



Universidade De Ribeirão Preto
Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnológicas
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental

JUSSARA APARECIDA TEIXEIRA

**ANÁLISE PRÁTICA DA PIRÓLISE DE RESÍDUOS TÊXTEIS COMPOSTOS
DE VISCOSE E POLIÉSTER PARA OBTENÇÃO DE CARVÃO E BIO-ÓLEO EM
REATOR DE LEITO FIXO SEM FLUXO DE GÁS**

RIBEIRÃO PRETO
2019

JUSSARA APARECIDA TEIXEIRA

**ANÁLISE PRÁTICA DA PIRÓLISE DE RESÍDUOS TÊXTEIS COMPOSTOS
DE VISCOSE E POLIÉSTER PARA OBTENÇÃO DE CARVÃO E BIO-ÓLEO EM
REATOR DE LEITO FIXO SEM FLUXO DE GÁS**

Tese apresentada a Universidade de
Ribeirão Preto – UNAERP, como requisito
parcial para obtenção do título de Doutor
em Tecnologia Ambiental.

Orientador (a): Prof^a Dr^a Luciana
Rezende Alves de Oliveira

RIBEIRÃO PRETO
2019

Ficha catalográfica preparada pelo Centro de Processamento
Técnico da Biblioteca Central da UNAERP

- Universidade de Ribeirão Preto -

Teixeira, Jussara Aparecida, 1982-

T266a Análise prática da pirólise de resíduos têxteis compostos de
viscose e poliéster para obtenção de carvão e bio-óleo em reator
de leito fixo sem fluxo de gás / Jussara Aparecida Teixeira. –
Ribeirão Preto, 2019.
211 f.: il. color.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Luciana Rezende Alves de Oliveira.

Tese (doutorado) - Universidade de Ribeirão Preto, UNAERP,
Tecnologia Ambiental. Ribeirão Preto, 2019.

1. Confecção do vestuário. 2 Resíduo têxtil 3. Pirólise.
4. Biocarvão. 5. Bio-óleo. I. Título.

CDD 628

JUSSARA APARECIDA TEIXEIRA

“Análise Prática da Pirólise de Resíduos Têxteis Compostos de Viscose e Poliéster Para Obtenção de Carvão e Bio-Óleo em Reator de Leito Fixo Sem Fluxo de Gás”.

Tese apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora pelo programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental do Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias da Universidade de Ribeirão Preto.

Orientadora: Profa. Dra. Luciana Rezende Alves de Oliveira.

Área de concentração: Tecnologia Ambiental

Data de defesa: 02 de dezembro de 2019

Resultado: aprovada

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Luciana Rezende Alves de
Oliveira
Presidente/UNAERP

Prof. Dr. Rodrigo Eduardo Córdoba
UFSCAR

Prof. Dr. Luciano Farias de Novaes
UNAERP

Prof. Dr. Marco Aurélio Soares de
Castro
UNICAMP

Prof. Dr. Valdir Schalch
UNAERP

RIBEIRÃO PRETO
2019

AGRADECIMENTOS

Acredito que a minha caminhada tem um propósito de Deus. Confiei Nele, que sem exaltar esteve ao meu lado e em todos os momentos e enviou anjos para me auxiliar.

Agradeço imensamente a minha orientadora Dr^a Luciana Rezende Alves de Oliveira, pela confiança depositada a esta pesquisa e por toda paciência, dedicação e hospitalidade direcionadas a mim. Aos professores, Prof. Pisani pelas valiosas instruções que me fizeram progredir e evoluir como pesquisadora.

Agradeço aos meus irmãos Adriano e Viviane, que cuidaram dos meus pais na minha ausência, para que eu pudesse dedicar a esta pesquisa, e aos meus pais que contiveram suas ansiedades e entenderam minha distância. À todas as minhas amigas pelas palavras de incentivo, em especial a Lucília Lemos de Andrade e a Maria Bernardete Carvalho de Oliveira que foram verdadeiras irmãs em todos os sentidos e ao meu namorado, marido, amigo e parceiro Gleison Eduardo Ribeiro Dias por estar sempre junto a mim independente das minhas escolhas.

Também agradeço aos profissionais Carlindo, Wesley e Franciele que me ajudaram a superar limitações e me encorajaram a seguir em frente. Assim como, agradeço a participação e confiança da associação de artesãs Empério Recriart e da Empresa de Confecção do vestuário (ICP) envolvida na pesquisa, e fornecimento de informações pela Prefeitura Municipal de Passos, Mg, e pela JUCEMG.

