

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS BLUMENAU
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA TÊXTIL
CURSO ENGENHARIA TÊXTIL

Victor Hugo Mondini Correa

**FUNCIONALIZAÇÃO DE SUBSTRATOS TÊXTEIS 100% POLIÉSTER E
100% ALGODÃO E SUA INFLUÊNCIA NA COR**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao
Departamento de Engenharia Têxtil do Campus
Blumenau da Universidade Federal de Santa
Catarina para a obtenção do Grau de Bacharelado
em Engenharia Têxtil

Orientador: Prof. Dr. Fernando Ribeiro Oliveira

Blumenau

2019

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

Correa, Victor Hugo

Funcionalização de substratos têxteis 100% poliéster e
100% algodão e sua influência na cor. / Victor Hugo Correa
; orientador, Fernando Ribeiro Oliveira, 2019.

82 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau,
Graduação em Engenharia Têxtil, Blumenau, 2019.

Inclui referências.

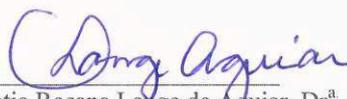
1. Engenharia Têxtil. 2. Funcionalização. 3. Coordenadas
colorimétricas. 4. Grau de Branco. I. Ribeiro Oliveira,
Fernando. II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Graduação em Engenharia Têxtil. III. Título.

Victor Hugo Mondini Correa

**FUNCIONALIZAÇÃO DE SUBSTRATOS TÊXTEIS 100% POLIÉSTER E 100%
ALGODÃO E SUA INFLUÊNCIA NA COR**

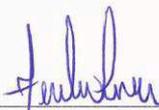
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Têxtil, e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Têxtil.

Blumenau, 11 de julho de 2019.

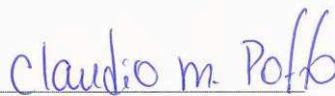


Prof^ª Catia Rosana Lange de Aguiar, Dr^ª
Coordenador do Curso

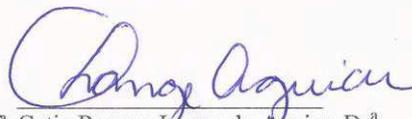
Banca Examinadora:



Prof. Fernando Ribeiro Oliveira, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Cláudio Poffo, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof^ª Catia Rosana Lange de Aguiar, Dr^ª
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus pais e aos meus
queridos amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela ótima vida que possuo e por ter me inserido na vida de meus pais, Ana Sueli Mondini Correa e Alvadir Luiz Correa, do qual sempre serei grato pelo amor, dedicação, confiança e extremo apoio que me fornecem. Além de meus pais, à toda a minha família que me apoia, ama e suporta sempre.

Também agradeço aos meus amigos que sempre estiveram ao meu lado me apoiando em decisões, tanto fáceis quanto difíceis, e também por me ajudarem a superar dias que pareciam não ter fim.

Ao meu orientador Prof. Dr. Fernando de Oliveira pela ótima orientação, amizade, atenção, conhecimento, dicas e experiências que sempre pode me passar.

À Profa. Dra. Fernanda Steffens pela atenção, dicas e conhecimentos compartilhados.

À Profa. Dra. Cátia R. Lange por todas as orientações, dicas e conhecimentos que sempre iluminaram meu caminho durante toda a graduação tornando cada vez mais claro para mim sobre qual caminho seguir.

Aos ótimos professores que tive em toda essa jornada de graduação que, além de ótimos profissionais, são também grandes amigos.

“Seja como os pássaros que, ao pousarem um instante sobre ramos muito leves, sentem-nos ceder, mas cantam! Eles sabem que possuem asas.” - Victor Hugo (1802-1885).

RESUMO

O avanço da tecnologia fez com que substratos têxteis convencionais fossem capazes de ganhar propriedades inovadoras ao passarem por técnicas de funcionalização. Para os estudos deste trabalho foram utilizadas amostras de tecido de malha 100% algodão (CO) e amostras de tecido de malha 100% poliéster (PES) na cor branca (branco óptico). Sobre ambos foram aplicados agentes químicos que proporcionaram às amostras propriedades como hidrofobicidade, proteção às radiações ultravioleta (UV) e resistência à propagação de chama. Pelo método de impregnação foi possível obter substratos com elevados ângulos de contato, $136,86^\circ$ e $144,86^\circ$ para tecidos de malha de PES e CO, respectivamente. Com relação a propriedade de proteção às radiações UV verificou-se que é possível obter elevados valores de fator de proteção (FPU) principalmente quando se utiliza do método de impregnação. Ao avaliar a propriedade anti-chama percebe-se que o método de impregnação se faz eficaz na funcionalização das malhas de PES, uma vez que proporcionou uma redução no consumo de substrato quando em exposição à chama por 20 segundos de até 28,6%, onde houve um consumo de substrato de 50,0% para a amostra sem tratamento e 21,4% para a amostra de maior concentração (400 g/L). Com relação a variação das coordenadas colorimétricas após aplicação dos agentes funcionalizadores supracitados verificou-se que não houveram alterações significativas, principalmente para as amostras funcionalizadas com o produto de repelência à sujidade (hidrofóbico) e anti-chama, sendo que a olho nu não foi possível observar diferenças de cor significativa para todas amostras em estudo.

Palavras-chave: Funcionalização. Tecido de malha. Agentes químicos. Hidrofobicidade. Ultravioleta. Chama. Coordenadas colorimétricas.

ABSTRACT

The advancement of technology in the textile world has made conventional textile substrates capable of gaining innovative properties while undergoing functionalization techniques. For studies of this work were chosen samples of cotton knit fabric (CO) and polyester knit fabric swatches (PES) in white color (optical white) and on both were applied chemical that provided the sample properties such as hydrophobicity, ultraviolet (UV) radiation protection, and resistance to flame propagation. For the impregnation method was possible to obtain the PES and CO substrates with higher contact angles, 136.86 ° and 144.86 ° for PES and CO knitted fabrics, respectively. With regard to the property of UV radiation protection, it was found that high protection factor (FPU) values can be obtained especially when using the impregnation method. When evaluating the flame retardant property it is noticed that the impregnation method is effective in doing functionalization of PES meshes provided since a reduction in consumption substrate on exposure to flame for 20 seconds up to 28.6%, where there was a 50.0% consumption of substrate for the untreated sample and 21.4% for the sample with the highest concentration (400 g/L). With respect to variation of colorimetric coordinates after application of the aforementioned agents functionalizer was found that there were no significant alterations, mainly to the samples functionalized with dirt repellence (hidrophobic) and fire retardance, but visually it was not possible to observe significant differences in color for the studied samples.

Keywords: Funcionalization. Knitted fabric. Chemical agents. Hydrophobicity. Ultraviolet. Flame. Color coordinates.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Consumo de fibras têxteis no Brasil entre os anos 2000 e 2018	22
Figura 2 - Representação das multicamadas da fibra de CO	22
Figura 3 - Vista microscópica de fibras de CO	23
Figura 4 - Monômero de celulose.....	24
Figura 5 - Representação esquemática das ligações de hidrogênio na cadeia de celulose	24
Figura 6 - Visão microscópica da fibra de PES ampliada em 820x	25
Figura 7 - Representação da emissão da luz e reflexão de cor do objeto	26
Figura 8 - Faixa do espectro visível aos olhos humanos	26
Figura 9 - Cabine de luz com: a) iluminante A; b) iluminante D65.....	27
Figura 10 - Modelo de gráfico do sistema CIELAB	28
Figura 11 - Flor de lótus contendo gotas de água sobre a sua superfície	30
Figura 12 - (a) Micronódulos distribuídos na superfície da folha de lótus; (b) funcionamento de limpeza através das gotas de água na folha.....	30
Figura 13 - Representação do ângulo de contato.....	31
Figura 14 - Tecido de malha de CO 100% (a) e Tecido de malha de PES 100%(b).....	35
Figura 15 - Fluxograma do método de aplicação	37
Figura 16 - Representação da câmara de simulação do teste anti-chama.....	39
Figura 17 - Ângulo de contato nos instantes inicial e após 2 segundos nas amostras sem tratamento e com concentração de 30g/L	43
Figura 18 - Vista superior e frontal de diversas substâncias sobre as amostras de CO funcionalizadas nas concentrações de: (a) 20g/L, (b) 25 g/L, (c) 30 g/L....	44
Figura 19 - Vista superior e frontal de diversas substâncias sobre as amostras de PES funcionalizadas nas concentrações de: (a) 20g/L, (b) 25 g/L, (c) 30 g/L....	44
Figura 20 - Análise de FTIR – identificação de pico distinto comparando a amostra padrão e as tratadas de CO.....	49
Figura 21 - Análise de FTIR – identificação de pico comparando a amostra padrão e as tratadas de PES	50
Figura 22 - Análise de FTIR – identificação do primeiro pico comparando a amostra padrão e as tratadas de CO pelo método de esgotamento.....	56
Figura 23 - Análise de FTIR – identificação do segundo pico comparando a amostra padrão e as tratadas de CO pelo método de esgotamento.....	56

Figura 24 - Análise de FTIR – identificação do primeiro pico comparando a amostra padrão e as tratadas de CO pelo método de impregnação	57
Figura 25 - Análise de FTIR – identificação do segundo pico comparando a amostra padrão e as tratadas de CO pelo método de impregnação	58
Figura 26 - Análise visual das amostras após aplicação da chama por 20 segundos: (a) 400 g/L, (b) 300 g/L, (c) 200 g/L e (d) Padrão sem tratamento	63

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais propriedades contidas na fibra de poliéster	25
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química da fibra de CO	23
Tabela 2 - Classificação do Fator de Proteção UV	34
Tabela 3 - Dados de pick-up das amostras impregnadas.....	41
Tabela 4 - Coordenada de luminosidade e Grau de Berger das amostras de CO	45
Tabela 5 - Diferença de cor das amostras de CO hidrofóbicas	46
Tabela 6 - Coordenada de luminosidade e Grau de Berger das amostras de PES.....	47
Tabela 7 - Diferença de cor das amostras de PES hidrofóbicas	47
Tabela 8 - Coordenada de luminosidade e Grau de Berger das amostras de CO	52
Tabela 9 - Diferença de cor das amostras de CO anti-UV	53
Tabela 10 - Pick-up das amostras de PES impregnadas com anti-chama	58
Tabela 11 - Coordenada de luminosidade e Grau de Berger	59
Tabela 12 - Diferença de cor das amostras de PES anti-chamas.....	61
Tabela 13 - Análise de DSC das amostras de PES	61
Tabela 14 - Consumo total após combustão de amostra após exposição à chama por 20 segundos	62

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comportamento do pick-up médio do 100% CO e 100% PES em função da concentração	41
Gráfico 2 - Ângulo de contato médio obtido em cada amostra de malha analisada.....	42
Gráfico 3 - Coordenada de luminosidade em função da concentração das amostras de CO.....	45
Gráfico 4 - Grau de Berger em função da concentração das amostras de CO	46
Gráfico 5 - Coordenada de Luminosidade em função da concentração em amostras de PES	47
Gráfico 6 - Grau de Berger em função da concentração em amostras de PES.....	48
Gráfico 7 - Análise de FTIR das amostras de CO hidrofóbicas	49
Gráfico 8 - Análise de FTIR das amostras de PES hidrofóbicas.....	50
Gráfico 9 - Pick-up médio das amostras de CO em função da concentração de agente anti-UV	51
Gráfico 10 - Coordenada de Luminosidade em função da concentração de anti-UV em amostras de CO.....	52
Gráfico 11 - Grau de Berger em função da concentração em amostras de CO.....	53
Gráfico 12 - UPF médio das amostras de CO funcionalizadas pelo método de esgotamento	54
Gráfico 13 - UPF médio das amostras de CO funcionalizadas pelo método de impregnação.....	54
Gráfico 14 - Análise de FTIR em amostras de funcionalizadas com proteção UV pelo método de esgotamento	55
Gráfico 15 - Análise de FTIR em amostras de funcionalizadas com proteção UV pelo método de impregnação.....	57
Gráfico 16 - Pick-up médio das amostras de PES em função da concentração de agente anti-chama	59
Gráfico 17 - Coordenada de luminosidade em relação à concentração.....	60
Gráfico 18 - Grau de Berger em função da concentração impregnada	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIT Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção;

CIEL*a*b* Coordenadas colorimétricas L* a* e b*;

CO Algodão;

DSC Calorimetria Diferencial de Varredura;

FPU Fator de proteção ultravioleta;

FTIR Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier;

PES Poliéster;

UV Ultravioleta.

LISTA DE SÍMBOLOS

γ_S	Energia da superfície sólida;
γ_{SL}	Tensão interfacial sólido/líquido;
γ_{LV}	Tensão superficial do líquido;
ΔE	Diferença de cor;
ΔL	Diferença de coordenadas de luminosidade;
Δa	Diferença de coordenadas no eixo a;
Δb	Diferença de coordenadas no eixo b.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	18
2	ESTADO DA ARTE	21
2.1	FIBRAS TÊXTEIS.....	21
2.2	ALGODÃO (CO).....	22
2.3	POLIÉSTER (PES)	24
2.4	AVALIAÇÃO DAS COORDENADAS COLORIMÉTRICAS	25
2.4.1	Cor	25
2.4.2	Colorimetria.....	28
2.4.3	Diferença de cor.....	28
2.4.4	Grau de Berger	28
2.5	AGENTES FUNCIONALIZANTES	29
2.5.1	Tratamentos hidrofóbicos.....	29
2.5.2	Tratamento anti-chama	32
2.5.3	Tratamento antiUV	33
2.6	TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO.....	34
2.6.1	Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC).....	34
2.6.2	Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)	34
3	METODOLOGIA.....	35
3.1	MATERIAIS E REAGENTES	35
3.2	EQUIPAMENTOS.....	36
3.3	MÉTODOS.....	37
3.3.1	Aplicação dos agentes funcionalizantes	37
3.3.1.1	Goldflam syn ® (anti-chamas).....	38
3.3.1.2	Goldguard f66 ® (hidrofóbico).....	38
3.3.1.3	Heiq ultraviolet sun ® (proteção UV).....	38
3.3.2	Métodos aplicados para a caracterização dos materiais têxteis funcionalizados ...	39
3.3.2.1	Análise de Proteção UV	39
3.3.2.2	Análise anti-chama	39
3.3.2.3	Análise das propriedades auto-limpantes	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
4.1	TRATAMENTO HIDROFÓBICO	41
4.2	TRATAMENTO ANTI-UV	51
4.3	TRATAMENTO ANTI-CHAMAS.....	58

5	CONCLUSÃO.....	64
	TRABALHOS FUTUROS.....	65
	REFERÊNCIAS	66
	APÊNDICE A – Comportamento da amostra de PES sem tratamento (ST) em análise de DSC	69
	APÊNDICE B – Comportamento da amostra de PES funcionalizada com agente anti-chama (200 g/L) em análise de DSC	69
	APÊNDICE C - Comportamento da amostra de PES funcionalizada com agente anti-chama (300 g/L) em análise de DSC	70
	APÊNDICE D – Comportamento da amostra de PES funcionalizada com agente anti-chama (400 g/L) em análise de DSC	70
	APÊNDICE E – Comportamento da agente funcionalizante em análise de DSC	71

1. INTRODUÇÃO

O caminho histórico da evolução dos têxteis faz crer que esta é uma das áreas mais antigas no que tange o desenvolvimento humano. No início eram usadas peles de animais como vestimentas para a proteção contra as condições ambientais enfrentadas diariamente, evoluindo a seguir para a utilização de fibras vegetais (RIVERO *et al.*, 2015). Por muitos anos, o ser humano utilizou fibras animais e vegetais para a produção manual de tecidos que suprissem as necessidades da época vivida. O desenvolvimento de técnicas de produção dos têxteis teve seu avanço acelerado quando eclodiu a primeira revolução industrial no século XVIII (VON TUNZELMANN, 1995), que teve como consequência a criação de máquinas que faziam com que as técnicas, antes manuais, para a obtenção dos têxteis fossem aprimoradas, elevando consideravelmente a velocidade de produção.

Com o passar dos anos novas necessidades surgem, novos equipamentos e processos são desenvolvidos e produtos inovadores são criados. Vale ressaltar que a qualidade de vida vem sendo cada vez mais o foco de grande parte da população e muitos trabalhos científicos estão orientados nesta realidade, com o objetivo de que a expectativa de vida de uma pessoa se mantenha cada vez mais longa. Para que isso seja possível é necessário analisar não apenas o que é ingerido e as atividades físicas praticadas. Mas, também, levar em consideração, com a atenção necessária, os materiais que o nosso corpo está em contato direto, praticamente 24 horas por dia.

Com a preocupação em melhorar a qualidade de vida dos seres humanos, uma nova área tem se desenvolvido no domínio dos acabamentos têxteis. Neste contexto vem se estudando os problemas causados, por exemplo, em relação à emissão da radiação ultravioleta (UV) e seu contato com a pele humana.

A exposição prolongada à luz UV pode resultar em uma série de efeitos negativos para a saúde, como a aceleração do envelhecimento cutâneo, fotodermatose (acne), eritema (vermelhidão), e até mesmo câncer de pele (WANG; HAUSER, 2010).

Além de estudos voltados à proteção e qualidade de vida, muitas são as pesquisas voltadas à biomimética, ou seja, consiste em analisar sistemas naturais e reproduzir seus princípios de solução, buscando contribuições relevantes no processo de desenvolvimento de produto (DETANICO *et al.*, 2010). Neste sentido, fazer com que um têxtil cumpra a mesma função observada na natureza. Um dos exemplos é a propriedade super-hidrofóbica das folhas da flor de lótus.

O quão hidrofóbico é um têxtil pode ser comprovado através da medição do ângulo de contato que uma gota de água forma ao ser depositada sobre a superfície do mesmo. Há

várias evidências em que combinações de topografia e estruturas químicas hidrofóbicas produzem superfícies com elevados ângulos de contato (SHATERI KHALIL-ABAD; YAZDANSHENAS, 2010). Ressalta-se que uma gota de água apresenta um espalhamento distinto de acordo com a superfície, pois o modo como o volume de água de uma gota se acomoda depende das interações entre a água e a superfície do material em que foi depositada (GONDIM, 2017).

Atualmente, além de proteções à diferentes tipos de líquidos, é observado também proteções que retardam a incidência de propagação de chamas fazendo com que, em uma situação real, seja possível aumentar o tempo de evacuação do indivíduo ou salvamento de uma determinada área. Observa-se que o fogo tem sido uma útil ferramenta para a história do homem, mas ele também pode trazer desastres se não controlado com a devida atenção. Nos Estados Unidos, o fogo tem matado mais pessoas que todos os outros desastres naturais combinados (CONDON *et al.*, 2010).

Assim, agentes químicos podem ser inseridos nos têxteis para proporcionar que o material retarde a propagação das chamas caso haja algum acidente envolvendo fogo no ambiente em que o indivíduo se encontra.

Apesar de serem naturalmente protetores, muitos substratos têxteis necessitam melhorar certas propriedades, como por exemplo a proteção contra radiação ultravioleta (UV), com o intuito de evitar doenças adquiridas devido a elevada exposição às radiações solares (Gambichler, *et al*, 2002). A radiação ultravioleta está classificada em três frequências de onda: UVA, UVB e UVC. As radiações UVB e UVC são potencialmente as mais perigosas para o ser humano. Os raios UVA possuem radiação e intensidade constantes durante todo o ano e penetram profundamente na pele, sendo o principal causador do foto-envelhecimento e predispõe a pele ao surgimento do câncer (Gambichler, *et al*, 2002). Por outro lado os raios UVB caracterizam-se pela radiação mais perigosa e a sua incidência se eleva durante o verão. Estes penetram superficialmente na pele, causando queimaduras solares, e é a principal causa pelas alterações celulares que provocam o câncer de pele.

Dentre os principais agentes funcionalizadores relacionados a proteção aos raios UVs destaca-se o dióxido de titânio, por apresentar propriedades específicas, tais como a elevada reflectibilidade, estabilidade química e a elevada capacidade de absorção de radiação ultravioleta. Além disso, trata-se de um produto inócuo tanto do ponto de vista ecológico como toxicológico (Nascimento *et al.* 2011).

A utilização de diferentes agentes funcionalizadores, como de proteção aos raios UV, produtos de repelência a sujidades (hidrofóbicos) e retardantes à chama, além de trazerem

benefícios para os substratos têxteis, podem alterar a cor final do material que recebeu o tratamento.

