    extern int fin, gros, borboto, cordas, twist; // Extraímos as variáveis de saída da função
    extern double mediaHI; // Extraímos as variáveis de saída da função

    if (twist = 1)
    {
        textBox15->Text = "S";
    }
    else if (twist = 2)
    {
        textBox15->Text = "Z";
    }

    label4->Text = ""; // Apagamos a sinalização do teste a decorrer
    textBox3->Text = System::Convert::ToString(med); // Escreve o resultado na respetiva caixa
    textBox4->Text = System::Convert::ToString(tex);
    textBox5->Text = System::Convert::ToString(V);
    textBox6->Text = System::Convert::ToString(fin);
    textBox7->Text = System::Convert::ToString(gros);
    textBox8->Text = System::Convert::ToString(borboto);
    textBox9->Text = System::Convert::ToString(Uf);
    textBox10->Text = System::Convert::ToString(CVf);
    textBox12->Text = System::Convert::ToString(mediaHI);
    textBox13->Text = System::Convert::ToString(sH);
    textBox14->Text = System::Convert::ToString(cordas);
    textBox17->Text = System::Convert::ToString(passo);
}
}

```

Figura B.35 - Execução de análise de vídeo

Finalmente caso não tenha sido escolhido o tipo de análise a fazer antes de premir o botão “Run”, é escrito o erro na caixa “debug”.

```

else { // Caso não tenha sido escolhido o tipo de ficheiro a analisar
    label4->Text = "ERROR : Choose a file\n type to analyse"; // É apresentada a mensagem de erro ao utilizador
}
}

```

Figura B.36 - Falha na seleção do ficheiro a analisar

Apêndice C – Cálculo de erro relativo

Para ser possível a quantificação da precisão dos resultados obtidos, estes foram comparados com resultados de referência, ou seja, resultados de um equipamento em utilização no ambiente industrial. No entanto, para ser feita a comparação, é necessário existir uma forma de os comparar quantitativamente. Para isso foi utilizado o erro relativo, o qual pode ser formulado da seguinte forma.

$$\text{Erro relativo (\%)} = \left| \frac{\text{Valor aproximado} - \text{Valor exato}}{\text{Valor exato}} \right| \times 100$$

Equação 19 - Erro relativo percentual

Com esta equação podemos então comparar e quantificar o grau de precisão dos resultados obtidos. Na Tabela 11, estão expostos os resultados dos parâmetros de base de fio com comparação direta entre os dois equipamentos, acompanhados pelo erro relativo, de todos os fios testados. Na Tabela 12 encontra-se a comparação dos resultados do teste de 100 metros.

Fios	Parâmetros	Resultados 6 m (Protótipo)	Resultados 1 km (USTER)	Erro relativo (%)
Fio Roxo	Diâmetro (mm)	0,262	0,27	2,96
	Massa linear (tex)	53,22	56,4	5,64
	Volume (mm ³)	0,158	0,167	5,39
	Índice de pilosidade	5,35	5,44	1,65
	U (%)	11,91	7,39	61,16
	CV (%)	14,89	9,27	60,63
	sH (%)	1,22	1,17	4,27
Fio Amarelo	Diâmetro (mm)	0,179	0,175	2,29
	Massa linear (tex)	24,92	23,8	4,71
	Volume (mm ³)	0,074	0,07	5,71
	Índice de pilosidade	4,42	4,77	7,34
	U (%)	4,64	7,39	37,21
	CV (%)	5,8	9,27	37,43
	sH (%)	0,97	1,17	17,09
Fio Branco	Diâmetro (mm)	0,17	0,175	2,86
	Massa linear (tex)	19,67	20,9	5,89
	Volume (mm ³)	0,0661	0,07	5,57
	Índice de pilosidade	3,60	3,61	0,28
	U (%)	12,67	9,18	38,02
	CV (%)	15,84	11,59	36,67
	sH (%)	0,73	1,21	39,67

Tabela 11 - Resultados obtidos com erro relativo

Fios	Parâmetros	Resultado 100 m (Protótipo)	Resultados 1 km (USTER)	Erro relativo (%)
Fio Roxo	Diâmetro (mm)	0,275	0,27	1,85
	Massa linear (tex)	58,90	56,4	4,43
	Volume (mm ³)	0,126	0,122	3,28
	Índice de pilosidade	5,33	5,44	2,02
	U (%)	3,95	7,39	46,55
	CV (%)	4,94	9,27	46,71
	sH (%)	0,45	1,17	61,54

Tabela 12 - Resultados obtidos de teste de 100 metros com erro relativo

Apêndice D – Análise espectral

A análise espectral consiste no estudo do espectro da frequência contido num conjunto de dados discretos e recolhidos com uma periodicidade uniforme. Procuramos com ela, neste caso, encontrar irregularidades no fio têxtil. Essas irregularidades manifestam-se como picos de energia na frequência analisada. De forma a detetar esses picos, é construído um espectrograma que demonstra a variação de energia de onda ao longo dos vários comprimentos de periodicidade de fio [9].

Para a realização de uma análise espectral utiliza-se uma transformação de Fourier, que revela a componente de frequência de um sinal, representando-a em espaços de frequência. Enquanto existem vários tipos de transformações de Fourier, a utilizada neste projeto foi a transformação rápida de Fourier (FFT – *Fast Fourier Transform*). Esta abordagem é feita com uma definição de banda estreita de forma a agregar todos os harmônicos, pois a informação é altamente concentrada no espectro. Para calcular o intervalo entre as bandas de energia, é utilizada a Equação 20 [9].

$$int(I) = 10^{d_i + \frac{I}{n_i}}$$

Equação 20 - Cálculo de intervalo entre bandas de energia

Onde:

d_i – Índice de década (-3, -2, ... 4) para [1 mm, 1 cm, 10 km];

n_i – Número de intervalos;

I – Índice de intervalo (0, ..., I).

Esta equação considera um logaritmo com base 10 e com ele são conseguidas as coordenadas do eixo X ($int(I)$). Estas coordenadas estabelecem uma divisão igual para o número de intervalos pretendidos ao longo de uma década. Todos os comprimentos de onda detetados em cada banda de energia são somados e multiplicados pelo número de intervalos, obtendo o valor final da banda de energia-. Essa operação é descrita pela Equação 21 [9].

$$e(i) = n_i \sum_{w=1}^{w=k} \lambda(w)$$

Equação 21 - Cálculo do valor da banda de energia

Onde:

k – Número de comprimentos de onda detetados na banda de energia;

w – Índice do comprimento de onda detetado;

λ – Comprimento de onda no índice w .

Recorrendo a esta abordagem foram obtidos os espectrogramas de massa (Figura 5.7) e pilosidade (Figura 5.21) relativos aos resultados da análise de 100 metros do fio de algodão roxo.