Por fim, agradeço ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por toda confiança e apoio financeiro, fundamentais para a conclusão desta Tese, já que o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

O descarte inadequado de resíduo têxtil provindo do setor de corte das indústrias de confecção do vestuário é uma prática comum executada principalmente, por micro e pequenas que se mantêm a margem da legislação ambiental. Esta problemática está atrelada as características físicas e químicas do resíduo formado por tecidos fragmentados misturados a plásticos, papéis e papelão, e compostos por combinações de beneficiamentos têxteis e fibras com predominância de poliéster, que dificultam o processo de triagem para tratamentos futuros e desvaloriza o resíduo para fins de comercialização. Para recuperar os resíduos têxteis com misturas de fibras, sobretudo aqueles com fibras de poliéster, a pesquisa se propôs a: diagnosticar a composição gravimétrica dos resíduos provenientes do setor de corte da indústria de confecção do vestuário de pequeno porte e sua dinâmica de triagem; realizar análise termogravimétrica para verificar a viabilidade de aplicação no processo de pirólise, quantificar e caracterizar os subprodutos sólidos, líquidos e gasosos gerado no processo pirolítico em escala de bancada. A triagem dos resíduos foi realizada por um período de 12 meses e os resíduos de composição mais frequente foram triturados e caracterizados, assim como os subprodutos gerados após o processo pirolítico. Foram conduzidas análises imediatas elementar e termogravimétrica, teor de carbono fixo, poder calorífico, Espectroscopia de Infravermelho-FTIR, Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), perfil de secagem, densidade aparente, teor de Carbono Orgânico Total (COT) e Cromatografia Gasosa com Espectro de Massas (CG/EM). O processo pirolítico foi conduzido em reator cilíndrico e horizontal de leito fixo sem fluxo de gás em escala de bancada, nas temperaturas de 500°C e 700°C e tempos de 30 e 60 min. Os resultados mostraram que, o volume de resíduo têxtil (9.868,05 kg) foi pouco para sustentar um setor de triagem em tempo integral e muito volumoso para ser armazenado pela empresa de confecção participante. A maior proporção dos resíduos foi de fibra mista com predominância das fibras de poliéster (28,7%) e viscose (7,1%). Os estudos termogravimétricos mostraram que o resíduo têxtil composto por fibras de poliéster obstruiu o sistema pirolítico, mas quando misturado a fibra de viscose (CV), o processo pirolítico ocorreu normalmente. Os resultados físico-químicos da biomassa e dos subprodutos gerados, apresentaram características para uso posterior na indústria química e de energia, pois o poder calorífico foi superior a 4.389 Kcal/kg em função do baixo teor de umidade e cinzas, alto teor de material volátil, baixa densidade (<5%) e o alto teor de C e H encontrados nos resíduos têxteis CV (47,10%) e CV/PES (54,76%). No bio-óleo foi diagnosticada a presença significativa de compostos furfurais; uréia, N-etil-N-nitroso e os ácidos: acético, propanóico, fórmico e benzóico relacionados à degradação da celulose, hemicelulose, lignina e éster adequados para a indústria de resina e adesivo, indústria de alimentos, indústria farmacêutica e energia. Já o biocarvão foi equiparado ao carvão betuminoso nos dos teores de C, N e H e teor de TOC. Diante do exposto, o resíduo têxtil analisado 100% CV e 55%CV/45%PES apresentaram características físico-químicas favoráveis não só a produção de energia, mas também para uso em outros setores industriais.

Palavras-chave: Confecção do vestuário; Resíduo têxtil; Pirólise; Biocarvão; Bio-óleo.