Desta forma, este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo principal funcionalizar tecidos de malha de algodão e poliéster com agentes antiUV, anti-chama e com propriedades auto-limpante, utilizando os processos de esgotamento e impregnação, verificando as propriedades colorísticas finais dos materiais têxteis. Diversas técnicas de caracterização, tais como: Calorimetria diferencial de varredura (DSC), Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR), ângulo de contato, análise do Fator de Proteção Ultravioleta (FPU) e análise de exposição à chama, serão utilizadas para comprovar a funcionalização dos substratos supracitados. O estudo das coordenadas colorimétricas, grau de branco e da variação de cor obtidas antes e após as funcionalizações serão também investigadas de forma intensiva com a utilização do espectrofotômetro de reflectância.

2 ESTADO DA ARTE

2.1 FIBRAS TÊXTEIS

É muito antiga a utilização de fibras. São conhecidas desde o surgimento dos vestuários rudimentares. Porém, a partir do século passado é que elas vêm ganhando cada vez mais notoriedade no mercado internacional.

As fibras são divididas em duas grandes classes: natural e não natural. Dentro da classe das fibras naturais há uma divisão de subclasses conhecidas como animal, vegetal e mineral. As fibras que mais representam respectivamente estas três subdivisões são lã, algodão e asbesto.

Dentro da classe das não naturais, há uma divisão de subclasses conhecidas como sintéticas e regeneradas/artificiais. As fibras mais representativas desta subdivisão são poliéster (PES) e a viscose (CV), respectivamente.

Fabricadas a partir de produtos e derivados petroquímicos, as fibras sintéticas foram criadas para substituir as fibras naturais. Por serem mais uniformes e longas, são muitas vezes mais resistentes, tornando os processos produtivos mais rápidos e com menos desperdícios, podendo ser utilizadas puras ou misturadas com outros tipos de fibras (OLIVEIRA, 1997).

De acordo com Oliveira, até o início do século 20, os materiais têxteis eram oriundos de fibras naturais. O surgimento das fibras sintéticas e seu posterior processo evolutivo foram primordiais para o contínuo crescimento da cadeia têxtil. De fato, as décadas posteriores ao aparecimento das primeiras fibras sintéticas foram cientificamente muito exploradas e novas fibras poliméricas foram sendo descobertas e utilizadas nas mais diversas aplicações (OLIVEIRA, 2013).

A figura 1 apresenta o consumo de fibras têxteis no Brasil no ano de 2000 até 2018. A partir dos dados obtidos nesta tabela pode-se perceber que as fibras de algodão e poliéster possuem maior destaque no ranking do mercado nacional.

Figura 1 - Consumo de fibras têxteis no Brasil entre os anos 2000 e 2018

(em 1.000 toneladas)

ANO	NATURAIS						ARTIFICIAIS			SINTÉTICAS					TOTAL GERAL
	Algodão	Lã lavada	Linho/Rami	Seda (fio)	Juta	TOTAL	Viscose	Acetato	TOTAL	Poliamida	Poliéster	Acrílico	Polipropileno	TOTAL	
2000	885,0	8,3	2,4	0,11	19,0	914,8	30,1	1,5	31,6	101,5	314,6	53,3	122,1	591,5	1.537,9
2001	865,0	6,4	1,6	0,11	18,5	891,6	24,3	1,0	25,3	83,3	304,9	47,7	123,7	559,6	1.476,4
2002	805,0	5,0	1,6	0,16	19,0	830,8	23,90	9,85 ²	33,8	73,14	314,64	43,0	144,0	574,8	1.439,3
2003	800,0	5,5	1,4	0,16	22,0	829,1	27,18	10,02 ²	37,2	75,13	342,90	37,5	150,0	605,6	1.473,4
2004	930,0	5,0	1,20	0,18	22,0	958,4	29,21	10,06 ²	39,3	80,49	400,56	48,1	161,0	690,2	1.687,8
2005	900,0	4,5	1,92	0,21	20,0	926,6	28,25	10,35 ²	38,6	68,34	361,8	40,77	102,5	573,4	1.538,6
2006	890,0	5,0	2,31	0,15	18,2	915,7	37,44	10,79 ²	48,2	70,85	374,97	35,03	95,8	576,7	1.540,5
2007	1.005,8	5,8	1,30	0,16	19,0	1.032,1	47,39	9,6 ²	57,0	87,25	378,52	37,91	116,9	620,5	1.709,6
2008	1.050,0	6,0	0,90	0,11	21,0	1.078,0	19,71	9,3 ²	29,0	80,98	446,4	41,4	110,0	678,8	1.785,8
2009	948,6	4,7	0,80	0,15	15,5	969,8	41,55	8,5 ²	50,1	71,04	404,45	34,8	102,0	612,3	1.632,1
2010	1.015,0	5,5	1,60	0,09	19,0	1.041,2	23,84	8,4 ²	32,2	96,7	455,97	31,9	126,0	710,6	1.784,0
2011	910,0	6,2	1,36	0,07	18,0	935,6	24,79	8,71 ²	24,8	88,12	443,18	35,13	152,0	718,4	1.678,9
2012	865,0	5,5	1,30 [*]	0,03	15,0	887,2	26,24	9,43 ²	35,7	91,41	433,88	23,23	152,5	701,0	1.623,9
2013	887,0	5,8	1,33 [*]	0,04	14,0	908,0	16,25	9,41 ²	25,7	93,05	465,71	13,51	159,4	731,7	1.665,3
2014	850,0	5,2	1,25 [*]	0,04	13,0	869,5	10,64	8,8 ²	19,4	106,5	479,4	11,09	170,0	767,0	1.655,9
2015	820,0	4,5	0,60	0,04	12,0	837,1	12,17	7,6 ²	19,8	74,1	406,7	12,6	156,0 ³	649,4	1.506,3
2016	660,0	3,9	0,6	0,04	11,0	675,5	14,00	6,3 ²	20,3	72,9	465,7	10,9	156,3 ³	705,8	1.401,6
2017	700,0	2,9	0,6	0,03	11,5	715,0	11,9	13,6 ²	25,5	94,8	501,4	13,3	135,9	745,5	1.486,0
2018	720,0	3,5	0,7	0,6	12,0	736,8	14,0	7,0 ²	21,0	80,0	547,0	9,0	137,2	773,2	1.531,0

Fonte: Adaptado de ABIT (2018).

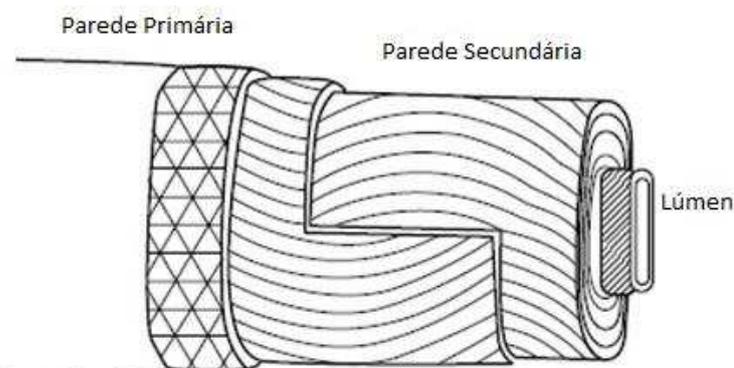
Dentre os diversos tipos de fibras existentes, este trabalho de conclusão de curso irá focar nas duas fibras mais utilizadas no mundo, algodão e poliéster, as quais serão exploradas de forma sucinta nos itens a seguir.

2.2 ALGODÃO (CO)

O algodão é conhecido por ser um dos materiais naturais encontrados em abundância no planeta. Na antiguidade as roupas de algodão eram usadas na China, Egito e no Peru. As vestimentas encontradas no Egito indicam que o algodão pode ter sido usado desde 12000 a.C., antes mesmo do linho ser descoberto (KOZLOWSKI, 2012).

As fibras de algodão possuem uma estrutura fibrilar que consiste em uma parede primária, uma parede secundária e um lúmen (KOZLOWSKI, 2012). A figura 2 representa um esquema das multicamadas que compõem a fibra de algodão.

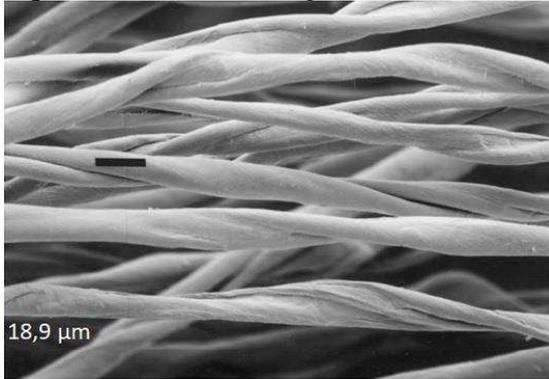
Figura 2 - Representação das multicamadas da fibra de CO



Fonte: Adaptado de KOZLOWSKI (2012).

Sobre o olhar de um microscópio, as fibras de algodão aparecem como um tubo longo, irregular, torcido e achatado (ISHIKAWA, 2012) (Figura 3). Estas partes torcidas são chamadas de convoluções. As convoluções dão ao algodão uma superfície desigual, o que aumenta a fricção interna e permitem que fios finos de algodão com excelente resistência à tração sejam fiados (KOZLOWSKI, 2012).

Figura 3 - Vista microscópica de fibras de CO



Fonte: ISHIKAWA (2012).

Estas fibras são a forma mais pura de obter celulose na natureza, uma vez que apresentam de 88% até 96% desta substância em sua composição, como evidencia a tabela 1 que apresenta a composição química de uma fibra de algodão.

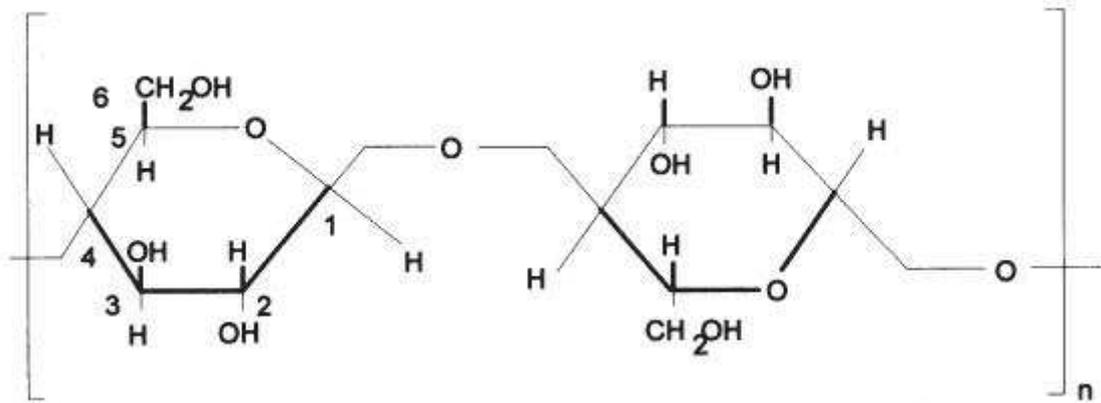
Tabela 1 - Composição química da fibra de CO

Constituintes	Percentual		
	Típico	Baixo	Alto
Celulose	94,0	88,0	96,0
Proteína	1,3	1,1	1,9
Cinza	1,2	0,7	1,6
Ceras	0,6	0,4	1,0
Total de açúcares	0,3	-	-
Outros	0,9	-	-

Fonte: Adaptado de KOZLOWSKI (2012).

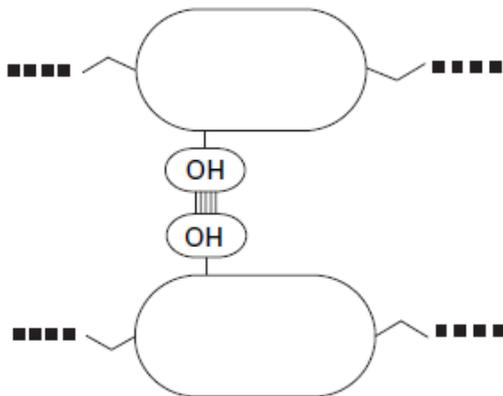
O efeito de fita torcida observada na figura 2 (convoluções) pode ser entendida através da representação de uma parte da cadeia de celulose, ou seja, monômero de celulose (Figura 4). Estes são agregados de cadeias paralelas de macromoléculas de celulose que são mantidas juntas por ligações de hidrogênio (WADOOD, 2002). Ao observar a figura 4, nota-se que há várias ligações de hidrogênio, sendo melhor representadas na figura 5.

Figura 4 - Monômero de celulose



Fonte: WADOOD (2002).

Figura 5 - Representação esquemática das ligações de hidrogênio na cadeia de celulose



Fonte: KOZLOWSKI (2012).

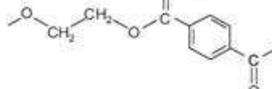
A fibra de algodão possui a característica de ser uma fibra muito versátil podendo ser aplicada nas mais diversas áreas como vestuário, cama, mesa e banho e também em áreas técnicas, desde que devidamente preparadas e acabadas.

2.3 POLIÉSTER (PES)

De acordo com Oliveira, 2013, as fibras sintéticas representam hoje a maior fatia da indústria têxtil, e estudos de prospecção para este setor indicam um crescimento ainda maior para os próximos anos.

A fibra de poliéster possui grande domínio no mercado dos sintéticos por se tratar de um polímero de baixo custo. O poliéster possui várias propriedades desejáveis, como elevada resistência, estabilidade dimensional e adequação para a mistura com outros tipos de fibras (JAYSHREE, DAVE; RAJ, KUMAR; SRIVASTAVA, 1949). O quadro 1 apresenta algumas propriedades relacionadas a fibra de poliéster.

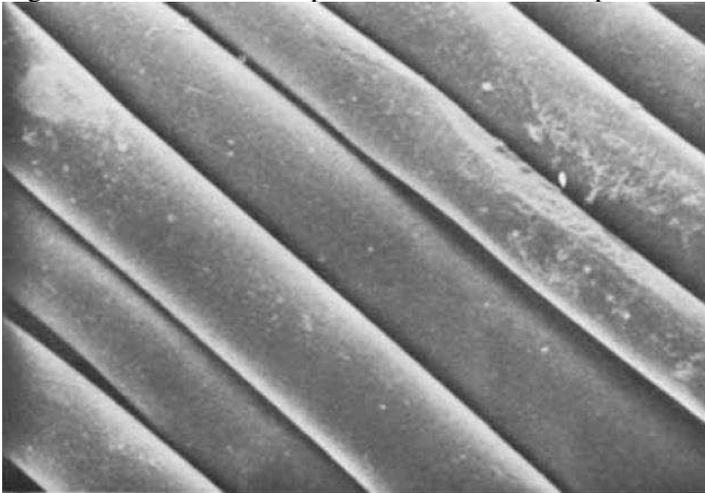
Quadro 1 - Principais propriedades contidas na fibra de poliéster

Fibra	Estrutura Química	Propriedades Importantes	Aplicações/ Observações
Poliéster	<p>As fibras de poliéster são formadas por macromoléculas lineares cuja cadeia possui, pelo menos, 85% (em massa) de unidades de éster derivados de um diol e do ácido tereftálico: poli (tereftalato de etileno). [2]</p> 	<p>Baixa absorção de humidade; boa resistência à luz e ao uso; não enrugam; boa elasticidade; resiste a maior parte dos produtos químicos; tem tendência a formar pilling com o uso; encolhe com o calor. Densidade: 1.36-1.41 g.cm⁻³ e teor cristalino: 45-55%.</p>	<p>Tecidos para vestuário, indústria automobilística, tecidos técnicos. É uma fibra muito barata e atualmente, é a fibra têxtil mais utilizada no mundo.</p>

Fonte: Adaptado de OLIVEIRA (2013).

Através da figura 6 nota-se que a fibra de poliéster possui uma superfície suave, uniforme ao longo de todo o seu comprimento, possuindo o formato de um cilindro.

Figura 6 - Visão microscópica da fibra de PES ampliada em 820x



Fonte: ELLISON *et al.* (1982).

Apesar das boas propriedades citadas, o PES possui características como: formação de pilling, elevada estática e é tingido com poucas classes de corantes devido à sua natureza hidrofóbica (KIM; SONG, 2006).

2.4 AVALIAÇÃO DAS COORDENADAS COLORIMÉTRICAS

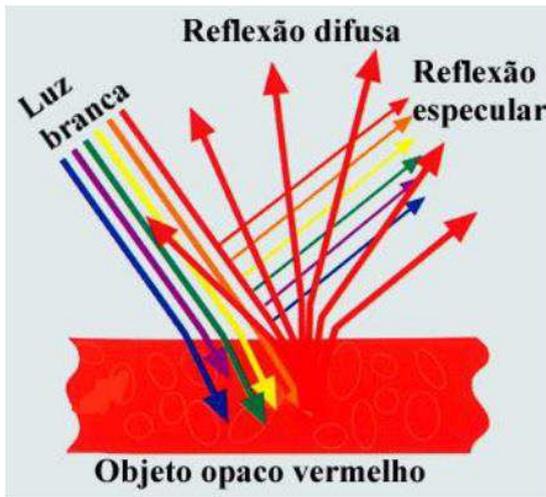
Nesta seção serão apresentados os conceitos relacionados a ciência das cores, tema essencial para o desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso.

2.4.1 Cor

Para a compreensão do conceito de cor, deve-se levar em consideração que não é possível visualizar uma cor no escuro. Portanto, para que seja possível a identificação das cores, se faz necessária a presença de luz. As cores são resultantes da interação entre a fonte de luz, o objeto e o sistema visual humano, denominado como observador (LEÃO, 2005).

Entende-se como luz a emissão de ondas eletromagnéticas que possuem diversos comprimentos de ondas. Estas ondas, ao incidirem um determinado objeto, serão absorvidas e refletidas à um observador em um determinado comprimento de onda. A cor somente existe quando os raios de luz refletidos de um objeto “chegam” ao sistema visual de um observador e este produz a sensação de cor (KÜPPERS, 1995). O sistema de emissão e reflexão da luz pode ser melhor visualizado na figura 7.

Figura 7 - Representação da emissão da luz e reflexão de cor do objeto



Fonte: Google Imagens.

Segundo Leão, 2005, cada ser humano possui nas células de seus olhos cerca de 6 milhões de cones e 120 milhões de bastonetes. Os bastonetes são responsáveis pelo auxílio de visão quando o indivíduo se encontra em ambientes pouco iluminados. Os cones são responsáveis pela captação das cores e individualmente cada cone possui uma sensibilidade em uma determinada faixa de comprimento de onda do espectro (LEÃO, 2005).

McDonald afirma que o olho humano capta as radiações eletromagnéticas com comprimento de onda na faixa de 380 nm a 760 nm e as transforma em impulsos nervosos. Os impulsos chegam ao cérebro, onde são analisados e interpretados como luz. A figura 8 apresenta a faixa do espectro visível aos olhos do ser humano.

Figura 8 - Faixa do espectro visível aos olhos humanos



Fonte: Google Imagens.

Por se tratar de um aspecto subjetivo, a cor pode possuir várias interpretações. No conceito físico, a cor é a distribuição espectral da radiação emitida, refletida ou transmitida. Em conceitos psicofísicos, as cores são definidas pela reação do olho humano provocada pela radiação. Em níveis psicométricos, as cores são representadas no espaço das cores utilizando sistemas como o CIEL*a*b*. A estrutura do espaço psicométrico é muito similar à do espaço visual (BRUNO, 2004).

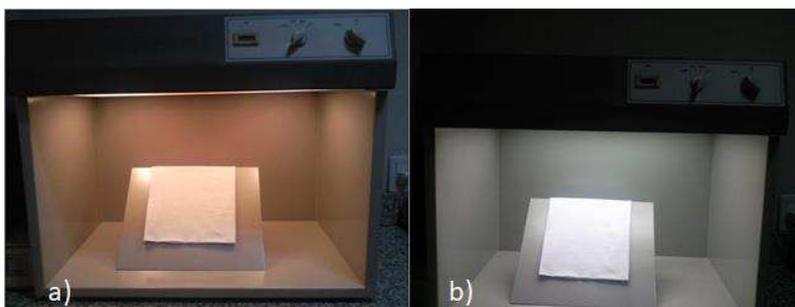
Para Guimarães, 2001, a cor possui três parâmetros essenciais para identificação: a matiz, ou tonalidade, é definida pelo comprimento de onda, o brilho é definido pela luminosidade, claro ou escuro, a croma é o grau de pureza da cor.

Há vários fatores que podem ser influenciadores na diferença de cor observada de um mesmo objeto, como o ângulo em que está sendo observado, o tipo de luz utilizado para tal avaliação e o observador, uma vez que este último varia de olho para olho (BRUNO, 2004).