ABSTRACT

Inappropriate disposal of textile waste from the garment industries cutting sector is a common practice performed mainly by micro and small companies that remain outside the environmental legislation. This problem is linked to the physical and chemical characteristics of the waste formed by fragmented tissues mixed with plastics, paper and cardboard, and composed of combinations of textile processing and fibers with predominance of polyester, which make the screening process difficult for future treatments and devalues the waste for marketing purposes. In order to recover textile waste with fiber blends, especially those with polyester fibers, the research aimed to: diagnose the gravimetric composition of waste from the cutting sector of the micro and small clothing industry and its screening dynamics; perform thermogravimetric analyses to verify the feasibility of application in the pyrolysis process, quantify and characterize the solid, liquid and gaseous byproducts generated in the bench scale pyrolytic process. A waste sorting was performed for a period of 12 months and the most frequent compositional residues were crushed and characterized, as well as the by-products generated after the pyrolytic process. Immediate elemental and thermogravimetric analyses, fixed carbon content, calorific power, Infrared Spectroscopy-FTIR, Scanning Electron Microscopy (SEM), drying profile, apparent density, Total Organic Carbon Content and Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC/MS) were conducted. The pyrolytic process was conducted in a fixed bed cylindrical and horizontal reactor without gas flow at temperatures of 500°C and 700°C and times of 30 and 60 min. The results showed that the volume of textile waste (9.868,05 kg) was too little to support a full-time sorting sector and too large to be supported by the participating clothing company. The largest proportion of the residues was mixed fiber with predominance of polyester fibers (28.7%) and viscose (7.1%). Thermogravimetric studies showed that textile residue composed of polyester fibers obstructed the pyrolytic system, but when mixed with viscose fiber (CV), the pyrolytic process occurred normally. The physicochemical results of the biomass and the generated byproducts showed characteristics for later use in the chemical and energy industry, because calorific value was higher than 4,389 Kcal / kg due to the low moisture and ash content, high volatile material content, low density (<5%) and high C and H content found in CV (47.10%) and CV / PES (54.76%) textile residues. In bio-oil was diagnosed the significant presence of furfural compounds; urea, N-ethyl-N-nitrous and the acids: acetic, propanoic, formic and benzoic related to the degradation of cellulose, hemicellulose, lignin and ester suitable for the resin and adhesive industry, food industry, pharmaceutical and energy industry. Bio coal equated with bituminous coal in the contents of C, N and H and TOC content. In view of the above, the analyzed textile waste with 100%CV and 55% CV/45%PES presented favorable physical and chemical characteristics, not only for energy production, but also for use in other industrial sectors.

Key words: Clothing industry; Textile waste; Pyrolysis; Biochar; Bio-oil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Cadeia produtiva da moda.....	26
Figura 2- Produção mundial de fibras em 2017.....	27
Figura 3- Importações da cadeia têxtil brasileira-2017.....	28
Figura 4- Panorama econômico do setor têxtil e de confecção brasileiro.....	29
Figura 5- Panorama mundial da fibra artificial.....	36
Figura 6- A Influência da engenharia de produção da indústria têxtil e confeccionista sobre o resíduo têxtil	40
Figura 7- Classificação das fibras conforme sua origem.....	41
Figura 8- Processo para obtenção da Viscose.....	42
Figura 9- Processo para produção de poliéster.....	43
Figura 10- Processos para produção dos fios.....	44
Figura 11- Tipos de fios.....	45
Figura 12- Diferença de trama entre tecido Plano e Malha.....	45
Figura 13- Tipos de beneficiamento.....	46
Figura 14- Estratégias de design sustentável.....	49
Figura 15- Representação software 3D.....	49
Figura 16- Tipos de modelagem.....	51
Figura 17- Informações relevantes no molde para o processo de mapa e risco.....	52
Figura 18- Posição de encaixe orientados pelo tecido: moldes com sentido obrigatório (a); moldes sem sentido obrigatório (b)	56
Figura 19- Metodologia de encaixe.....	57
Figura 20- Tipos de enfesto.....	59
Figura 21- Enfesto manual.....	61
Figura 22- Misturas de fibras.....	69
Figura 23- Resíduo têxtil descartado pelo setor de corte.....	79
Figura 24- Tipos de tratamento térmico.....	90
Figura 25- Etapas da pesquisa.....	106
Figura 26- Recepção dos resíduos no espaço de triagem: pesagem dos resíduos (a); balança aferida (b); acomodação do material (c)	108
Figura 27- Triagem dos resíduos provindos do setor de corte da empresa ICP pelas artesãs voluntárias.....	109
Figura 28- Retirada de material reciclável não têxtil do espaço de triagem	110
Figura 29- Resíduo têxtil acomodado em sacos após o processo de triagem.....	111
Figura 30- Recursos usados para coletar a amostra dos enfestos: ficha técnica (a); corpo de prova do corte (b)	112
Figura 31- Secagem da amostra de resíduo têxtil desfibrada: beckers com amostra de	114

resíduo têxtil (a); dessecador a vácuo (b); estufa (c); Balança (d)	
Figura 32- Espectrômetro Frontier FT-IR- da Perkin Elmer.....	117
Figura 33- Microscopia Eletrônica de Varredura: amostras metalizadas (a); metalizador (b); interior MEV (d); MEV (c)	119
Figura 34- Desenho esquemático do reator pirolítico	120
Figura 35- Forno elétrico com display Contemp modelo CTM44.....	121
Figura 36- Reator de pirólise e componentes	121
Figura 37- Niple direito para vedação do lado direito do reator	122
Figura 38- Componentes utilizados para vedação do reator: Niple esquerdo do reator (a); contra porca de vedação do Niple esquerdo (b)	122
Figura 39- Barras de preenchimento interna do reator	123
Figura 40- Termopar e sensor de temperatura interno	123
Figura 41- Resíduo têxtil desfibrado.....	123
Figura 42- Sistema para coleta de gás e líquido: Cânula “V” (a); coletor de líquido (b) ..	124
Figura 43- Coletor de Gás em fluoreto de polivinil, marca Tedlar®Bags de 1litro.....	125
Figura 44- Haste de madeira para compactação da amostra no reator	125
Figura 45- Funil Plástico e pinça metálica para inserção da amostra no reator	126
Figura 46- Sistema para coleta de gás e líquido.....	126
Figura 47- Haste para limpeza do reator e dos componentes.....	127
Figura 48- Fatiamento do resíduo têxtil proveniente do setor de corte da empresa ICP na máquina de costura refiladeira.....	128
Figura 49- Processo de trituração do resíduo têxtil fatiado na máquina refiladeira: inserção da amostra (a); resíduo triturado (b); resíduo fatiado e triturado (c)	128
Figura 50- Equipamentos usados na secagem: estufa (a); dessecador (b)	129
Figura 51- Padronização dos preenchedores, tamanho da amostra e posição do sensor de temperatura no reator.....	130
Figura 52- Setores econômicos do município de Passos, MG.....	133
Figura 53- Estabelecimentos da indústria de transformação no município de Passos, MG.....	134
Figura 54- Organograma da indústria de confecção ICP	136
Figura 55- Esquema do sistema misto de produção da indústria de confecção ICP	137
Figura 56- Proporção de resíduos gerados pela empresa ICP no período de 12 meses	139
Figura 57- Porcentagem de fibras mais presentes nos tecidos utilizados pela empresa ICP no ano de 2017.....	143
Figura 58- Barras de preenchimento impregnadas com líquido pirolisado de fibras sintéticas.....	145
Figura 59- Barras de preenchimento com líquido de fibras sintéticas solidificado.....	145
Figura 60- Perfil de secagem dos resíduos têxteis	146
Figura 61- Morfologia da biomassa de resíduo têxtil 100%CV 20kv-50µm-300X	150
Figura 62- Morfologia da biomassa de resíduo têxtil 100%CV 20kv-10µm-1000X.....	151