Bruno, 2004, também aponta que uma vez que a luz possui diversas variações e para que seja possível uniformizar ao máximo os ensaios de reprodução de cores em substratos têxteis, desenvolveu-se a cabine de luz. Este sistema consiste em analisar a emissão da cor de uma amostra dentro de um equipamento composto por lâmpadas que simulam a iluminação de determinados ambientes ao qual estarão expostas

A CIE, comissão internacional de luz, determinou dois iluminantes padrões para a avaliação das coordenadas colorimétricas. O iluminante A, que simula as lâmpadas domésticas incandescentes de tungstênio (Figura 9a) e o iluminante D65, utilizado nas avaliações colorimétricas como simulador da luz do dia (Figura 9b) (BERTOLINI, 2010). Ressalta-se também a existência do iluminante C que, diferentemente do iluminante D65, simula a luz do dia mas sem a consideração dos comprimentos de onda que abrangem a região do UV (COSTA BOBIÃO, 2014).

Figura 9 - Cabine de luz com: a) iluminante A; b) iluminante D65.



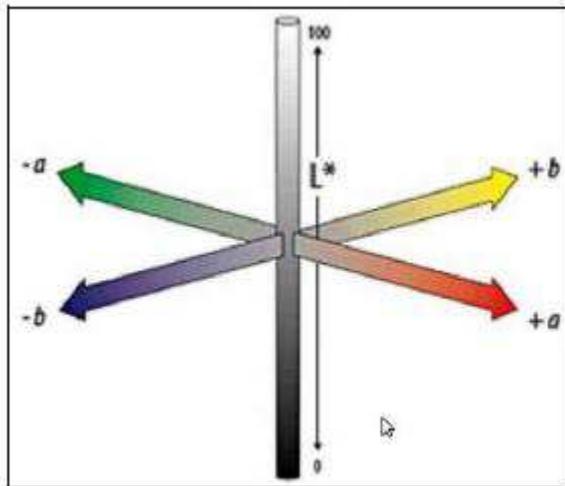
Fonte: BERTOLINI (2010).

2.4.2 Colorimetria

De acordo com Fraser, 2007, a colorimetria é a ciência que estuda a cor de acordo com a percepção humana. O sistema possui como objetivo transformar uma avaliação considerada subjetiva em quantitativa por meio de coordenadas colorimétricas.

Um dos sistemas de cores desenvolvido para aplicar nas avaliações colorimétricas foi o CIEL*a*b*. Este modelo foi desenvolvido pela CIE para diminuir a subjetividade da avaliação das cores percebidas pelo sistema visual humano (LEÃO, 2005). O L* representa o valor de luminosidade da cor, enquanto que a* pode variar do verde para o vermelho e b* do amarelo para o azul. A figura 10 apresenta o modelo de cor utilizado pelo sistema CIEL*a*b*.

Figura 10 - Modelo de gráfico do sistema CIELAB



Fonte: BERTOLINI (2010).

2.4.3 Diferença de cor

Os dados das coordenadas colorimétricas servem, também, para se calcular a diferença de cor (ΔE), (Equação 1). Segundo Leão, 2005, tendo o valor numérico de duas cores em L* a* b*, é realizada a colocação das mesmas e registrada a distância entre elas como sendo pontos no modelo de cor uniforme (CIELAB). Se essa distância estiver dentro do valor de aceitação de ΔE , a diferença de cor entre as amostras analisadas estará aprovada.

$$\Delta E = (\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)^{1/2} \quad (1)$$

2.4.4 Grau de Berger

Além das coordenadas colorimétricas aferidas pelo equipamento espectrofotômetro, em amostras brancas mede-se também o grau de branco. De acordo com Costa, 2014, o grau de branco é definido como uma medida da quão perto uma superfície coincide com as propriedades de um difusor refletor perfeito.

O grau de Berger foi desenvolvido por A. Berger e apresentado em 1959. É especificado para o iluminante C, que representa a luz do dia não incluindo a região UV, e observador padrão 2°. Contudo, a equação é comumente também utilizada para outros iluminantes e observadores (COSTA BOBIÃO, 2014). A Equação 2 apresenta o método para se calcular o grau de Berger.

$$WI = 0,333 Y + 125 \frac{Z}{Z_0} - 125 \frac{X}{X_0} \quad (2)$$

Onde x, y e z são os valores tristímulos da amostra medidos pelo equipamento e Z₀ e X₀ são os valores tristímulos do iluminante utilizado para a medição do grau de brancura. Quanto maior for o Grau de Berger, maior a brancura da amostra.

2.5 AGENTES FUNCIONALIZANTES

Nesta seção, os agentes funcionalizantes utilizados para a realização deste trabalho serão conceituados para uma melhor compreensão dos processos.

2.5.1 Tratamentos hidrofóbicos

A maneira como uma gota de água se espalha sobre a superfície de um tecido pode informar a respeito de sua propriedade de repelência à água.

Inspirado na biomimética, superfícies naturais como a flor de lótus apresentam propriedades de repelência à água, e este tipo de particularidade tem recebido um interesse considerável nas últimas décadas (ZIMMERMANN; SEEGER; REIFLER, 2009) (Figura 11). Além da característica de super-hidrofobicidade que a folha da flor de lótus apresenta, observa-se que a mesma permanece em constante limpeza, uma vez que as gotas que percorrem a folha conseguem remover partículas sólidas de sujeira.

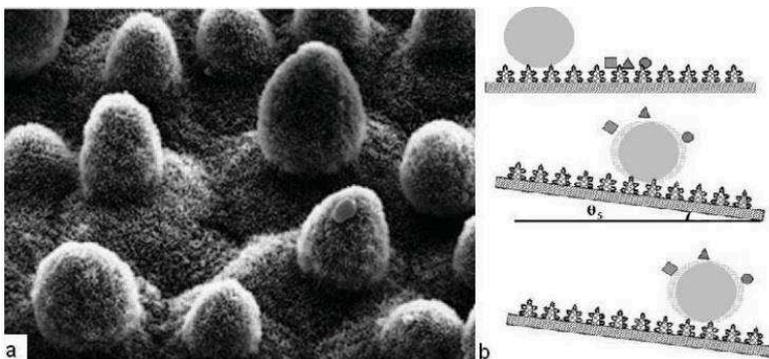
Figura 11 - Flor de lótus contendo gotas de água sobre a sua superfície



Fonte: BURKARTER (2010).

A propriedade da folha da flor de lótus de repelir por completo a água e impedir a adesão da sujeira sobre a superfície pode ser explicada pela presença de microneóculos ao longo da folha. Assim, as gotas de água carregam a sujeira da superfície, justificando serem denominadas como auto limpantes (Figura 12). (BURKARTER, 2010).

Figura 12 - (a) Microneóculos distribuídos na superfície da folha de lótus; (b) funcionamento de limpeza através das gotas de água na folha



Fonte: BURKARTER (2010).

Um dos principais métodos para a avaliação da propriedade super-hidrofóbica de uma superfície por meio do ensaio do ângulo de contato.

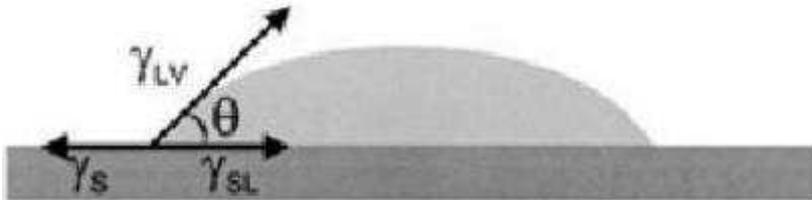
O ângulo de contato representa um fator importante no processo de hidrofilidade. Estudar o seu comportamento em substratos têxteis possibilita um melhor entendimento sobre as mudanças das propriedades de superfície (GONDIM, 2017).

Ao depositar gotas de água em superfícies ditas super-hidrofóbicas pode-se notar que as gotas exibem ângulos de contato extremamente elevados ($\theta > 150^\circ$) e deslizam a partir de determinada inclinação (ZIMMERMANN; SEEGER; REIFLER, 2009).

A super-hidrofobicidade de uma superfície é resultado da combinação de dois fatores: baixa energia de superfície do material e um tipo especial de rugosidade (BURKARTER, 2010).

O método de cálculo do ângulo de contato é realizado através da linha que tangencia a gota e a linha horizontal da superfície, como ilustrado na figura 13.

Figura 13 - Representação do ângulo de contato



Fonte: GONDIM,(2017).

Possuindo os dados indicados na figura 13, pode-se calcular o trabalho de adesão (W_a) entre um sólido e um líquido, através da Equação de Dupré (Equação 3).

$$W_a = \gamma_{LV} + \gamma_S - \gamma_{SL} \quad (3)$$

Onde:

W_a = Trabalho de adesão;

γ_S = Energia da superfície sólida;

γ_{SL} = Tensão interfacial sólido/líquido;

γ_{LV} = Tensão superficial do líquido.

Com o cálculo do trabalho de adesão pode-se definir o ângulo θ de contato entre a gota e a superfície, através da equação Young-Dupré (Equação 4).

$$W_a = \gamma_{LV} (\cos \theta + 1) \quad (4)$$

Segundo BURKARTER, 2010, os produtos utilizados como agentes funcionalizantes que proporcionam a propriedade hidrofóbica ao substrato têxtil geralmente podem ser:

- a) Nanopartículas de dióxido de silício (SiO_2);
- b) Dióxido de titânio (TiO_2);
- c) Cadeias de alcanos;
- d) Nano cristais de óxido de zinco combinados a um tratamento térmico;
- e) Plasma de CF_4 - e PTFE;
- f) Fluorcarbonos.

Para que um tecido apresente a propriedade de repelência à água é necessário que este passe por um processo de beneficiamento que fará com que esta propriedade seja

incorporada ao têxtil. Dependendo do agente funcionalizador utilizado, a técnica escolhida para aplicação pode ser por impregnação, esgotamento, plasma, dentre outros.

2.5.2 Tratamento anti-chama

À medida que um substrato têxtil consegue suportar um contato direto com uma determinada chama sem que haja uma rápida propagação da mesma, pode-se dizer que o tecido analisado possui a propriedade anti-chama inserida em sua superfície.

O uso de retardantes a chama para reduzir a combustibilidade dos polímeros e a produção de fumaça, ou fumaça tóxica, torna-se uma parte essencial do desenvolvimento e aplicação de novos materiais (SHUI-YU LU; HAMERTON, 2002).

ZHU *et al.*, 2004 afirmam que diferentes instrumentações podem estudar distintos produtos têxteis com ou sem propriedades de resistência ao fogo. O índice de oxigênio (LOI) e o comportamento de queima vertical de tecidos podem ser diretamente empregados na avaliação de comportamentos retardadores de chama e consequente desempenho do substrato têxtil. De acordo com Zhu e seus colaboradores, as técnicas de Calorimetria Diferencial de Varredura e a análise termogravimétrica são meios importantes para estudar propriedades térmicas de materiais têxteis (ZHU *et al.*, 2004).

De acordo com Shui-Yu e Hamertonos (2002) os principais desenvolvimentos realizados na concepção de agentes anti-chamas são:

- a) Parafina clorada;
- b) Cloro contendo poliéster insaturado;
- c) Sistemas retardadores de chama intumescentes;
- d) Polímeros inerentemente retardadores de chama.

Segundo Horrocks *et al.*, 2001, e Pearce, 2012 todos os retardantes de chama agem ou na fase vapor ou na fase condensada através de um mecanismo químico/físico, com o objetivo de interferir no processo de combustão durante o aquecimento, a pirólise, a ignição ou a propagação da chama.

De acordo com Condon e seus colaboradores (2010) os halogenados e os aditivos contendo boro foram largamente usados para inibir as moléculas de oxigênios gerando grandes volumes de gases não inflamáveis e formando uma espécie de capa de vidro durante a decomposição térmica. Apesar da eficiência que estes compostos possuem, os retardantes de chama a base de halogenados tem sido apontados como prejudiciais ao ser humano e ao meio ambiente por liberarem gases tóxicos durante o contato com a chama. Os autores ainda afirmam que os aditivos retardantes de chama contendo boro são limitados devido a sua durabilidade, o que os restringem à substratos que são lavados a seco.

Os investigadores também afirmam que os tratamentos a base de fósforo são atualmente os que apresentam melhor durabilidade e podem ser usados comercialmente. Essas proteções são capazes de resistir a vários ciclos de lavagem, reduzem a volatilidade dos substratos e temperatura de pirólise.

O fósforo também pode atuar na fase condensada promovendo a formação de carvão na superfície, que age como uma barreira, inibindo a difusão dos gases na chama e para proteger a superfície do polímero do calor e do ar (SHUI-YU LU; HAMERTON, 2002).

2.5.3 Tratamento antiUV

De acordo com Wang e Hauser, 2010, a exposição prolongada do corpo humano às incidências de raios UV pode resultar em uma série de efeitos nocivos à saúde, como o desgaste acelerado da pele, acne, vermelhidão e câncer de pele.

Otani e seus colaboradores afirmam que a radiação solar que alcança a superfície da terra é caracterizada por comprimentos de onda de aproximadamente 295 nm até 2500 nm e que a parte actínica da radiação UV energética constitui cerca de 1-5% da radiação total (OTANI *et al.*, 2008). Shen e seu grupo de pesquisa reforçam em seu trabalho que apesar do percentual aparentar ser baixo, isso representa ser o componente de radiação mais perigoso responsável pela iniciação da maioria dos efeitos em materiais sobre intemperismo ao ar livre por fotólise de ligações covalentes e causar queimaduras solares, envelhecimento prematuro da pele, câncer de pele, catarata e outras doenças oculares e dermatológicas por exposição excessiva à luz ultravioleta (SHEN *et al.*, 2014).

Uma série de estudos convergem à uma solução do problema, com relação às incidências UV, que se faz interessante para a aplicação em substratos têxteis: utilização de nanopartículas de dióxido de titânio (TiO₂).

Nanopartículas semicondutoras de dióxido de titânio possuem forte capacidade de proteção UV, elevada estabilidade e segurança (HUANG *et al.*, 2015).

Tecidos de algodão são os mais utilizados para a aplicação de nanopartículas de dióxido de titânio por serem um dos tecidos mais consumidos e, também, por serem os mais escolhidos para trajés de verão, como camisetas e bermudas. Entretanto, um substrato de algodão não tingido, apenas alvejado, produz valores de fator de proteção ultravioleta (FPU) muito baixos (SHEN *et al.*, 2014).

Segundo Han; Yu (2006) para indicar proteção com a radiação UV, o termo fator de proteção solar (FPS) é largamente usado especialmente por cosméticos de proteção à pele e há dois métodos que são usados para determinar o FPS: *in vivo* e *in vitro*.

O FPU é definido na Norma Australiana / Nova Zelândia AS / NZS 4399: 1966,4. É largamente utilizado e empregado para avaliar a capacidade de proteção ultravioleta de produtos têxteis, baseado no método do teste in vitro.

Segundo Juan, 2011, as incidências UV abrangem cerca de 6% do total da radiação incidente e há três regiões de comprimento de onda que compõem o UV: UVC (100-200 nm), UVB (280-320 nm) e UVA (320-400 nm). Sendo que a camada de ozônio absorve totalmente a radiação UVC, 90% da radiação UVB e, quase não absorve a radiação UVA (MIASHITA *et al.*, 2014).

A diferença entre o FPS e o FPU se dá nos raios ao qual eles fornecem a proteção. Enquanto o FPS protege apenas de incidências de raios UVB, o FPU protege tanto de raios UVB quanto de raios UVA (INMETRO, 2010).

Na tabela 2 são apresentadas as classificações das várias categorias de proteção, seguido do fator de proteção e o percentual da radiação UV que é bloqueado pelo substrato têxtil.

Tabela 2 - Classificação do Fator de Proteção UV

Faixa de UPF	Categoria de proteção UV	Classificação
15 até 24	Boa Proteção	15, 20
25 até 39	Muito Boa Proteção	25, 30, 35
40 até 50, +50	Excelente Proteção	40, 45, 50, 50+

Fonte: JUAN (2011).

2.6 TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO

Além dos processos de impregnação e esgotamento de agentes químicos funcionalizantes sobre os substratos têxteis, são necessárias as devidas análises para que seja possível concluir que as propriedades estão inclusas no respectivo substrato. A seguir serão brevemente apresentadas as técnicas utilizadas para a caracterização das amostras estudadas.

2.6.1 Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC)

O DSC é um método de variação entálpica, no qual a diferença no fornecimento de energia calorífica entre uma substância e um material de referência é medida em função da temperatura, enquanto a substância em estudo e a referência são submetidas a um mesmo programa de aquecimento, ou arrefecimento, controlado com bastante rigor (CASIMIRO *et al.*, 2005).

2.6.2 Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

Este método condiz a uma análise rápida e de fácil obtenção de espectros de materiais que possuem determinadas espessuras e são fortemente absorventes para serem

analisados por espectroscopia de transmitância. É uma análise importante para se obter informações sobre as características de diversos tipos de materiais, nomeadamente filmes, resíduos, papéis, revestimentos, pós, tintas, tecidos, espumas, minerais, vidros entre outros (COLEMAN, MIRABELA, 1985-1993).

Este método pode ser aplicado para a identificação de alguns radicais existentes na superfície de um material. Diferentes radicais podem ser encontrados em diversas faixas de frequência em uma análise de FTIR, conforme indicado por Pavia *et al.*, 2010.

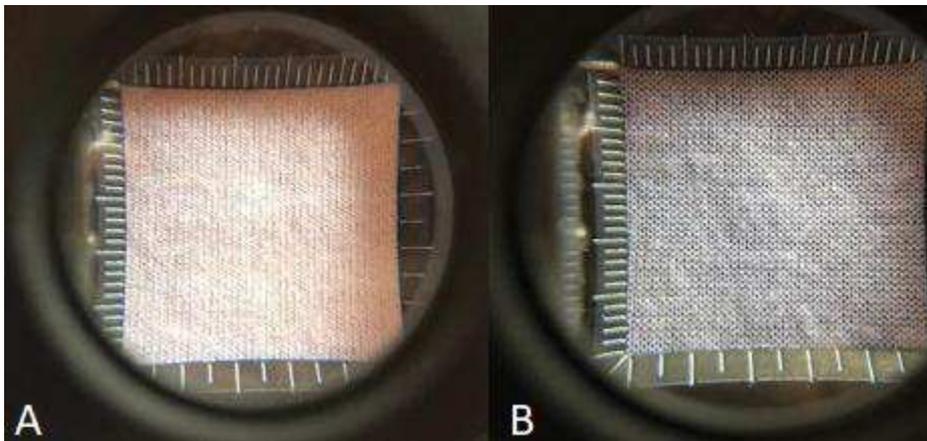
3 METODOLOGIA

3.1 MATERIAIS E REAGENTES

Para a execução deste trabalho foram utilizados dois tecidos de malha, ambos sendo formados pela estrutura de meia malha (Jersey), com as seguintes características:

- 1) 100% algodão (CO 100%) com gramatura de $153,4 \text{ g.m}^{-2}$, com 39 colunas. pol^{-1} e 48 cursos. pol^{-1} (Figura 14 a).
- 2) 100% poliéster (PES 100%) com gramatura de $100,3 \text{ g.m}^{-2}$, com 41 colunas. pol^{-1} e 42 cursos. pol^{-1} (Figura 14 b).

Figura 14 - Tecido de malha de CO 100% (a) e Tecido de malha de PES 100%(b).



Fonte: Autor (2019).

Os reagentes utilizados foram os seguintes:

- 1) GOLDFLAM SYN®, como agente funcionalizante anti-chama;
- 2) GOLDDGUARD F66®, como agente funcionalizante com propriedades hidrofóbicas;
- 3) HEIQ ULTRAVIOLET SUN®, como agente funcionalizante antiUV;
- 4) Ácido acético, para acerto de pH;
- 5) Bicarbonato de Sódio, para acerto de pH.

3.2 EQUIPAMENTOS

Para execução deste trabalho foram também utilizados os seguintes equipamentos:

- 1) Cortador circular (d=140mm);
- 2) Conta fios;
- 3) Balança eletrônica de duas casas decimais - Even;
- 4) Balança Analítica - Even;
- 5) Medidor de pH - Even, pH S3E;
- 6) Máquina de tingimento;

Os processos de funcionalização por esgotamento realizaram-se na máquina de tingir da marca Texcontrol com controlador programável de temperatura, tempo e rotações para promoção da agitação.

7) Foulard:

Para os processos de funcionalização por impregnação utilizou-se o Foulard da marca Mathis com controlador de velocidade e pressão dos rolos programáveis para 4 m/s e 4 bar, respectivamente.

8) TA instruments – DSC TA 2010:

O equipamento DSC TA 2010 da marca TA instruments foi usado com o objetivo de avaliar alterações térmicas dos materiais fibrosos antes e após o tratamento com o acabamento anti-chama. Para realização desta análise foram utilizados cadinhos de alumínio não hermético com tampas (40 μ l). Uma vazão de 60 $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$ de nitrogênio foi usada, com o objetivo de assegurar que o ambiente de análise se encontrasse inerte. Foram utilizadas amostras com massas de aproximadamente 5.00 mg e um varrimento de 10 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ com temperatura de 25 até 500 $^{\circ}\text{C}$.