Figura 63-	Morfologia da biomassa de resíduo têxtil 100%CV 20kv-2 μ m-5000X	151
Figura 64-	Morfologia da biomassa de resíduo têxtil 55%CV 45%PES 20kv-50 μ m-300X.....	152
Figura 65-	Morfologia da biomassa de resíduo têxtil 55%CV 45%PES 20kv-10 μ m-1000X.....	152
Figura 66-	Morfologia da biomassa de resíduo têxtil 55%CV 45%PES 20kv-2 μ m-5000X.....	152
Figura 67-	Espectro de FTIR do resíduo têxtil 100% CV.....	154
Figura 68-	Espectro de FTIR do resíduo têxtil 55%CV 45%PES.....	155
Figura 69-	Termograma resíduo têxtil 100% CV.....	156
Figura 70-	Termograma resíduo têxtil 55%CV 45%PES.....	157
Figura 71-	Comportamento térmico dos resíduos têxteis durante 30 minutos de experimento.....	159
Figura 72-	Comportamento térmico dos resíduos têxteis durante 60 minutos de experimento.....	160
Figura 73-	Subprodutos gerado no processo de pirólise dos resíduos têxteis.....	161
Figura 74-	Cromatografia de massas 100%CV -I: 700°C/60min.....	163
Figura 75-	Cromatografia de massas 100%CV -II: 500°C/60 min.....	164
Figura 76-	Cromatografia de massas 100%CV -III: 700°C/30 min.....	164
Figura 77-	Cromatografia de massas 100%CV-IV: 500°C/30min.....	165
Figura 78-	Cromatografia de massas 55%CV 45%PES -I: 700°C/60min.....	168
Figura 79-	Cromatografia de Massas 55%CV 45%PES -II: 500°C/60 min.....	168
Figura 80-	Cromatografia de massas 55%CV 45%PES -IV: 500°C/30min.	169
Figura 81-	Morfologia do carvão 100% CV nas condições experimentais I- 700°C/60min a 20kv-50 μ m-300X	172
Figura 82-	Morfologia do carvão 100% CV nas condições experimentais I- 700°C/60min a 20kv-10 μ m-1000X	173
Figura 83-	Morfologia do carvão 100% CV nas condições experimentais I- 700°C/60min a 20kv-2 μ m -10000X	173
Figura 84-	Morfologia do carvão 100% CV nas condições experimentais II- 500°C/60min a 20kv-50 μ m-300X	173
Figura 85-	Morfologia do carvão 100% CV nas condições experimentais II- 500°C/60min a 20kv-10 μ m-1000X	174
Figura 86-	Morfologia do carvão 100% CV nas condições experimentais II- 500°C/60min a 20kv-2 μ m -5000X.....	174
Figura 87-	Morfologia do carvão 100% CV nas condições experimentais III- 700°C/30min a 20kv-50 μ m-300X.....	174
Figura 88-	Morfologia do carvão 100% CV nas condições experimentais III- 700°C/30min a 20kv-10 μ m-1000X.....	175
Figura 89-	Morfologia do carvão 100% CV nas condições experimentais III- 700°C/30min a 20kv-2 μ m -5000X.....	175
Figura 90-	Morfologia do carvão 100% CV nas condições experimentais IV-	175

	500°C/30min a 20kv-50µm-300X.....	
Figura 91-	Morfologia do carvão 100% CV nas condições experimentais IV- 500°C/30min a 20kv-10µm -1000X.....	176
Figura 92-	Morfologia do carvão 100% CV nas condições experimentais IV- 500°C/30min a 20kv-2µm -5000X.....	176
Figura 93-	Morfologia do carvão 55%CV 45%PES nas condições experimentais I- 700°C/60min a 20kv-50µm-300X.....	177
Figura 94-	Morfologia do carvão 55%CV 45%PES nas condições experimentais I- 700°C/60min a 20kv-10µm-1000X.....	178
Figura 95-	Morfologia do carvão 55%CV 45%PES nas condições experimentais I- 700°C/60min a 20kv-2µm -5000X.....	178
Figura 96-	Morfologia do carvão 55%CV 45%PES nas condições experimentais II- 500°C/60min a 20kv-50µm-300X.....	178
Figura 97-	Morfologia do carvão 55%CV 45%PES nas condições experimentais II- 500°C/60min a 20kv-10µm-1000X	179
Figura 98-	Morfologia do carvão 55%CV 45%PES nas condições experimentais II- 500°C/60min a 20kv-2µm -5000X.....	179
Figura 99-	Morfologia do carvão 55%CV 45%PES nas condições experimentais III- 700°C/30min a 20kv-50µm-300X.....	179
Figura 100-	Morfologia do carvão 55%CV 45%PES nas condições experimentais III- 700°C/30min a 20kv-10µm-1000X.....	180
Figura 101-	Morfologia do carvão 55%CV 45%PES nas condições experimentais III- 700°C/30min a 20kv-2µm -5000X.....	180
Figura 102-	Morfologia do carvão 55%CV 45%PES nas condições experimentais IV- 500°C/30min a 20kv-50µm-300X.....	180
Figura 103-	Morfologia do carvão 55%CV 45%PES nas condições experimentais IV- 500°C/30min a 20kv-10µm-1000X.....	181
Figura 104-	Morfologia do carvão 55%CV 45%PES nas condições experimentais IV- 500°C/30min a 20kv-2µm -5000X.....	181