9) Espectrofotômetro de Infravermelho com Transformada de Fourier:

Para caracterizar e identificar cadeias químicas e estruturas moleculares de compostos orgânicos nos materiais em estudo foi utilizado o equipamento Shimadzu UV-Visible Spectrophotometer UV-2600. Todos os espectros foram registrados a temperatura de 20 \pm 1 $^{\circ}\text{C}$, com resolução espectral de 4 cm^{-1} e média de 16 varrimentos. A técnica de reflexão atenuada (ATR) foi utilizada, para identificar alterações químicas mais superficialmente nos substratos têxteis tratados com os diferentes agentes funcionalizadores.

10) Espectrofotômetro de Reflectância

O espectrofotômetro da marca comercial Datacolor 500, monocromático, com uma gama espectral de 360 nm a 700 nm, precisão de $\pm 0,03$ nm e repetibilidade de $\pm 0,05$ nm foi utilizado para a análise do grau de branco e a avaliação colorimétrica dos substratos têxteis utilizados. Todas as medidas foram determinadas com o iluminante D65 e com observador 10°. O grau de branco foi avaliado através da fórmula de Berger, as coordenadas colorimétricas com a utilização do sistema CIEL*a*b*.

3.3 MÉTODOS

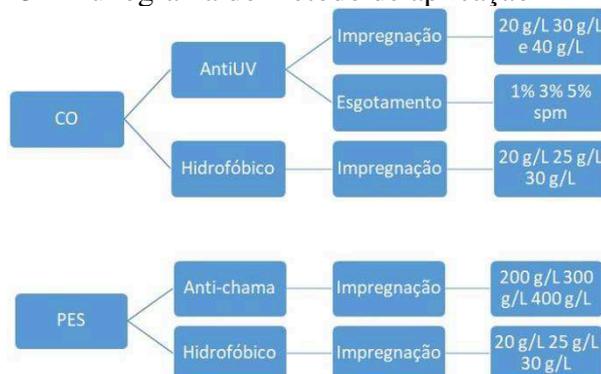
Para cada composição de malha estudada no presente trabalho, CO 100% e PES 100%, cortaram-se amostras retangulares com uma massa de, aproximadamente, 3,00 g para a realização dos processos por esgotamento.

Nos casos de aplicação de agentes funcionalizantes sobre o substrato que exigia processo de impregnação, o foulard apresentou os seguintes parâmetros de processo: pressão de 4bar e velocidade 4m/s. Avaliou-se o pick-up de acordo com os padrões exigidos pela ficha técnica de cada produto.

3.3.1 Aplicação dos agentes funcionalizantes

A quantidade de amostras analisadas, bem como o preparo para cada experimento, variou de acordo com o produto selecionado, seguindo as orientações dos dados fornecidos pela ficha técnica de cada produto. Em resumo, o processo se deu de acordo com a figura 15.

Figura 15 - Fluxograma do método de aplicação



Fonte: Autor (2019).

3.3.1.1 Goldflam syn ® (anti-chamas)

Este agente funcionalizante, de acordo com a ficha técnica fornecida, pode ser aplicado somente sobre fibra de poliéster, pelo método de impregnação (pick-up de 40 a 60%). Foram preparadas três amostras para cada concentração. As concentrações utilizadas foram:

- a) 200 g/L;
- b) 300 g/L;
- c) 400 g/L.

Após a realização da impregnação, as amostras foram colocadas em uma estufa com temperatura de 135°C durante 3 minutos.

3.3.1.2 Goldguard f66 ® (hidrofóbico)

Na aplicação deste agente funcionalizante foram preparadas amostras em triplicata para ambos os substratos, e o método utilizado foi por impregnação (pick-up) 50 a 80%. As concentrações utilizadas foram:

- a) 20 g/L;
- b) 25 g/L;
- c) 30 g/L.

3.3.1.3 Heiq ultraviolet sun ® (proteção UV)

Para a aplicação deste agente funcionalizante foram utilizadas amostras de malha CO 100%. Foram preparadas amostras em triplicata para o método de impregnação, cujas concentrações foram:

- a) 20 g/L;
- b) 30 g/L;
- c) 40 g/L.

No método por esgotamento foi preparada somente uma amostra, onde o tempo de processo foi de 20 minutos a uma temperatura de 40 °C. As concentrações utilizadas foram de:

- a) 1.0 % spm;
- b) 3.0 % spm;
- c) 5.0 % spm.

Todas as amostras foram posteriormente colocadas em estufa a uma temperatura de 130 °C por um período de 4 minutos.

3.3.2 Métodos aplicados para a caracterização dos materiais têxteis funcionalizados

3.3.2.1 Análise de Proteção UV

Com a utilização do equipamento Shimadzu UV-Visible Spectrophotometer UV-2600, foi realizado o estudo da proteção ultravioleta dos tecidos em estudo. A aplicação se deu por transmitância com os comprimentos de onda partindo de 400 nm e finalizando em 290 nm. Foram realizadas quatro medições por amostra, sendo duas no direito e duas no avesso técnico.

3.3.2.2 Análise anti-chama

Para a verificação qualitativa do agente anti-chama impregnado nas amostras de PES, foi desenvolvido um sistema composto por uma câmara com aparatos básicos, conforme representado na figura 16.

Figura 16 - Representação da câmara de simulação do teste anti-chama



Fonte: Autor (2019).

A metodologia para análise se deu através da marcação de uma linha horizontal sobre a amostra, posicionada 1,00 cm acima da sua base inferior. A partir desta marcação outra linha horizontal foi feita à 7,00 cm acima da primeira linha. Para cada amostra analisada utilizou-se uma nova vela com a finalidade de manter a similaridade dos parâmetros entre os substratos estudados.

Durante a realização dos ensaios, cronometrou-se 20 segundos para cada amostra analisada e então, partindo da linha horizontal inferior, foi possível medir a distância máxima percorrida pela chama (queima), uma vez que esta distância se deu pela marcação entre a

linha inferior e ao ponto mais elevado da queima. Com estes dados, pôde-se obter o percentual de consumo de substrato pela chama aplicada.

3.3.2.3 Análise das propriedades auto-limpantes

O equipamento *Goniometer System* OCA 15, usando o programa SCA20 com sistema de captação de imagens nos modos estático e dinâmico, foi utilizado para medir o ângulo de contato das amostras antes e após serem funcionalizadas com o agente hidrofóbico. Para a medição do ângulo de contato o volume da gota de água utilizado foi de 5 µl com uma vazão de 5 µl.s⁻¹. Foram efetuadas 5 leituras em diferentes pontos do tecido e calculada a respectiva média aritmética.

Foram também avaliados de forma qualitativa o comportamento de diferentes líquidos sobre a superfície dos tecidos funcionalizados, tais como: leite, iogurte, café, óleo e água.

3.3.2.4 Análise das propriedades colorimétricas

Para uma avaliação colorimétrica de elevada qualidade todos os parâmetros que de alguma forma possam influenciar na análise devem ser cuidadosamente controlados, devendo-se, portanto, padronizar as condições da amostra, do ambiente e do instrumento a ser utilizado. Neste sentido, a metodologia de medição estabelecida para os tecidos neste trabalho pode ser assim descrita:

- a) Calibração: antes de se iniciarem as medições foram realizadas as calibrações do espectrofotômetro com os padrões preto e branco.
- b) Número de pontos a serem medidos: a medição de cada amostra foi realizada em cinco pontos em diferentes posições.
- c) Abertura de medição: 9.0 mm.
- d) Geometria de medição: foi utilizada a Geometria Especular Excluída (SEX).
- e) Preparação da amostra: antes das medições serem iniciadas, estas foram condicionadas por um período de 12 horas.

As amostras foram dobradas para garantir que o *flash* de luz não ultrapassasse a malha durante a coleta dos dados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 TRATAMENTO HIDROFÓBICO

Tanto as amostras de tecido de algodão quanto de poliéster foram facilmente funcionalizadas com o agente de repelência a sujidade (hidrofóbico). O método utilizado para a obtenção de tal propriedade no substrato foi o de impregnação.

Realizando a medição da massa das amostras antes e após serem passadas pelo foulard, obteve-se os dados de pick-up de cada amostra e então calculou-se a média das mesmas, conforme visualizado na tabela 3.

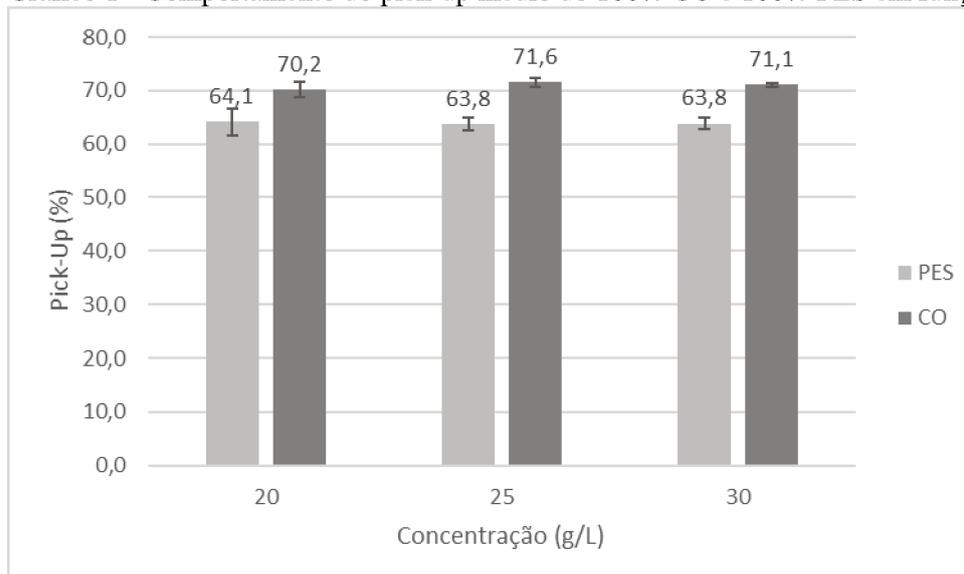
Tabela 3 - Dados de pick-up das amostras impregnadas

	Pick-up (%)					
	Algodão			Poliéster		
	20 g/L	25 g/L	30 g/L	20 g/L	25 g/L	30 g/L
	68,71	71,38	71,48	66,19	64,79	64,11
	71,38	72,41	71,1	64,89	64,03	62,62
	70,43	70,91	70,71	61,28	62,55	64,71
Média	70,17	71,57	71,1	64,12	63,79	63,81
Desvio padrão	1,35	0,77	0,38	2,55	1,14	1,07

Fonte: Autor. (2019).

Com os valores médios foi possível desenvolver o gráfico 1, que apresenta o comportamento de pick-up à medida que se aumenta a concentração do banho.

Gráfico 1 - Comportamento do pick-up médio do 100% CO e 100% PES em função da concentração

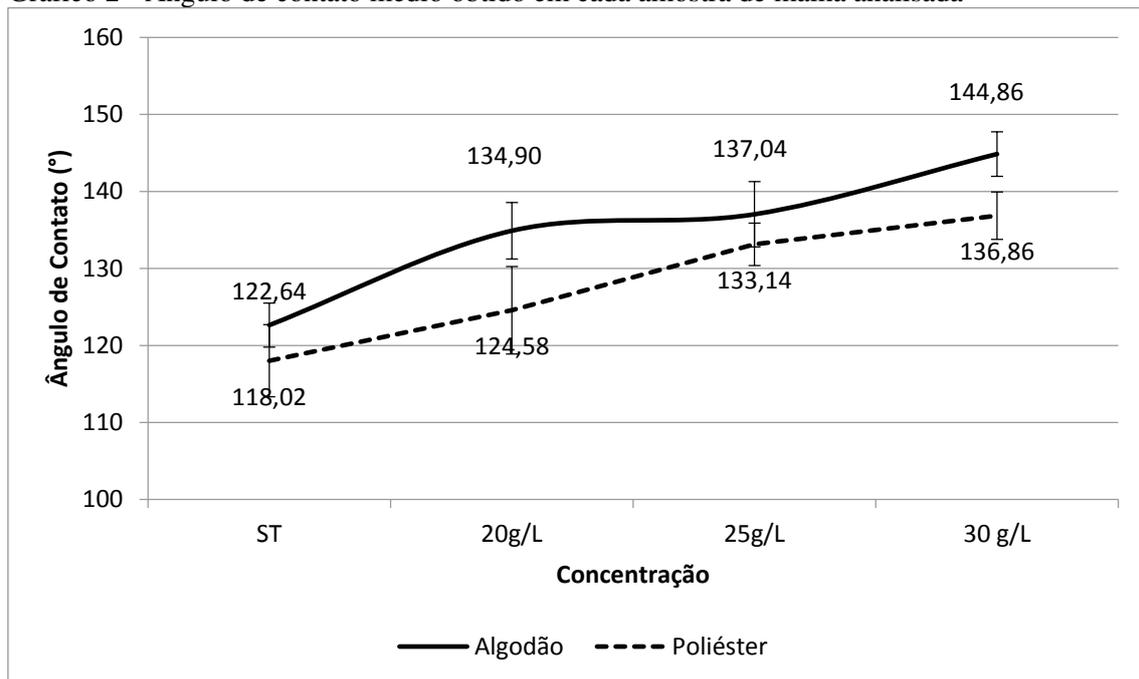


Fonte: Autor. (2019).

Analisando o gráfico 1, pode-se perceber que o comportamento dos pick-ups à medida em que se eleva a concentração do banho não se altera de forma significativa. Ou seja, o aumento da concentração do agente que proporciona ao substrato a funcionalidade não influencia na quantidade de banho absorvida pelas amostras impregnadas. Nota-se, também, a diferença de hidrofiliabilidade natural da fibra de CO, uma vez que o CO apresentou um pick-up superior quando comparado com o PES, o que vai de acordo com a literatura, pois o regain do algodão encontra-se na faixa de 7,5% e 8,0% (REDDY e YANG, 2009), e do poliéster não é indicado como nulo porém afirma-se ser um percentual próximo disso (OKUBAYASHI *et al.*, 2005).

Com a utilização de um goniômetro foi possível determinar os ângulos de contato das amostras avaliadas. Analisando cinco pontos distintos por amostra para cada concentração, e para a amostra sem tratamento (ST), foi possível obter um ângulo de contato médio. Com isso, gerou-se o gráfico 2, que apresenta a relação de concentração do agente funcionalizante com o seu respectivo ângulo de contato.

Gráfico 2 - Ângulo de contato médio obtido em cada amostra de malha analisada



Fonte: Autor. (2019).

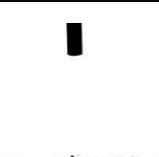
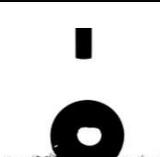
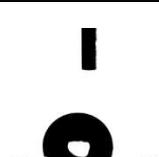
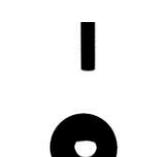
Analisando o comportamento do gráfico 2, de acordo com o aumento da concentração do produto obteve-se uma elevação no ângulo de contato, tanto nas amostras de PES quanto nas amostras de CO.

Pode-se perceber, também, que no PES, à medida que a concentração foi aumentando, a linha de tendência torna-se mais linear do que o comportamento da linha de tendência do CO.

Apesar de se obter um ângulo de contato bastante elevado (144.86°) vale ressaltar que não foi obtido um material superhidrofóbico, pois era necessário um ângulo de contato superior a 150° .

A figura 17 apresenta as imagens capturadas nos instantes iniciais em que as gotas de água foram aplicadas às amostras, de CO e PES, sem e com tratamento, na concentração mais elevada. Pode-se perceber que no tempo de dois segundos a amostra de poliéster sem tratamento apresenta sua característica natural de hidrofobicidade, uma vez que a gota não foi totalmente absorvida pelo tecido.

Figura 17 - Ângulo de contato nos instantes inicial e após 2 segundos nas amostras sem tratamento e com concentração de 30g/L

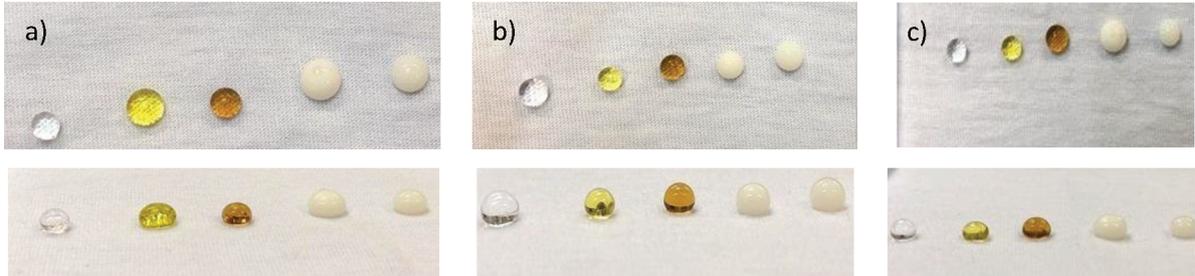
Sem tratamento		Com tratamento	
Tempo = 0	Após 2 segundos	Tempo = 0	Após 2 minutos
			
CO – Sem tratamento	CO – Sem tratamento	CO – 30g/L	CO – 30g/L
			
PES – Sem tratamento	PES – Sem tratamento	PES – 30g/L	PES – 30g/L

Fonte: Autor. (2019).

Além dos resultados obtidos pelo goniômetro, foi possível analisar qualitativamente a presença do agente funcionalizador através da aplicação direta de gotas de diversas substâncias líquidas.

As figuras 18 e 19 apresentam a aplicação das gotas de diversas origens nas amostras tratadas de CO e PES, respectivamente. É possível verificar visualmente a eficiência do agente funcionalizante nas imagens em todas as concentrações utilizadas.

Figura 18 - Vista superior e frontal de diversas substâncias sobre as amostras de CO funcionalizadas nas concentrações de: (a) 20g/L, (b) 25 g/L, (c) 30 g/L



Fonte: Autor. (2019).

Figura 19 - Vista superior e frontal de diversas substâncias sobre as amostras de PES funcionalizadas nas concentrações de: (a) 20g/L, (b) 25 g/L, (c) 30 g/L



Fonte: Autor. (2019).

Realizando uma análise visual das amostras antes e após a impregnação do agente funcionalizante, não foi possível determinar se o produto funcionalizador de fato alterava o grau de branco das mesmas. Para que fosse possível obter os resultados de tal análise, as amostras foram avaliadas pelo espectrofotômetro de transmissão.

Através dos resultados obtidos pelo espectrofotômetro, pode-se observar a variação do grau de branco e a alteração das coordenadas de luminosidade das amostras. A tabela 4 apresenta detalhadamente os dados obtidos para as amostras de CO analisadas pelo espectrofotômetro, antes e após a funcionalização, em diferentes concentrações.

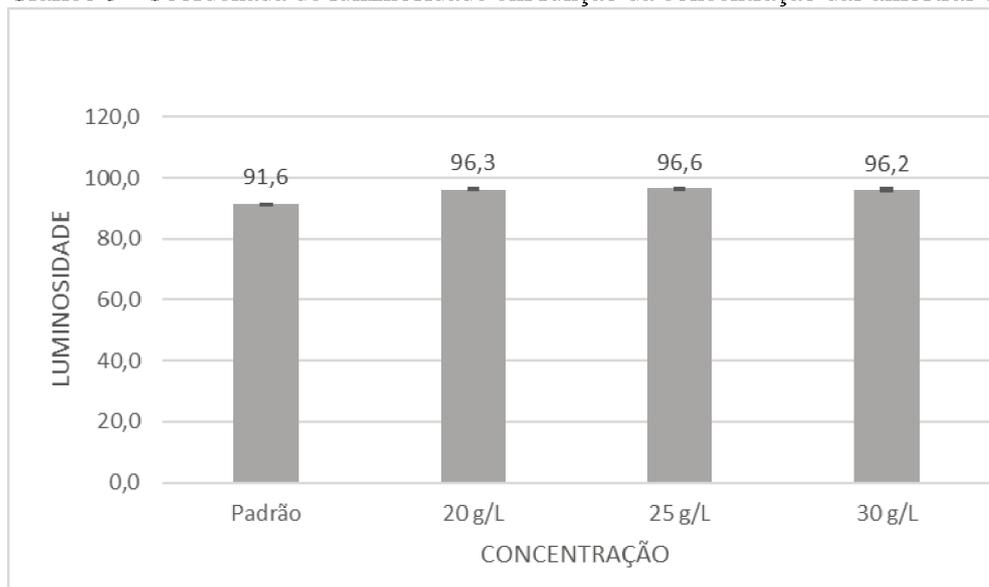
Tabela 4 - Coordenada de luminosidade e Grau de Berger das amostras de CO

	Luminosidade (L*)				Grau de Berger			
	Padrão	20 g/L	25 g/L	30 g/L	Padrão	20 g/L	25 g/L	30 g/L
	91,54	96,42	96,53	96,40	206,1	216,09	220,3	215,23
	91,57	96,60	96,60	96,43	205,37	220,2	219,47	214,05
	91,67	96,21	96,54	95,78	205,55	221,55	219,32	216,65
	91,54	95,88	96,55	96,25	207,19	217,76	218,81	213,81
Média	91,58	96,28	96,56	96,22	206,05	218,90	219,40	214,94
Desv.	0,06	0,31	0,03	0,30	0,82	2,44	0,66	1,30
Padrão								

Fonte: Autor. (2019).

A partir da tabela 4 foi possível desenvolver os gráficos 3 e 4 para melhor observar o comportamento dos desvios da coordenada de luminosidade e Grau de Berger, respectivamente.

Gráfico 3 - Coordenada de luminosidade em função da concentração das amostras de CO



Fonte: Autor. (2019).

Ao analisar o gráfico 3, nota-se que há um pequeno aumento entre a coordenada de luminosidade (5%) da amostra padrão, sem tratamento, e da amostra de menor concentração aplicada. Após este aumento, a coordenada permanece na mesma faixa sem que ocorra uma diferença significativa entre a amostra de menor concentração e as amostras com maiores concentrações.

A diferença de cor obtida de cada amostra quando comparadas à amostra ST estão apresentadas na tabela 5.

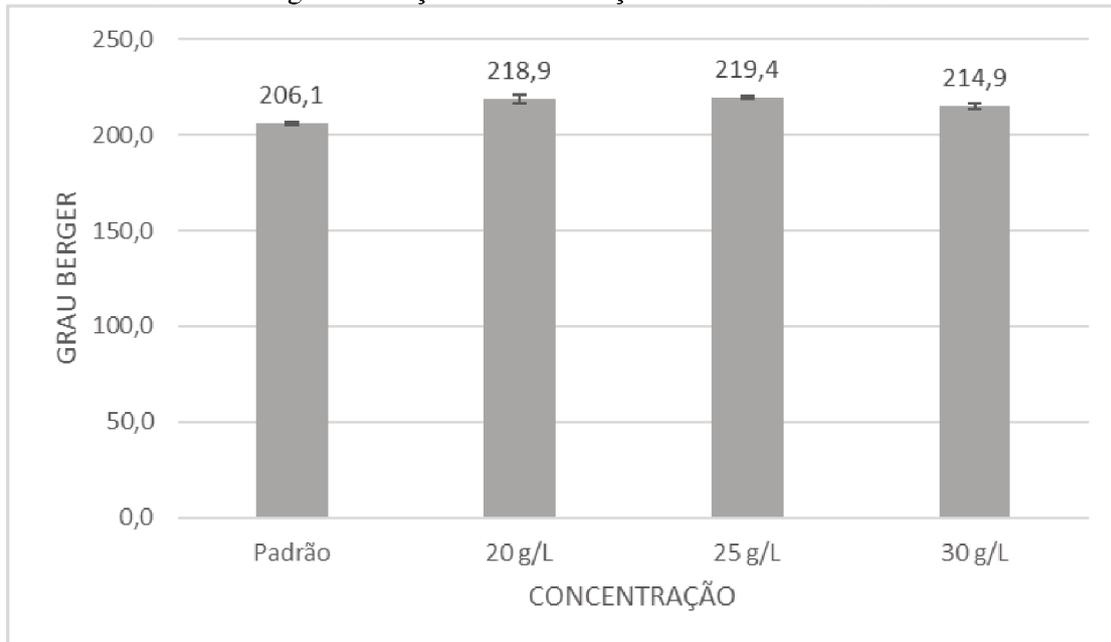
Tabela 5 - Diferença de cor das amostras de CO hidrofóbicas

	L*	a*	b*	ΔE
ST	96,53	6,06	-24,75	0,00
20 g/L	96,28	5,47	-23,81	1,13
25 g/L	96,56	5,52	-23,71	1,17
30 g/L	96,22	5,21	-23,17	1,82

Fonte: Autor. (2019).

Analisando a tabela 5, nota-se que não há mudança de cor considerável na medida em que se aumenta a concentração do agente funcionalizante. Apenas com uma ressalva para a análise da amostra de maior concentração.

Gráfico 4 - Grau de Berger em função da concentração das amostras de CO



Fonte: Autor. (2019).

No gráfico 4, verifica-se uma elevação significativa no Grau de Berger entre a amostra padrão, sem tratamento, e a amostra de menor concentração do agente funcionalizador. Observa-se também que há uma queda no Grau de Berger entre as amostras com concentração de 25 g/L e 30 g/L. Isto pode ser justificado devido à película que se forma sobre o tecido após a funcionalização melhorando a reflectância e deixando a amostra ainda mais clara.

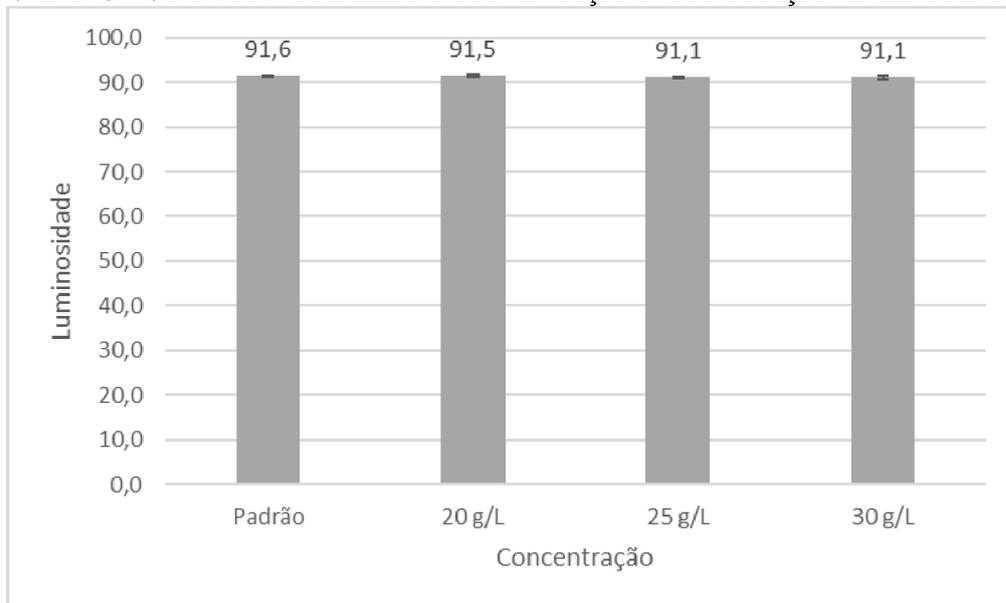
A tabela 6 apresenta os dados da coordenada de luminosidade e Grau de Berger obtidos através da análise das amostras de malha de PES analisadas no espectrofotômetro. Assim como os dados obtidos a partir das amostras de CO, foi possível projetar os gráficos de luminosidade e Grau de Berger, gráfico 5 e 6, respectivamente.

Tabela 6 - Coordenada de luminosidade e Grau de Berger das amostras de PES

	Luminosidade (L*)				Grau de Berger			
	Padrão	20 g/L	25 g/L	30 g/L	Padrão	20 g/L	25 g/L	30 g/L
	91,54	91,61	91,01	91,35	206,10	206,18	202,50	202,50
	91,57	91,61	91,07	90,37	205,37	207,44	200,12	202,93
	91,67	91,26	91,12	91,44	205,55	208,8	200,25	195,13
	91,54	91,63	91,12	91,28	207,19	206,12	201,83	204,20
Média	91,58	91,53	91,08	91,11	206,05	207,14	201,18	201,19
Desv.	0,06	0,18	0,05	0,50	0,82	1,27	1,18	4,10
Padrão								

Fonte: Autor. (2019).

Gráfico 5 - Coordenada de Luminosidade em função da concentração em amostras de PES



Fonte: Autor. (2019).

Os valores das coordenadas colorimétricas e da diferença de cor obtida após aplicação de diferentes concentrações do agente funcionalizador no tecido de PES estão apresentados na tabela 7.

Tabela 7 - Diferença de cor das amostras de PES hidrofóbicas

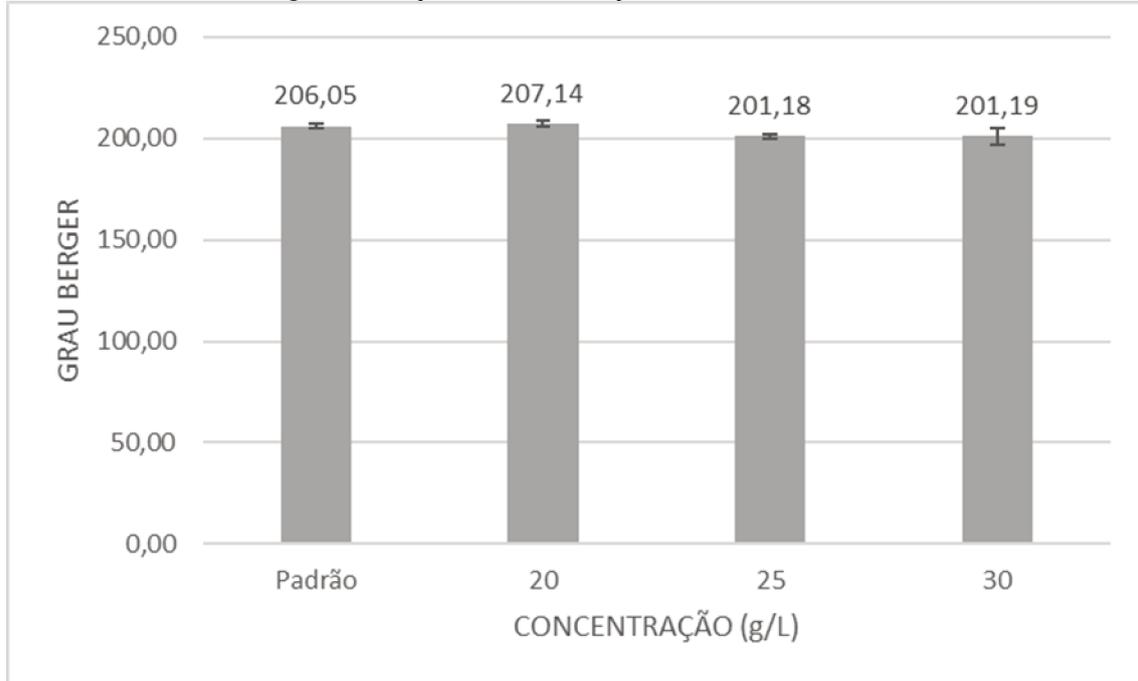
	L*	a*	b*	ΔE
ST	91,58	6,24	-25,35	0,00
20 g/L	91,53	6,30	-25,58	0,25
25 g/L	91,08	6,23	-24,91	0,67
30 g/L	91,11	6,21	-24,88	0,66

Fonte: Autor. (2019).

Analisando a tabela 7 nota-se que a diferença da cor das amostras, à medida em que se aumenta a concentração do banho, não se altera de maneira significativa quando

comparadas com as amostras ST. Os valores de ΔE inferiores a 1.0 indicam que nenhuma diferença na cor final do produto é obtida após as funcionalizações realizadas. Ou seja, este acabamento de repelência a sujidade (hidrofóbico) não ocasiona uma variação considerável na cor final dos substratos de CO e PES avaliados.

Gráfico 6 - Grau de Berger em função da concentração em amostras de PES

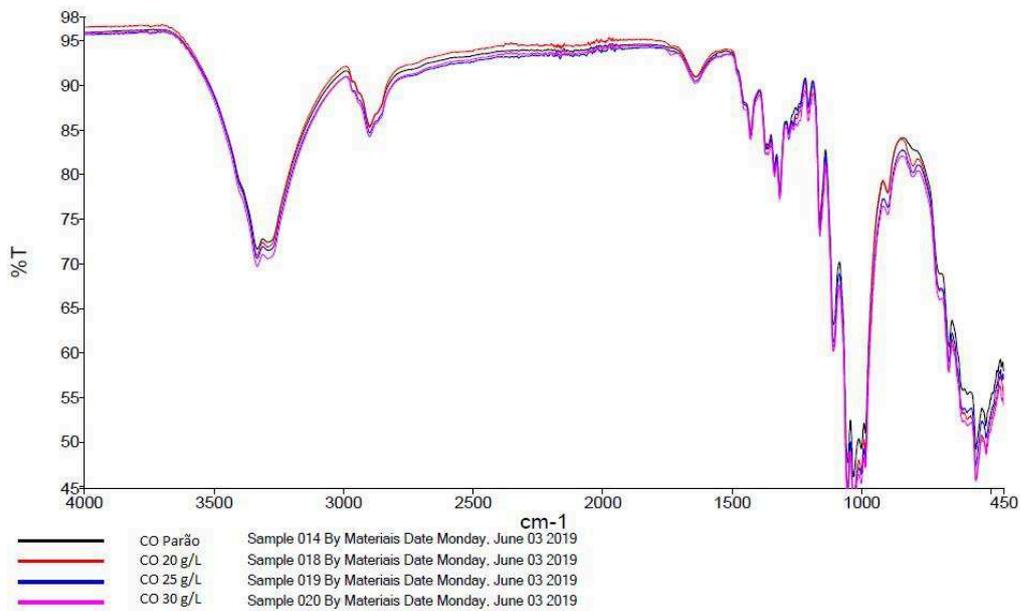


Fonte: Autor. (2019).

Analisando os dados dos gráficos 5 e 6 pode-se perceber que não há diferenças significativas com relação a coordenada de luminosidade até mesmo nas amostras que passaram pelo banho de maior concentração com variação de apenas aproximadamente 3%.

Para a identificação dos possíveis novos radicais contidos na superfície das malhas tratadas com o agente funcionalizante, realizou-se a análise de FTIR. Os gráficos 7 e 8 apresentam os picos produzidos pelo equipamento nas amostras de CO e PES, respectivamente.

Gráfico 7 - Análise de FTIR das amostras de CO hidrofóbicas

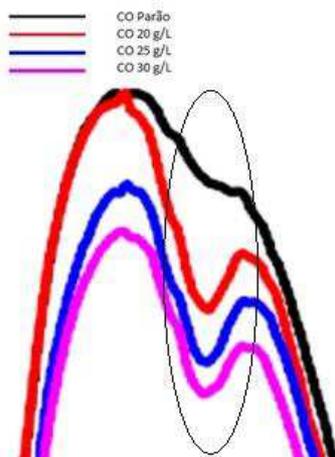


Fonte: Autor. (2019).

A partir da análise do gráfico 7, ao comparar com as faixas de frequência e os radicais presentes na literatura, pode-se verificar a presença de picos que indicam a forte presença de carbonos ligados a fluoretos, uma vez que apresentou um pico intenso na faixa entre 1400 cm^{-1} e 1000 cm^{-1} , bem como aminas e amidas primárias ao apresentar pico moderado entre 3500 cm^{-1} e 3100 cm^{-1} (PAVIA, 2010).

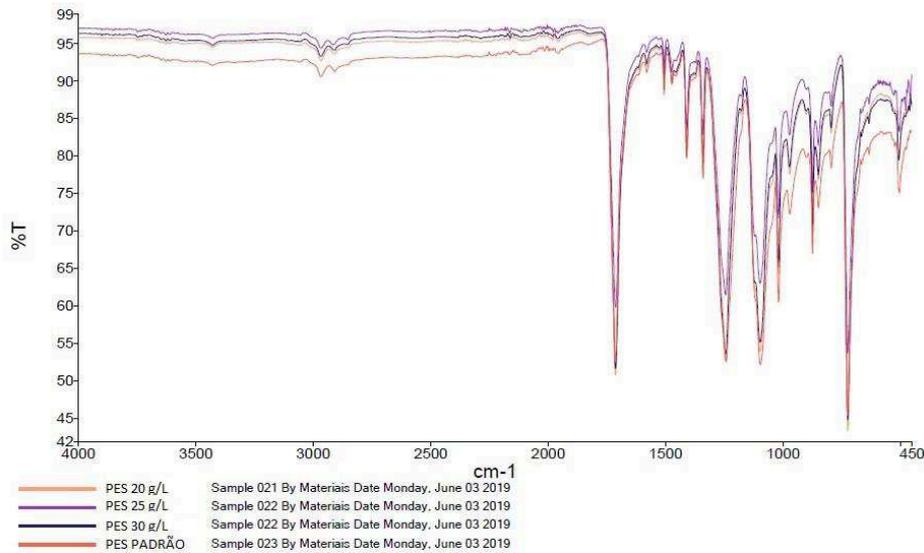
Também se verifica, em comparação às curvas padrões, que em uma faixa de picos na frequência entre 785 cm^{-1} e 450 cm^{-1} , aproximadamente, há picos que indicam a presença de carbonos ligados a cloretos nas amostras tratadas (Figura 20).

Figura 20 - Análise de FTIR – identificação de pico distinto comparando a amostra padrão e as tratadas de CO



Fonte: Autor. (2019).

Gráfico 8 - Análise de FTIR das amostras de PES hidrofóbicas

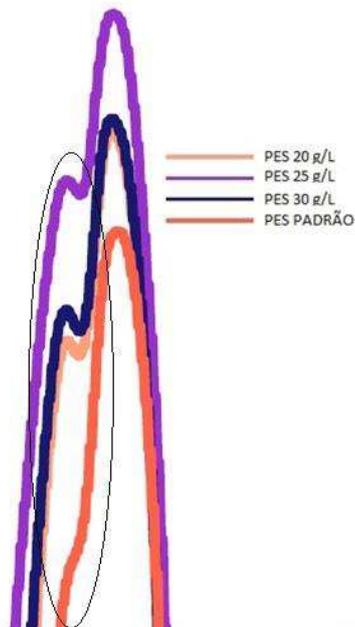


Fonte: Autor. (2019).

Comparando o gráfico 8 com os dados dos grupos químicos encontrados na literatura, Pavia em seus estudos verificou a existência de um pico evidente na faixa dos 1750 cm^{-1} que indica a presença do próprio éster contido na fibra (PAVIA, 2010).

Ampliando os picos do gráfico 8 (Figura 21), há picos na faixa entre 1400 cm^{-1} e 1000 cm^{-1} que evidenciam novamente a presença de carbono ligado a fluoreto bem como aminas e amidas primárias e secundárias, que não aparece na amostra sem tratamento, indicando provavelmente a presença do agente funcionalizador.

Figura 21 - Análise de FTIR – identificação de pico comparando a amostra padrão e as tratadas de PES



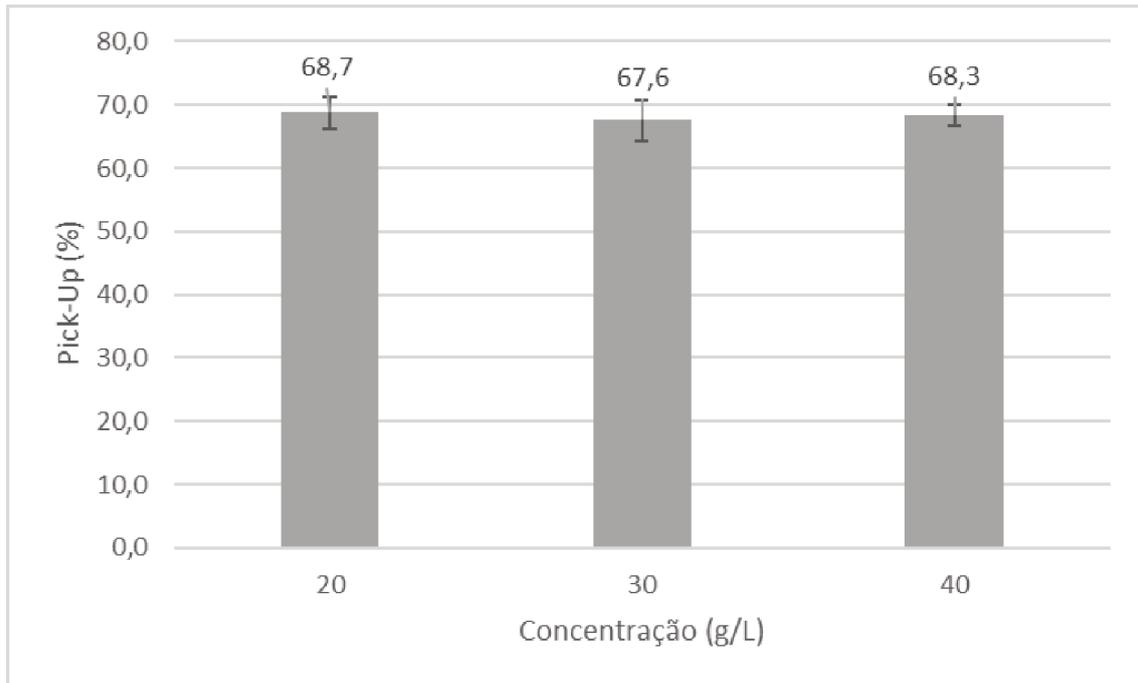
Fonte: Autor. (2019).