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Importação de produtos da cadeia têxtil - 2017.....	28
Tabela 2- Indicadores da indústria de transformação têxtil e de confecção do Brasil - 2017.....	30
Tabela 3- Conjuntura econômica do setor confeccionista - 2016.....	31
Tabela 4- Valor dos resíduos têxteis praticados no Brasil - 2016	86
Tabela 5- Comportamento térmico das fibras.....	99
Tabela 6- Análise elementar e poder calorífico das fibras têxteis.....	100
Tabela 7- Análise imediata de materiais têxteis.....	101
Tabela 8- Planejamento experimental.....	127
Tabela 9- Descrição dos resíduos gerados pela empresa ICP conforme peso e valor.....	139
Tabela 10- Ranking das 10 composições de tecidos mais utilizados pela empresa ICP no ano de 2017.....	142
Tabela 11- Frequência de tecidos utilizados pela empresa ICP segundo a origem da fibra.....	143
Tabela 12- Análise imediata dos resíduos têxteis.....	148
Tabela 13- Densidade aparente dos resíduos têxteis.....	149
Tabela 14- Análise elementar dos resíduos têxteis.....	150
Tabela 15- Poder calorífico inferior e superior das amostras de resíduo têxtil 100% CV e 55%CV 45% PES	158
Tabela 16- Tempo de permanência no estágio exotérmico até a maior temperatura	160
Tabela 17- Rendimento das frações sólidas, líquidas e gasosas.....	162
Tabela 18- Estudo espectral do líquido 100% CV.....	166
Tabela 19- Estudo espectral do líquido 55%CV 45%PES.....	170
Tabela 20- Análise elementar do carvão vindos dos resíduos têxteis pirolisados	182
Tabela 21- Valores de carbono orgânico no carvão do resíduo têxtil 100% viscose	183
Tabela 22- Melhores condições experimentais para a formação de sólido líquido e gás.....	184

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Possíveis combinações de encaixe.....	60
Quadro 2- Média de desperdício no processo de corte da indústria de confecção	71
Quadro 3- Classificação de empreendimentos quanto ao volume de resíduo gerado	76
Quadro 4- Processo de reciclagem	86
Quadro 5- Parâmetros que influenciam na distribuição dos produtos de pirólise.	98
Quadro 6- Planilha para controle de produção e mão de obra utilizada no processo de triagem dos resíduos do setor de corte da indústria ICP.	110
Quadro 7- Planilha para a quantificação dos resíduos pós-triagem.....	110
Quadro 8- Metodologia para caracterização do resíduo têxtil e dos subprodutos gerados no processo de pirólise	113

LISTA DE SIGLAS

ABIT	Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção
ABRAFAS	Associação Brasileira de Produtores de Fibras Artificiais e Sintéticas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ABNT	Associação Brasileira De Normas Técnicas
A_i	Peso inicial da amostra
AP	Alquilfenóis
APEOs	Alquilfenóis Etoxilados
APL	Arranjos Produtivos Locais
ASTM	American Society for Testing and Materials
BBC BRASIL	British Broadcasting Corporation- Brasil
C	Carbono
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAQ	Central de Análises Químicas
CAIQ-	Central Analítica do Instituto de Química
CF	Constituição Federal
CNAE	Classificação Nacional de Atividades Econômicas
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CO	Algodão
CO ₂	Dióxido de carbono
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONMETRO	Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
CV	Viscose
COVs	Compostos Orgânicos Voláteis
ECHA	European Chemicals Agency
EJF	Environmental Justice Foundation
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMF	Ellen Macarthur Foundation
EU	União Europeia
FTIR	Fourier-Transform Infrared Spectroscopy
CG/EM	Cromatografia Gasosa com Espectro de Massas
GFA & BCG	Global Fashion Agenda and the Boston Consulting Group
G	Massa da fase gasosa.
H	Hidrogênio
H_f	Tempo Final.
H_i	Tempo Inicial
HPAs	Hidrocarbonetos Aromáticos
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ICP	Indústria de Confecção Pesquisada
INCA	Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva
JUCEMG	Junta Comercial do Estado de Minas Gerais
Kg	Quilograma
L	Massa da fase líquida

<i>MCvi</i>	Massa da Cãnula “V” acoplada ao frasco coletor vedado, as conexões de borracha de silicone
<i>MCvf</i>	Massa da Cãnula “V” acoplada ao frasco coletor vedado, as conexões de borracha de silicone com o líquido gerado no processo de pirólise
MEV	Microscópio Eletrônico de Varredura
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MDIC	Ministério da Industria Comércio Exterior e Serviço
MJ	Megajoule
<i>MRf</i>	Massa do reator com a amostra de resíduo têxtil já pirolisada;
<i>MRi</i>	Massa do reator somada aos componentes e fatia de para filme (sem proteção);
<i>MRrt</i>	<i>MRi</i> Somada a Amostra de Resíduo Têxtil
<i>Mrt</i>	Massa da amostra de Resíduo Têxtil
<i>Mv%</i>	% Material Volátil
N	Nitrogênio
NBR	Norma Brasileira
NMMO	N-metilmorfolina-N-óxido
NO ₂	Óxidos de Nitrogênio
O	Oxigênio
O ₂	Oxigênio Residual
ONG	Empresa não Governamental
<i>P_a</i>	Peso Inicial da Amostra
PAC	Acrílico
<i>P_{af}</i>	Peso do Cadinho + Amostra Final
<i>P_{cz}</i>	Peso do Cadinho + cinza
PES	Poliéster
PFCs	Compostos Perfluorados
PGRS	Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos
<i>P_i</i>	Peso do Cadinho Vazio (g)
PMGIRS	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
<i>P_v</i>	Peso do Cadinho Vazio
<i>R_a</i>	Rampa de Aquecimento
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
Rt	Resíduo Têxtil
S	Massa sólida do subproduto gerado após a pirólise;
SEBRAE	Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SINDITEXTIL	Sindicato das Indústrias de Fiação e Tecelagem do Estado de São Paulo
SINDIVEG	Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Vegetal
SO ₂	Óxidos De Enxofre
<i>T_{cz%}</i>	Teor De Cinzas
T&C	Cadeia de Suprimentos Têxtil e de Confecção
<i>T_f</i>	Temperatura Final
TGA	Thermo Gravimetric Analyser
<i>T_i</i>	Temperatura Inicial

TOC	Carbono Orgânico Total
<i>Tu%</i>	% de umidade
USP	Universidade de São Paulo
WO	Lã
WTO	World Trade Organization
ZDHC	Zero Discharge of Hazardous Chemicals

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	20
2 OBJETIVOS.....	22
2.1 OBJETIVO GERAL.....	22
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICO.....	22
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	23
3.1 INDÚSTRIA DA CONFECÇÃO DO VESTUÁRIO.....	23
3.1.1 A Influência do Consumidor sobre as Práticas Ambientais da Indústria de Confecção.....	23
3.1.2 Conjuntura Econômica da Indústria de Confecção do Vestuário	25
3.1.2.1 Arranjos Produtivos Locais.....	32
3.2 IMPACTOS AMBIENTAIS NA CADEIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO.....	33
3.3 A INFLUÊNCIA DA MANUFATURA DO TECIDO SOBRE O RESÍDUO TÊXTIL.....	40
3.3.1 Preparação das Fibras para o Processo de Fiação	41
3.3.2 Fiação.....	43
3.3.3 Tecelagem.....	45
3.3.4 Beneficiamento.....	46
3.4 A CONSEQUÊNCIA DA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO UTILIZADA NA INDÚSTRIA DO VESTUÁRIO PARA A GERAÇÃO DE RESÍDUO TÊXTIL ..	47
3.4.1 Pesquisa de Mercado e o Processo de Criação	48
3.4.2 Processo de Modelagem.....	50
3.4.3 Processo de Corte.....	54
3.4.4 Processo de Montagem.....	63
3.4.5 Acabamento e Expedição.....	64
3.4.6 Revolução Tecnológica na Indústria de Confecção do Vestuário.....	65
3.5 O RESÍDUO TÊXTIL DA INDÚSTRIA DO VESTUÁRIO.....	68
3.6 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL E O GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS TÊXTEIS NAS INDÚSTRIAS DO VESTUÁRIO.....	73
3.7 TECNOLOGIAS DE GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS TÊXTEIS	80
3.7.1 Triagem	81
3.7.2 Reciclagem	84
3.7.2.1 História da reciclagem de resíduo têxtil.....	84
3.7.2.2 Tipos de reciclagem	86
3.7.3 Tratamento Térmico dos Resíduos.....	90