4.2 TRATAMENTO ANTI-UV

A aplicação do composto que proporciona ao substrato de CO o aumento da resistência às radiações UV se deu pela utilização das técnicas de esgotamento e impregnação.

Através do método de impregnação foi possível avaliar o comportamento do pick-up em relação ao aumento da concentração do agente funcionalizante no banho (Gráfico 9).

Gráfico 9 - Pick-up médio das amostras de CO em função da concentração de agente anti-UV



Fonte: Autor. (2019).

Analisando o gráfico 9, observa-se que o pick-up não sofreu alterações significativas à medida em que se aumentou a concentração de produto anti-UV no banho. Comprovando, portanto, que a concentração do agente funcionalizante na solução não interferiu na absorção das amostras.

Com os dados obtidos através das análises de espectrofotômetro foi possível observar, através de diversos pontos analisados em cada amostra, se o produto aplicado influenciou na luminosidade e no grau de Berger das mesmas. Os dados estão apresentados na tabela 8.

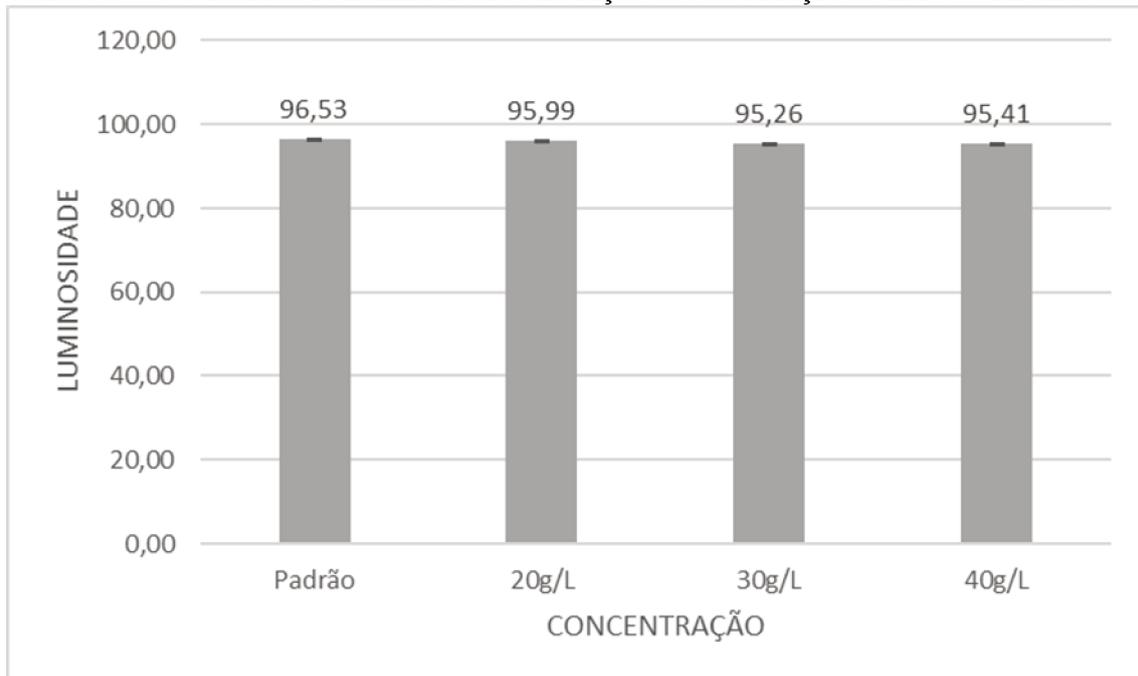
Tabela 8 - Coordenada de luminosidade e Grau de Berger das amostras de CO

	Luminosidade (L*)				Grau de Berger			
	Padrão	20 g/L	30 g/L	40 g/L	Padrão	20 g/L	30 g/L	40 g/L
	96,40	95,95	95,37	95,53	202,50	202,50	176,65	179,13
	96,58	96,01	95,26	95,46	224,19	185,97	185,63	184,19
	96,64	96,06	95,21	95,20	226,02	188,66	181,38	183,70
	96,50	95,95	95,21	95,44	224,91	189,20	179,65	180,00
Média	96,53	95,99	95,26	95,41	219,41	191,58	180,83	181,76
Desv.	0,10	0,05	0,08	0,14	11,30	7,41	3,75	2,56
Pad.								

Fonte: Autor. (2019).

Além disso, pode-se gerar um gráfico para demonstrar o comportamento da coordenada de luminosidade em função das diferentes concentrações (Gráfico 10). O gráfico 11 ilustra o comportamento das amostras com relação aos seus respectivos graus de branco.

Gráfico 10 - Coordenada de Luminosidade em função da concentração de anti-UV em amostras de CO



Fonte: Autor. (2019).

Nota-se que as coordenadas de luminosidade à medida em que se aumentava a concentração de produto anti-UV no banho não se alterou provando, assim, que a refletância da superfície das mesmas não se alterou.

A tabela 9 apresenta a diferença de cor das amostras funcionalizadas com relação a amostras padrão (ST).

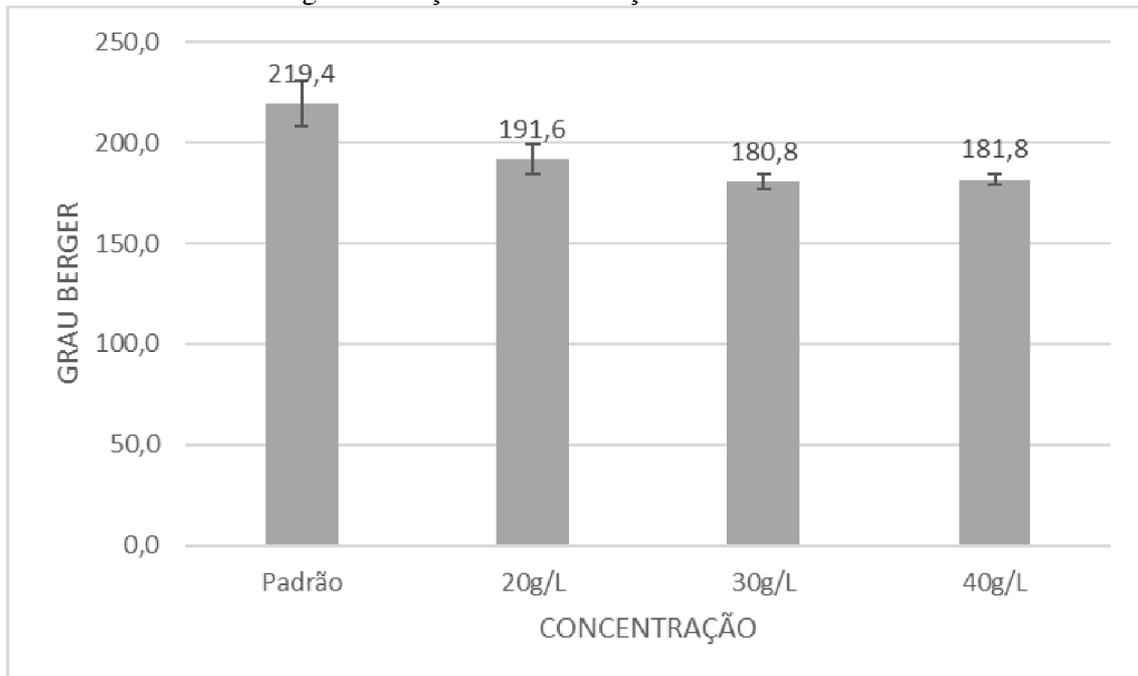
Tabela 9 - Diferença de cor das amostras de CO anti-UV

	L*	a*	b*	ΔE
ST	96,53	6,06	-24,75	
20 g/L	95,99	4,21	-18,76	6,29
30 g/L	95,26	4,08	-18,02	7,13
40 g/L	95,41	4,07	-18,08	7,05

Fonte: Autor. (2019).

Através dos dados mostrados na tabela 10, nota-se que há uma diferença de cor significativa à medida que a concentração do produto aumenta. A presença do agente antiUV nos tecidos alterou principalmente a coordenada b* (diminuindo a intensidade do azul presente no branco óptico já contido nas amostras ST).

Gráfico 11 - Grau de Berger em função da concentração em amostras de CO



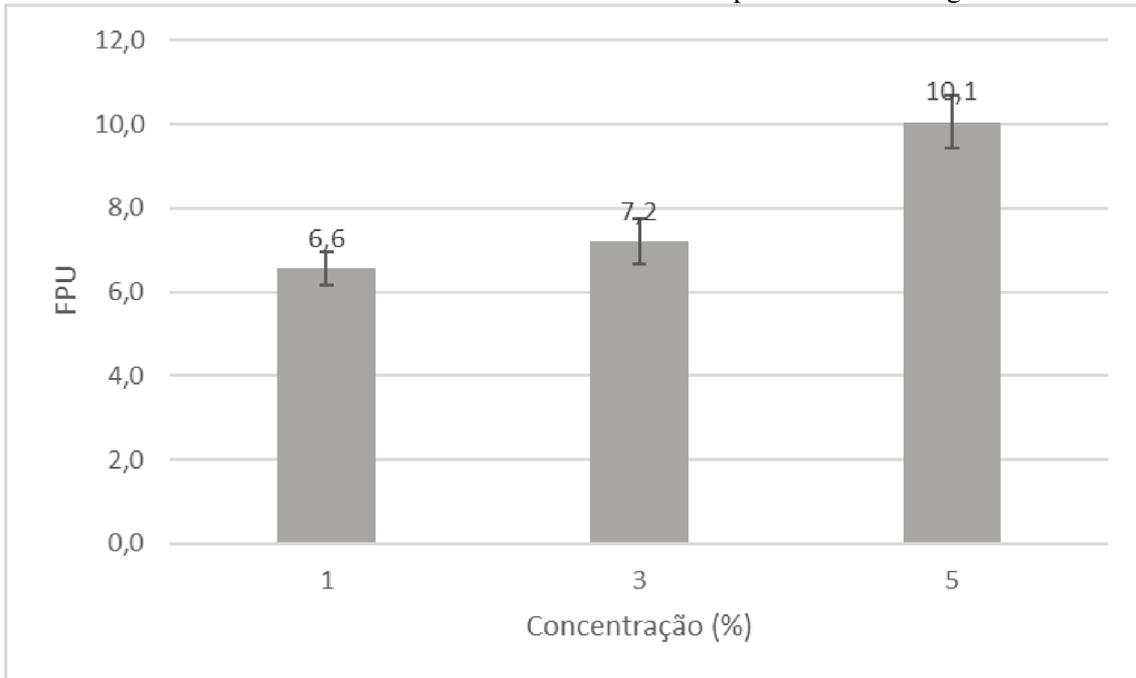
Fonte: Autor. (2019).

Analisando o gráfico 11 percebe-se que à medida em que a concentração do banho aumenta, o grau de Berger das amostras diminuiu. Assim, pode-se concluir que o aumento da concentração do banho interfere na brancura da superfície tratada.

Como foi possível aplicar os dois métodos (impregnação e esgotamento) para a funcionalização dos tecidos de malha de CO, avaliou-se o comportamento de ambas as amostras à exposição UV variando a concentração. Vale ressaltar que os ensaios de UPF para as amostras sem tratamento foram realizados e os valores obtidos foram 0, ou seja, as amostras de CO e PES em estudo não possuem qualquer proteção aos raios ultravioleta.

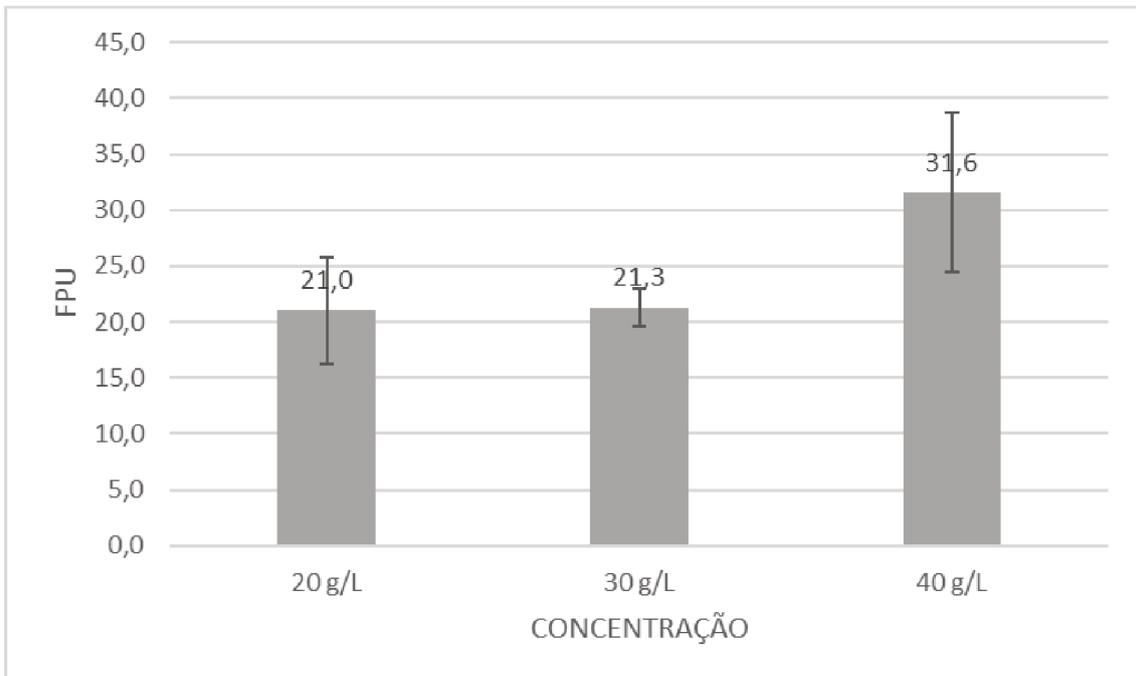
Os gráficos 12 e 13 apresentam o UPF médio das amostras de CO funcionalizadas, tratadas à exposição UV, em três concentrações distintas, pelo método de esgotamento e impregnação, respectivamente.

Gráfico 12 - UPF médio das amostras de CO funcionalizadas pelo método de esgotamento



Fonte: Autor. (2019).

Gráfico 13 - UPF médio das amostras de CO funcionalizadas pelo método de impregnação



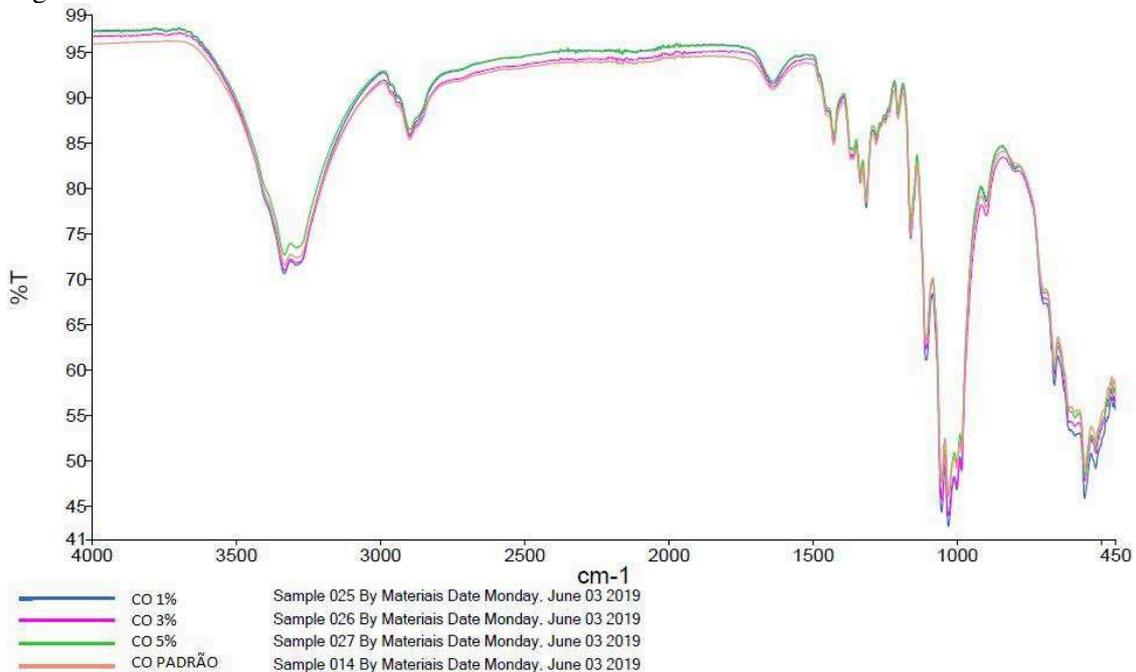
Fonte: Autor. (2019).

Ao comparar os gráficos 12 e 13, percebe-se que o método de impregnação se faz mais eficaz ao apresentar maiores valores de UPF. Apesar de apresentar ser o método mais

indicado, nota-se que há problemas com relação à uniformidade, devido ao elevado desvio padrão, isto pode estar relacionado ao processo utilizado, uma vez que impregnação não se deu de maneira contínua por se tratar da impregnação de pequenas amostras, e não de rolos de malha. É de suma importância relatar que a amostra inicialmente não possuía qualquer tipo de proteção UV e obteve-se um valor máximo de 31,6, valor considerado Muito Bom, de acordo com a tabela 4.

Para saber os possíveis novos radicais inseridos na superfície das amostras, aplicou-se o método de caracterização FTIR. O gráfico 14 apresenta o resultado obtido pela caracterização das amostras funcionalizadas pelo processo de esgotamento.

Gráfico 14 - Análise de FTIR em amostras de funcionalizadas com proteção UV pelo método de esgotamento

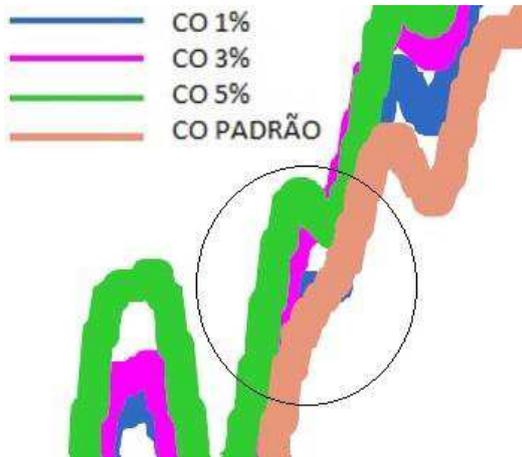


Fonte: Autor. (2019).

Ao ampliar a visualização e seguir o percurso das curvas nota-se que por quase todos os comprimentos de onda do espectro há picos iguais, significando a presença dos mesmos radicais por todos os pontos das amostras analisadas (indicada como CO padrão no gráfico).

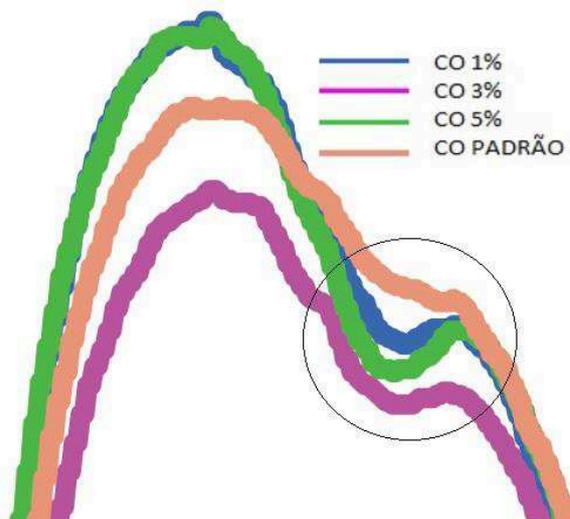
Porém, há dois picos, em todas as amostras funcionalizadas, que são distintos da amostra sem tratamento. A figura 22 apresenta este primeiro pico que corresponde provavelmente ao grupamento polisiloxano, o qual encontra-se na faixa de frequência de 1500 cm^{-1} e 1000 cm^{-1} , sendo aproximadamente em 1250 cm^{-1} .

Figura 22 - Análise de FTIR – identificação do primeiro pico comparando a amostra padrão e as tratadas de CO pelo método de esgotamento



Fonte: Autor. (2019).

Figura 23 - Análise de FTIR – identificação do segundo pico comparando a amostra padrão e as tratadas de CO pelo método de esgotamento

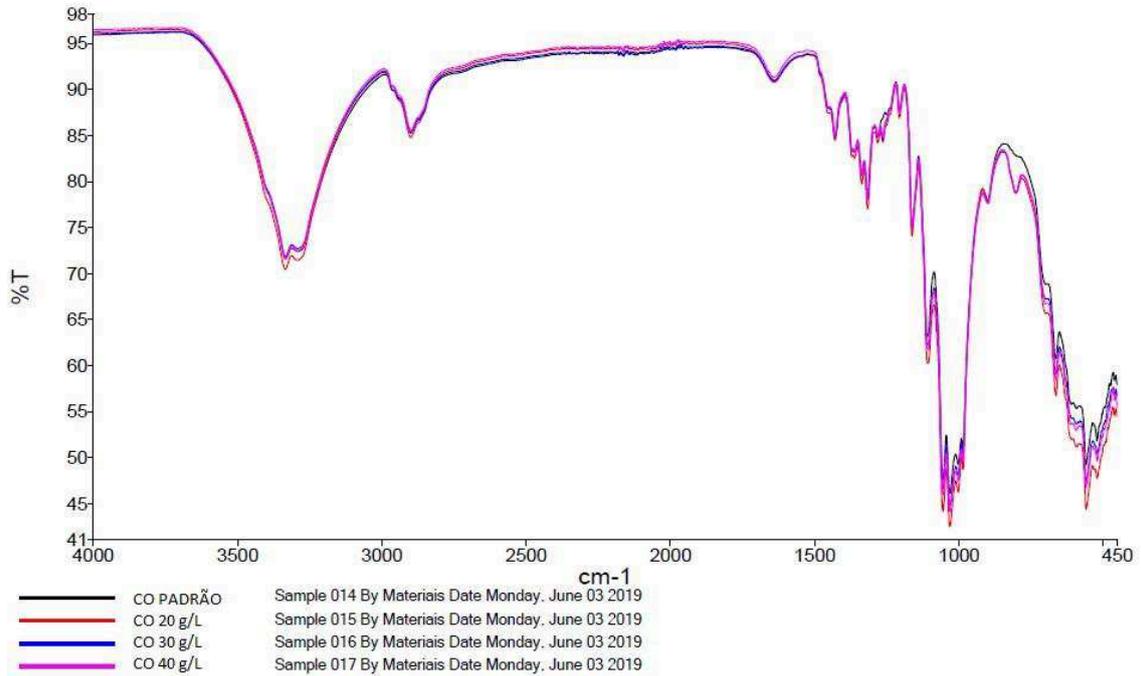


Fonte: Autor. (2019).

O segundo pico apresentado nas amostras tratadas encontra-se na faixa de frequência de 1000 cm^{-1} e 450 cm^{-1} , próximo ao comprimento de onda 700cm^{-1} , indicando provavelmente a presença de partículas de TiO_2 sobre a superfície das amostras tratadas (RAJAKUMAR, G. *et al.*, 2012).

O gráfico 15 apresenta a análise de FTIR nas amostras funcionalizadas pelo método de impregnação.

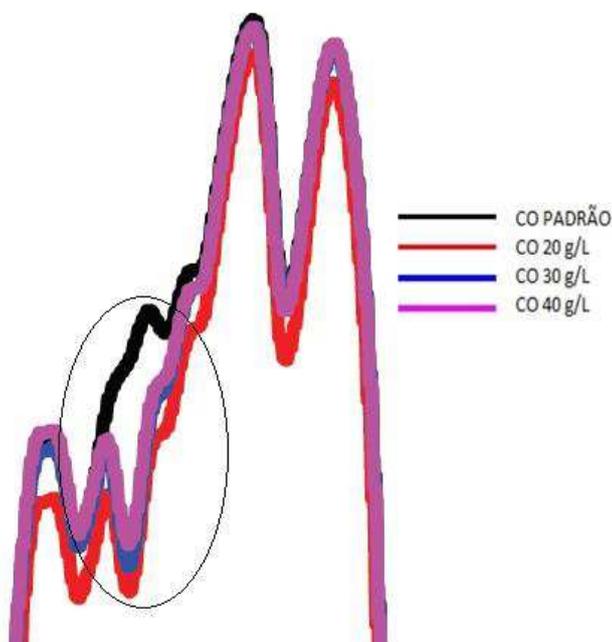
Gráfico 15 - Análise de FTIR em amostras de funcionalizadas com proteção UV pelo método de impregnação



Fonte: Autor. (2019).

Ampliando a visualização das linhas produzidas pela análise de FTIR é possível novamente observar a identificação de dois picos distintos. O primeiro pico se difere da amostra sem tratamento se dá novamente na faixa entre 1500 cm^{-1} e 1000 cm^{-1} , demonstrando, portanto, a presença de polisiloxano na superfície das amostras funcionalizadas (Figura 24).

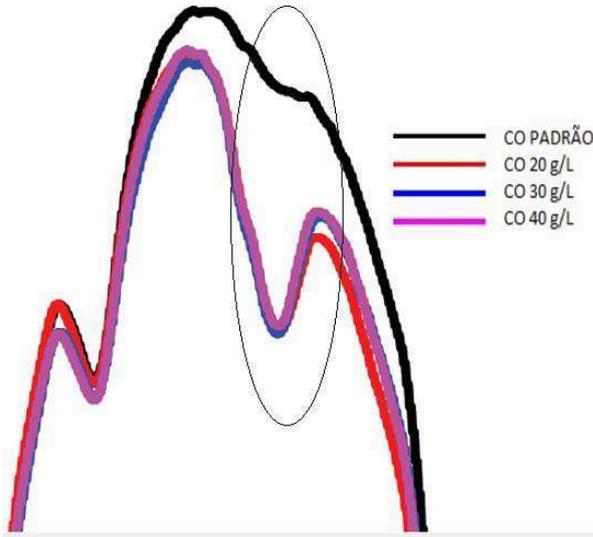
Figura 24 - Análise de FTIR – identificação do primeiro pico comparando a amostra padrão e as tratadas de CO pelo método de impregnação



Fonte: Autor. (2019).

O segundo pico se dá na faixa entre 1000 cm^{-1} e 450 cm^{-1} , comprimento de onda (700 cm^{-1}) indicando, mais uma vez a presença de partículas de TiO_2 (Figura 25).

Figura 25 - Análise de FTIR – identificação do segundo pico comparando a amostra padrão e as tratadas de CO pelo método de impregnação



Fonte: Autor. (2019).

Vale ressaltar que tanto o polisiloxano quanto o TiO_2 são componentes do agente antiUV utilizado neste estudo (de acordo com o catálogo), evidenciando que o substrato se encontra funcionalizado.

4.3 TRATAMENTO ANTI-CHAMAS

Através do método de impregnação foi possível funcionalizar amostras de PES com propriedades anti-chamas. A tabela 10 apresenta o pick-up das amostras bem como os valores médios obtidos.

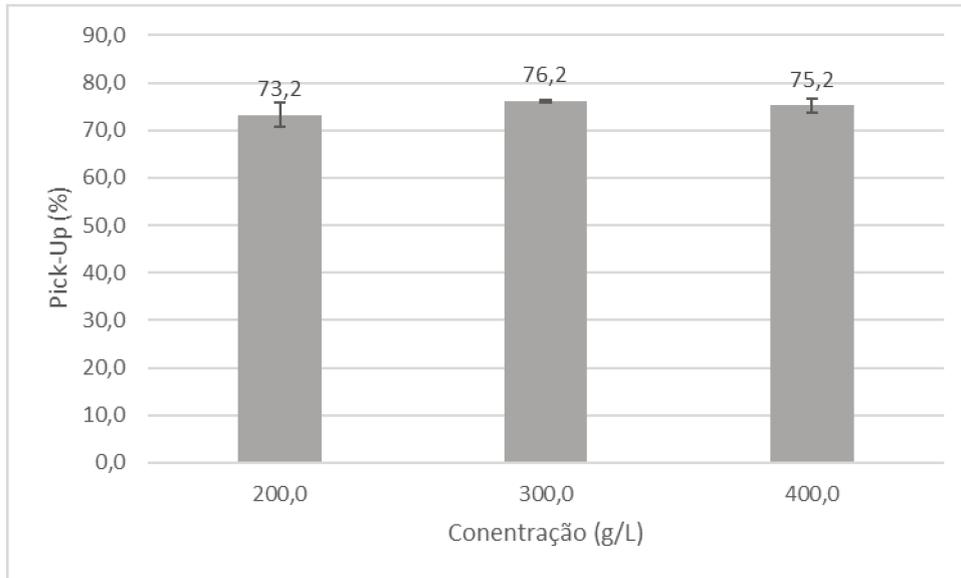
Tabela 10 - Pick-up das amostras de PES impregnadas com anti-chama

	Pick-up PES (%)		
	75,41	76,50	76,07
	73,63	76,13	72,18
	76,68	76,00	71,48
Conc.	400,00	300,00	200,00
(g/L)			
Média	75,24	76,21	73,24
Desvio	1,53	0,26	2,47

Fonte: Autor. (2019).

Para melhor observação do comportamento das amostras com relação a absorção do banho aplicado, obteve-se o gráfico 16.

Gráfico 16 - Pick-up médio das amostras de PES em função da concentração de agente anti-chama



Fonte: Autor. (2019).

Percebe-se que a quantidade de banho absorvida pela malha se manteve com valores próximos, independente da concentração utilizada, tendo apenas um aumento de aproximadamente 3% entre o banho contendo 200 g/L e o banho de 300 g/L.

Novamente utilizou-se do espectrofotômetro para avaliar o comportamento de possíveis desvios de luminosidade que poderiam ser causados devido a técnica de impregnação do agente funcionalizante. As coordenadas de luminosidade bem como o Grau de Berger estão apresentadas na tabela 11.

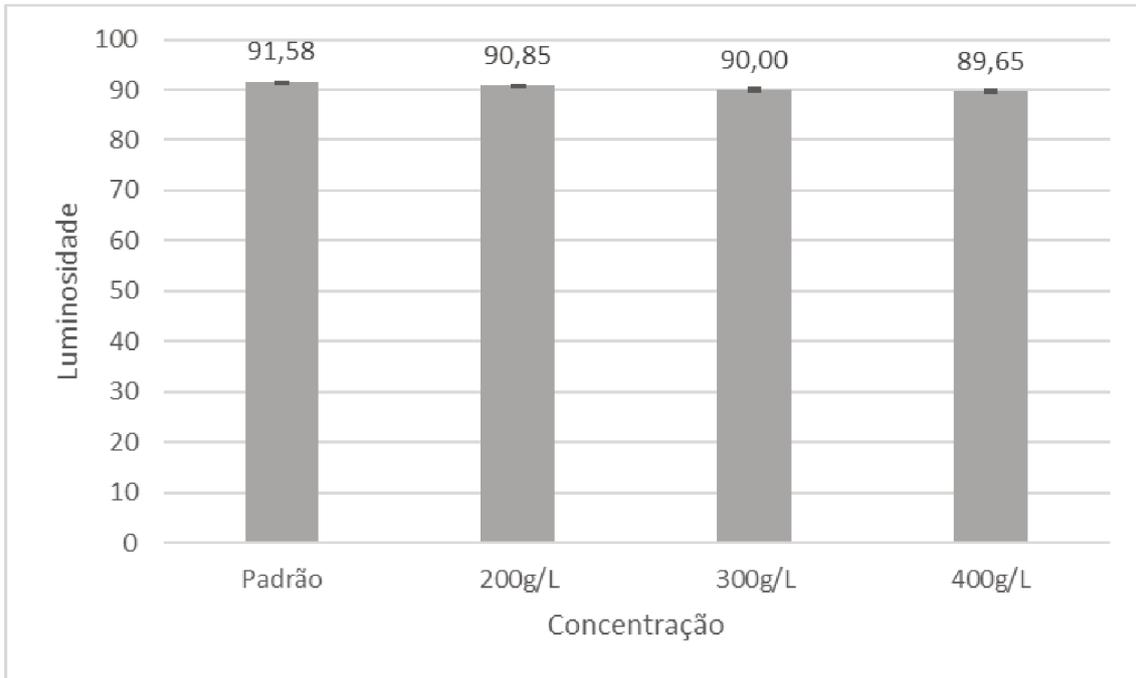
Tabela 11 - Coordenada de luminosidade e Grau de Berger

	Luminosidade (L*)				Grau de Berger			
	Padrão	200 g/L	300 g/L	400 g/L	Padrão	200 g/L	300 g/L	400 g/L
	91,54	90,86	89,79	89,83	206,10	200,18	192,02	195,15
	91,57	91,01	90,19	89,17	205,37	203,93	194,21	195
	91,67	90,88	90,1	89,8	205,55	204,48	195,98	193,63
	91,54	90,66	89,91	89,8	207,19	203,2	196,26	193,69
Média	91,58	90,85	90	89,65	206,05	202,95	194,62	194,37
Desvio	0,06	0,14	0,18	0,32	0,82	1,92	1,96	0,82

Fonte: Autor. (2019).

Os dados obtidos estão apresentados nos gráficos 17 e 18, apresentando a variação das coordenadas de luminosidade e o Grau de Berger, respectivamente. Além destes dados, obteve-se a tabela 14 onde apresenta o desvio da cor das amostras analisadas.

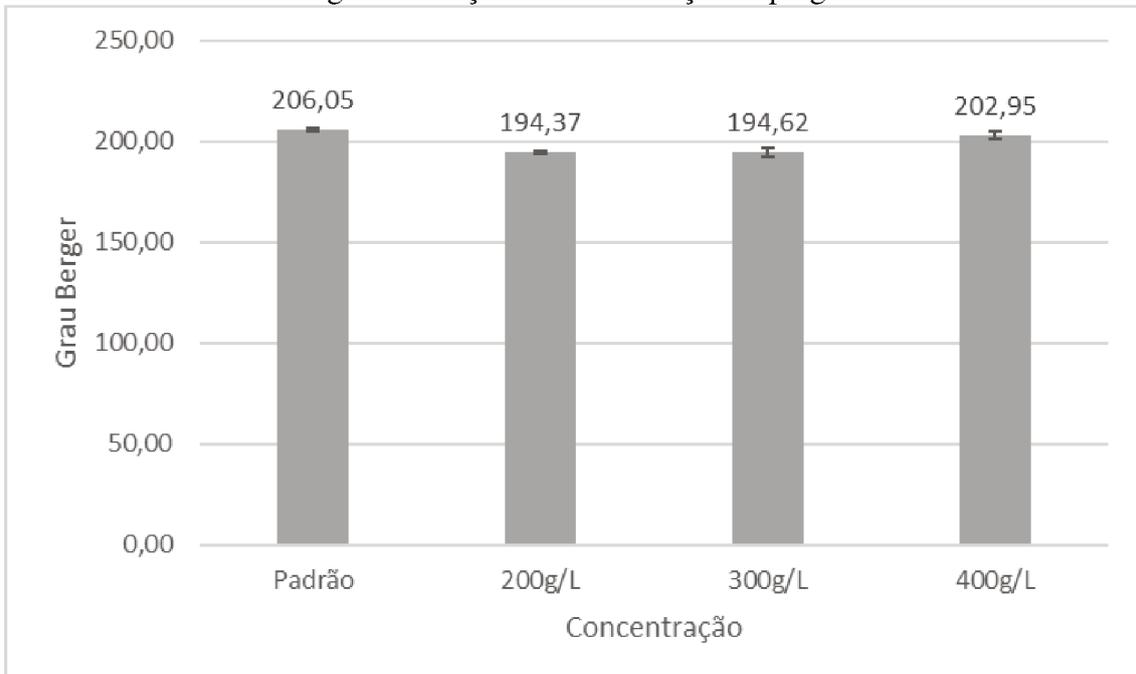
Gráfico 17 - Coordenada de luminosidade em relação à concentração



Fonte: Autor. (2019).

Analisando o gráfico 17 verifica-se que os valores médios da luminosidade vão diminuindo com o aumento da concentração do banho pelo método de impregnação. No entanto, as variações observadas não são tão significativas.

Gráfico 18 - Grau de Berger em função da concentração impregnada



Fonte: Autor. (2019).

De acordo com o comportamento observado no gráfico 18, nota-se que há uma redução no Grau de Berger das amostras, verificando-se uma queda de 11,68 (aproximadamente 6%) entre a amostra padrão e a amostra de menor concentração.

A tabela 12 mostra a diferença de cor obtida quando comparada a amostra sem tratamento e tratada com o agente anti-chamas nas concentrações de 200 g/L; 300g/L e 400g/L.

Tabela 12 - Diferença de cor das amostras de PES anti-chamas

	L*	a*	b*	ΔE
ST	91,58	6,24	-25,35	
200 g/L	90,85	6,13	-25,33	0,74
300 g/L	90,00	6,01	-24,52	1,80
400 g/L	89,65	6,02	-24,73	2,04

Fonte: Autor. (2019).

Analisando a tabela 13 nota-se que a diferença de cor aumentou a medida em que se aumentou a concentração do produto aplicado, chegando a um valor máximo de Delta E = 2,04. Novamente a coordenada b* (azul, amarelo) foi a principal responsável pela alteração verificada. Apesar da diferença de cor ter atingido 2,04, visualmente esta diferença é praticamente imperceptível. Vale ressaltar que os valores obtidos para variação da cor, foram bastante inferiores quando comparados com os obtidos para o agente antiUV.

Para que fosse possível analisar o comportamento térmico das amostras, realizou-se o teste de DSC. Os resultados obtidos são apresentados na tabela 13.

Tabela 13 - Análise de DSC das amostras de PES

Concentração	Temperatura	Entalpia	Temperatura	Entalpia	Temperatura	Entalpia
	01 (°C)	01 (J/g)	02 (°C)	02 (J/g)	03 (°C)	(J/g)
ST	Nada consta	Nada consta	253,5	59,1	-435,9	378,1
200 g/L	142,1	36,8	252	53,1	-447,8	62,3
300 g/L	99,4	39,3	252,1	34,8	-438,3	131,3
400 g/L	116	42,7	249,6	46,8	-429,1	250,6
Apenas o produto	85,3	1055	Nada consta	Nada consta	356,2	1039

Fonte: Autor. (2019).

Ao comparar a tabela 13 com os trabalhos de YOUNIS, 2019, e NEJMAN *et al.*, 2015, pode-se observar a identificação do ponto de fusão do poliéster, indicado na tabela 15 como temperatura 02 bem como a temperatura média de degradação das mesmas, indicado

na tabela como temperatura 03. A temperatura 01 também mostra uma etapa inicial que provavelmente está relacionada a absorção de umidade das amostras tratadas, o que não é indicado na amostra ST.

Além destes dados apresentados pela tabela, pode-se analisar os gráficos encontrados nos apêndices A, B, C e D, do trabalho e nota-se que as curvas de início da degradação das amostras tratadas apresentam uma certa resistência à queda enquanto que a curva de degradação da amostra ST apresenta uma queda contínua. Isso evidencia a presença do agente anti-chamas. O ensaio de termogravimetria seria de suma importância para complementar a análise de DSC, no entanto, não foi possível a realização da mesma.

Além das análises quantitativas realizadas, pode-se verificar também de maneira visual e qualitativa se a propriedade anti-chama realmente estava contida sobre as amostras de PES. Os resultados obtidos através desta análise estão apresentados na tabela 14.

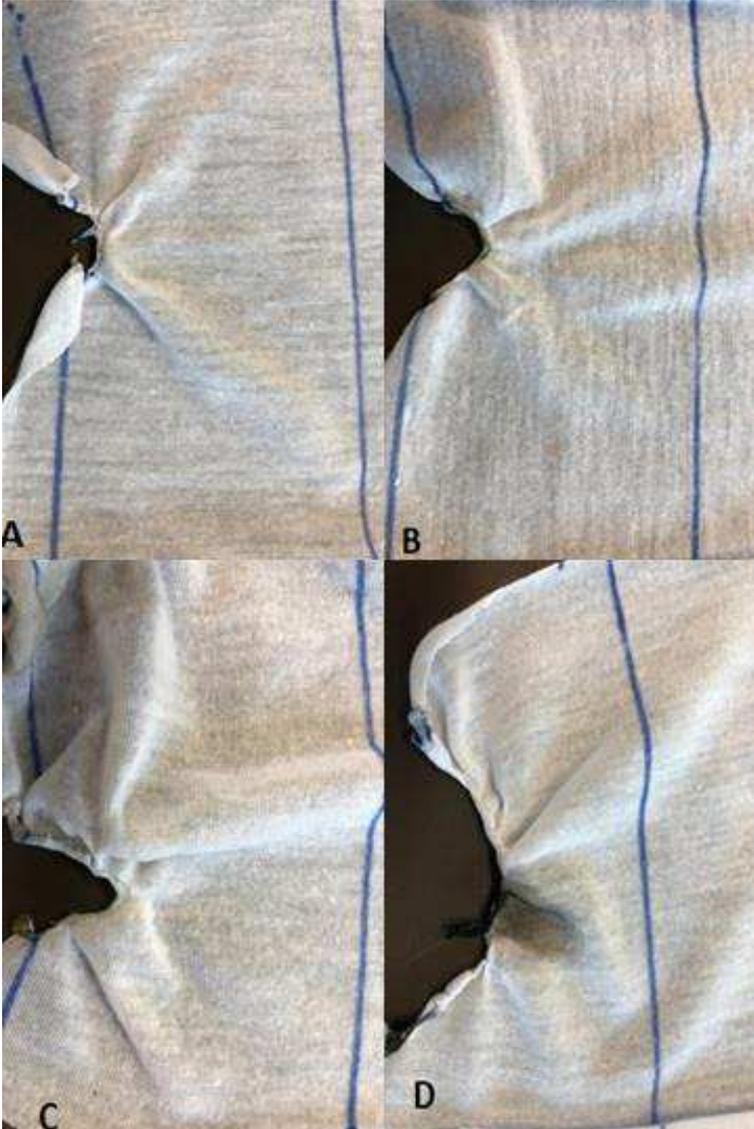
Tabela 14 - Consumo total após combustão de amostra após exposição à chama por 20 segundos

Concentração (g/L)	Tempo (s)	Distância (cm) total	Dist. (cm) até a linha sup.	Quant. (%) de Amostra Consumida
400	20	7	5,5	21,43
300			4,7	32,86
200			4,5	35,71
Padrão			3,5	50

Fonte: Autor. (2019).

Para melhor visualização, a figura 26 apresenta o estado das amostras após a realização dos testes. A partir da análise desta figura, nota-se que, com a redução da concentração de agente anti-chama no banho de impregnação, as amostras foram sendo consumidas cada vez mais pela exposição à chama no mesmo intervalo de tempo.

Figura 26 - Análise visual das amostras após aplicação da chama por 20 segundos: (a) 400 g/L, (b) 300 g/L, (c) 200 g/L e (d) Padrão sem tratamento



Fonte: Autor. (2019).

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou a funcionalização de tecidos de malha de algodão e poliéster com os agentes auto limpantes (hidrofóbico), anti-UV e anti-chama. A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que os procedimentos experimentais aplicados para cada amostra ocorreram de maneira eficaz.

Os resultados obtidos para as amostras hidrofóbicas evidenciaram que a técnica de impregnação mostrou ser uma técnica positiva, tanto para o PES quanto para o CO, uma vez que foram obtidos os valores médios de $136,86^\circ$ para as amostras de PES e de $144,86^\circ$, os quais são bastante próximos da superhidrofobicidade.

Analisando as amostras com proteção UV percebe-se que o melhor método utilizado para a funcionalização das mesmas foi por impregnação, onde apresentou um fator de proteção ultravioleta médio de 21,03, para as amostras aplicadas em banho de menor concentração, e um UPF médio máximo de 31,60, para maior concentração, o que de acordo com a literatura pode ser considerado como uma proteção muito boa. A partir do método de esgotamento, nota-se que a funcionalização não se deu de maneira tão eficiente, apresentando fator de proteção ultravioleta médio de 6,56 para a menor concentração, e 10,06 para a maior concentração. Um dos motivos para esta ocorrência pode ter sido devido a baixa afinidade do produto com a fibra ou mesmo estar relacionado a parâmetros de processo como tempo, temperatura, concentração, dentre outros.

Os resultados de impregnação das amostras de PES com o agente anti-chama apresentaram-se, também, positivos, por resistirem à propagação da chama por mais tempo à medida em que se aumentava a concentração do produto funcionalizante. O percentual de amostra consumida (em linha horizontal) pela chama foi de 21,43%, para a amostra impregnada de maior concentração, enquanto que quando exposta à chama a mostra sem tratamento apresentou um consumo de tecido de aproximadamente 50%.

Conclui-se, também, com a utilização de dados colorimétricos obtidos que as funcionalizações aplicadas não interferem de forma tão significativa na coordenada de luminosidade, no grau de branco e na variação da cor dos substratos em estudo, principalmente para os tecidos funcionalizados com o agente de repelência à sujidade (valores de delta E menores que 1,0) e com anti-chama (valores de Delta E menores que 2,0). Entretanto para o anti-UV as variações podem ser consideradas elevadas ($\Delta E = 7.0$).

TRABALHOS FUTUROS

1. Estudo das coordenadas colorimétricas e das forças colorística de substratos têxteis tingidos com diferentes classes de corantes;
2. Estudo das propriedades de solidez, lavagem, fricção, luz, suor;
3. Análise termogravimétrica das malhas funcionalizadas com agente anti-chama para complementar as análises de DSC;
4. Análise normatizada para a avaliação do anti-chama.

REFERÊNCIAS

BRATAC/LanoBrasil/ABRAFAS/AFIPOL/CONAB/Aliceweb/ComexStat

BERTOLINI, Cristiano. Sistema para medição de cores utilizando espectrofotômetro. **Tarablho de Conclusão de Curso (Bacharelado em ciência da computação)-Universidade regional de Blumenal**, 2010.

BURKARTER, Ezequiel. Desenvolvimento de superfícies superhidrofóbicas de politetrafluoretileno. 2010.

COSTA, Ana Luísa Bobião. **Avaliação de amaciadores para uso na indústria têxtil**. 2014. Tese de Doutorado.

DAVE, Jayshree; KUMAR, Raj; SRIVASTAVA, H. C. Studies on modification of polyester fabrics I: Alkaline hydrolysis. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 33, n. 2, p. 455-477, 1987.

DETANICO, Flora Bittencourt; TEIXEIRA, Fábio; DA SILVA, Tânia LK. A biomimética como método criativo para o projeto de produto. **Design & Tecnologia**, v. 1, n. 2, p. 101-113, 2010.

ELLISON, M. S. et al. Physical properties of polyester fibers degraded by aminolysis and by alkaline hydrolysis. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 27, n. 1, p. 247-257, 1982.

GONDIM, Maurício Lopes. **Estudo comparativo do ângulo de contato em tecidos de malha de poliamida tratados com plasma**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

HAN, Keqing; YU, Muhuo. Study of the preparation and properties of UV- blocking fabrics of a PET/TiO₂ nanocomposite prepared by in situ polycondensation. **Journal of applied polymer science**, v. 100, n. 2, p. 1588-1593, 2006.

HUANG, J. Y. et al. Robust superhydrophobic TiO₂@ fabrics for UV shielding, self-cleaning and oil-water separation. **Journal of Materials Chemistry A**, v. 3, n. 6, p. 2825-2832, 2015.

HEARLE, John WS; MORTON, William Ernest. **Physical properties of textile fibres**. Elsevier, 2008.

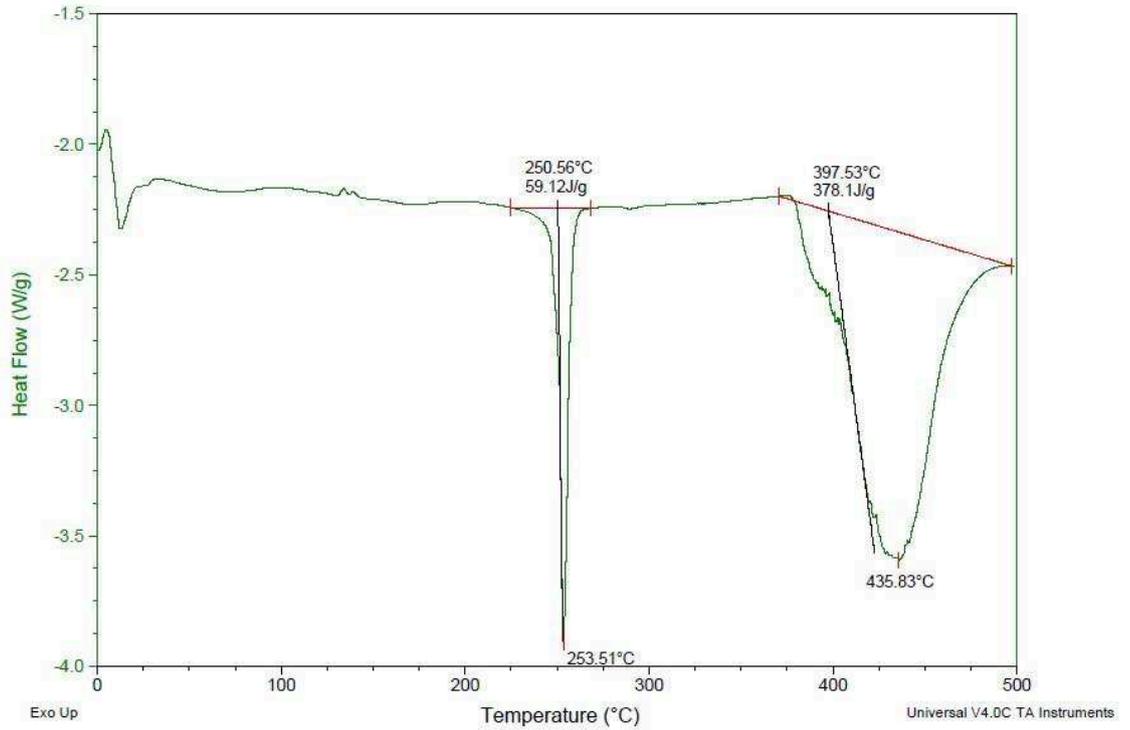
KHALIL-ABAD, Mohammad Shateri; YAZDANSHENAS, Mohammad E. Superhydrophobic antibacterial cotton textiles. **Journal of colloid and interface science**, v. 351, n. 1, p. 293-298, 2010.

- KIM, Hye Rim; SONG, Wha Soon. Lipase treatment of polyester fabrics. **Fibers and polymers**, v. 7, n. 4, p. 339-343, 2006.
- LI, Yu-Chin et al. Flame retardant behavior of polyelectrolyte– clay thin film assemblies on cotton fabric. **Acs Nano**, v. 4, n. 6, p. 3325-3337, 2010.
- LU, Shui-Yu; HAMERTON, Ian. Recent developments in the chemistry of halogen-free flame retardant polymers. **Progress in polymer science**, v. 27, n. 8, p. 1661-1712, 2002.
- MALEWSKI, Ryszard. 47 6 IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 3, No. 2, April 1988. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 3, n. 2, 1988. LEÃO, A. C. **Gerenciamento De Cores Para Imagens Digitais**. Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.
- MIASHITA, Arissa Sumikawa et al. Análise de transmitância e refletância após o beneficiamento de tecidos planos. **2º CONTEXMOD**, v. 1, n. 2, p. 16, 2014.
- NEJMAN, Alicja et al. Thermal Stability of Polyester Fabric with Polyacrylic Coatings. **Fibres & Textiles in Eastern Europe**, 2015.
- OLIVEIRA, Maria Helena de. Principais matérias-primas utilizadas na indústria têxtil. 1997.
- RIVERO FUENTE, Pedro José et al. Nanomaterials for functional textiles and fibers. **Nanoscale Research Letters (2015) 10: 501**, 2015..
- SHEN, Yun et al. Improving anti-UV performances of cotton fabrics via graft modification using a reactive UV-absorber. **Cellulose**, v. 21, n. 5, p. 3745-3754, 2014.
- VON TUNZELMANN, G. Nicholas. Time-saving technical change: the cotton industry in the English Industrial Revolution. **Explorations in Economic History**, v. 32, n. 1, p. 1-27, 1995.
- WADOOD, H. **Cellulosic Materials**, v. 1482
- WANG, Q.; HAUSER, P. J. Developing a novel UV protection process for cotton based on layer-by-layer self-assembly. **Carbohydrate Polymers**, v. 81, n. 2, p. 491-496, 2010.
- YOUNIS, A. A. Evaluation of the flammability and thermal properties of a new flame retardant coating applied on polyester fabric. **Egyptian Journal of Petroleum**, v. 25, n. 2, p. 161-169, 2016.

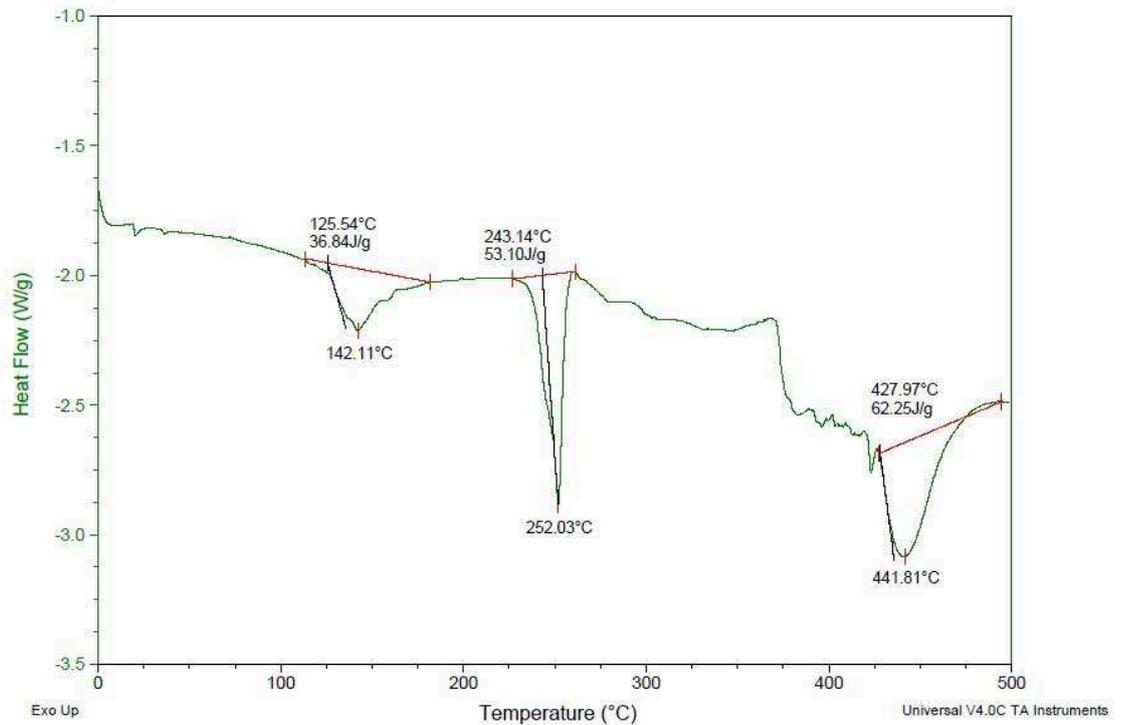
ZHU, Ping et al. A study of pyrolysis and pyrolysis products of flame-retardant cotton fabrics by DSC, TGA, and PY–GC–MS. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 71, n. 2, p. 645-655, 2004.

ZIMMERMANN, Jan; SEEGER, Stefan; REIFLER, Felix A. Water shedding angle: a new technique to evaluate the water-repellent properties of superhydrophobic surfaces. **Textile Research Journal**, v. 79, n. 17, p. 1565-1570, 2009.

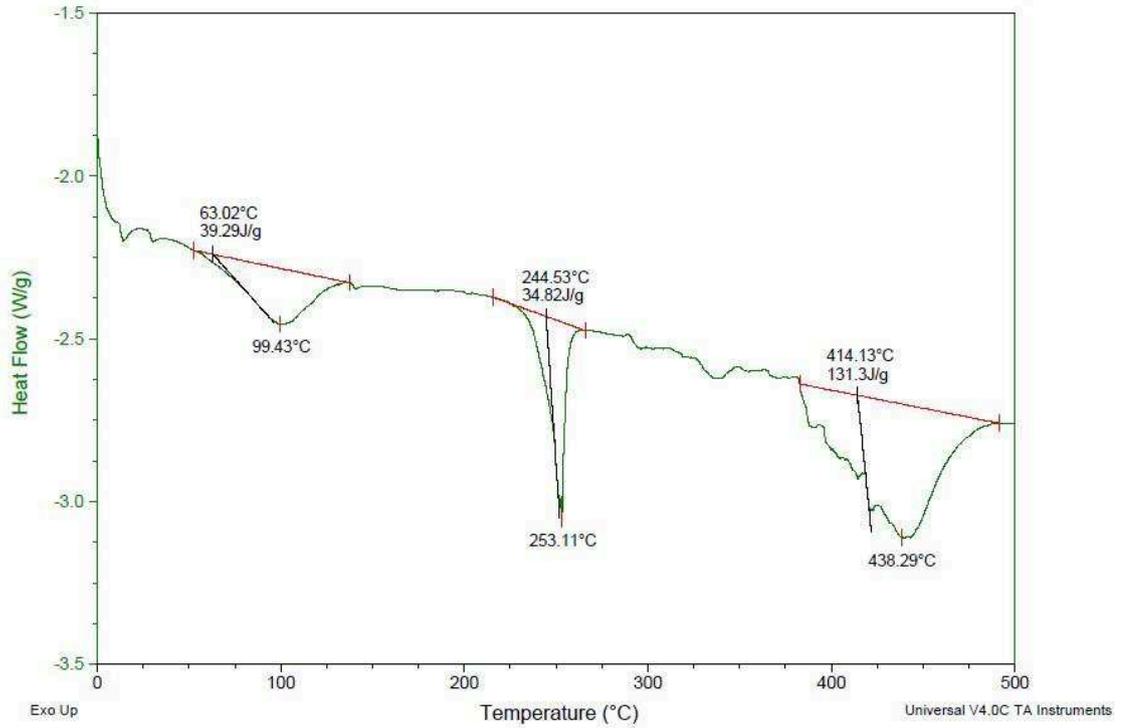
APÊNDICE A – Comportamento da amostra de PES sem tratamento (ST) em análise de DSC



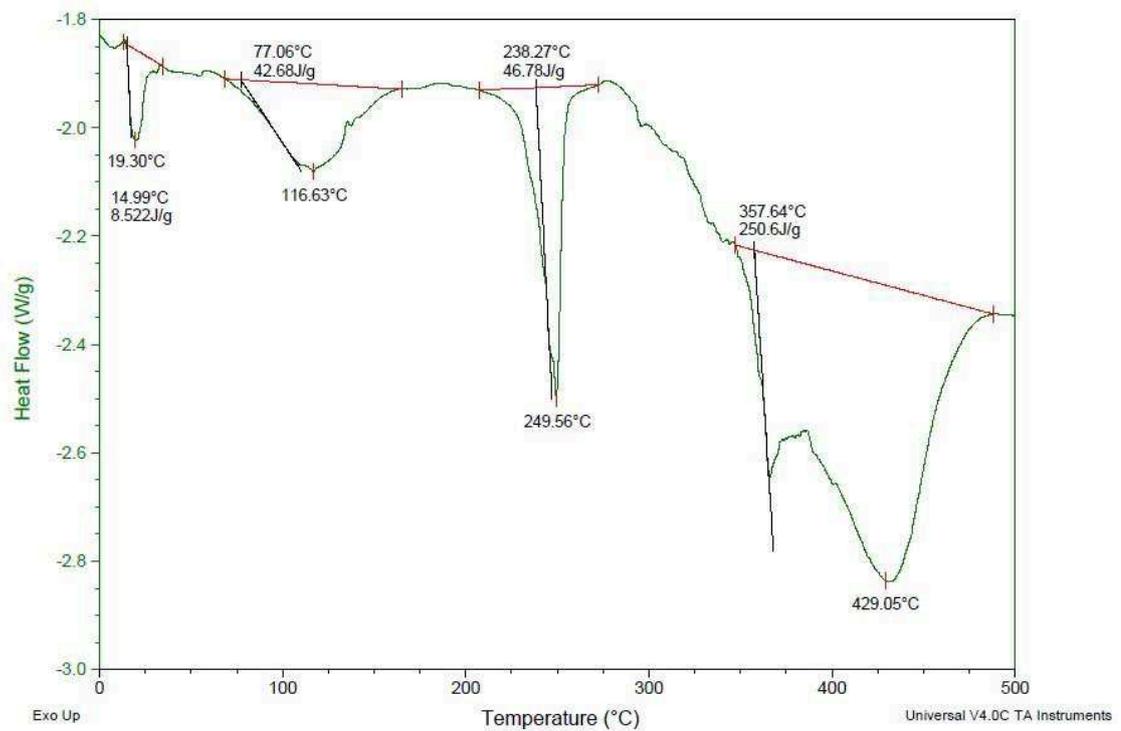
APÊNDICE B – Comportamento da amostra de PES funcionalizada com agente anti-chama (200 g/L) em análise de DSC



APÊNDICE C - Comportamento da amostra de PES funcionalizada com agente anti-chama (300 g/L) em análise de DSC



APÊNDICE D – Comportamento da amostra de PES funcionalizada com agente anti-chama (400 g/L) em análise de DSC



APÊNDICE E – Comportamento da agente funcionalizante em análise de DSC