3.7.4 Aterro Sanitário.....	91
3.8 PIRÓLISE.....	93
3.8.1 Tipos de Pirólise.....	95
3.8.2 Tipos de Reatores.....	96
3.8.3 Parâmetros Cinéticos que Influenciam no Processo de Pirólise.....	97
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	106
4.1 ETAPAS DA PESQUISA.....	106
4.2 DIAGNÓSTICO DO VOLUME DE RESÍDUO TÊXTIL GERADO PELA INDÚSTRIA DE CONFECÇÃO DO VESTUÁRIO ICP.....	107
4.2.1 O Perfil da Indústria de Confecção Participante da Pesquisa	107
4.2.2 Triagem dos Resíduos Coletados no Setor de Corte da Indústria ICP ...	107
4.2.3 Viabilidade Técnica da Triagem.....	111
4.2.4 Caracterização dos Resíduos Têxteis para a Confecção das Amostras	112
4.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, QUÍMICA DOS RESÍDUOS TÊXTEIS E DOS SUBPRODUTOS DE PIRÓLISE.....	113
4.3.1 Perfil de Secagem.....	114
4.3.2 Densidade Aparente	115
4.3.3 Análise Imediata.....	115
4.3.3.1 Teor de umidade.....	115
4.3.3.2 Teor de cinzas.....	116
4.3.3.3 Material volátil.....	116
4.3.3.4 Teor de carbono fixo (CF)	116
4.3.4 Análise Termogravimétrica (ATG)	117
4.3.5 Espectroscopia no Infravermelho-Transformada de Fourier (FTIR)	117
4.3.6 Análise Elementar.....	118
4.3.7 Poder Calorífico.....	118
4.3.8 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	118
4.3.9 Determinação de Carbono Orgânico Total (TOC)	119
4.3.10 Cromatografia Gasosa com Espectro de Massas (CG/EM)	120
4.4 SISTEMA DE PIRÓLISE PARA RESÍDUOS TÊXTEIS	120
4.4.1 Aspecto Físico do Reator Piroclítico e seus Componentes.....	120
4.4.1.1 Sistema para coleta de gás e líquido.....	124
4.4.1.2 Acessório para manuseio da amostra	125
4.4.1.3 Limpeza e higienização do mecanismo	126
4.4.2 Planejamento Experimental	127

4.4.3	Padronização e Secagem da Amostra de Resíduo Têxtil	127
4.4.4	Experimentos da Pirólise dos Resíduos Têxteis	129
4.4.5	Rampa de Aquecimento	131
4.5	COLETA DE MATERIAIS E RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO	131
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	133
5.1	DIAGNÓSTICO DOS RESÍDUOS GERADOS PELA INDÚSTRIA DE CONFECÇÃO ICP	135
5.1.1	Perfil da Indústria ICP	135
5.1.2	Quantificação e Caracterização dos Resíduos Gerados do Processo de Corte	138
5.1.3	Caracterização dos Resíduos Têxteis Gerados com Maior Incidência no Processo de Corte para Delineamento da Amostra	142
5.2	VIABILIDADE TÉRMICA DOS RESÍDUOS TÊXTEIS COMPOSTOS POR VISCOSE E POLIÉSTER	144
5.2.1	Delineamento da Amostra: pré-testes	144
5.2.2	Perfil de Secagem	146
5.2.3	Análise Imediata	147
5.2.4	Densidade Aparente	149
5.2.5	Análise Elementar	149
5.2.6	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos Resíduos Têxteis	150
5.2.7	Espectroscopia no Infravermelho com Transformada em Fourier (FTIR)	153
5.2.8	Análise Termogravimétrica	156
5.2.9	Poder Calorífico	158
5.3	ANÁLISE DA CONVERSÃO TERMOQUÍMICA (PIRÓLISE) DOS RESÍDUOS TÊXTEIS	159
5.3.1	Análise de Temperatura	159
5.3.2	Rendimento Gravimétrico dos Subprodutos Gerados no Processo de Pirólise	161
5.4	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS SUBPRODUTOS GERADOS NO PROCESSO DE PIRÓLISE	162
5.4.1	Cromatografia Gasosa com Espectro de Massas (CG/EM) do Bio-óleo	163
5.4.2	Morfologia dos Carvões	172
5.4.3	Análise Elementar do Carvão dos Resíduos Têxteis	181
5.4.4	Determinação de Carbono Orgânico Total (COT)	183
6	CONCLUSÕES	185
7	SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS	187
	REFERÊNCIA	188

APENDICE A- FORMULÁRIO PARA CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA	207
APENDICE B- ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO DO RESÍDUO TÊXTIL GERADO PELA EMPRESA ICP	209

1 INTRODUÇÃO

A história da indústria da confecção do vestuário perpassa pela evolução da humanidade e protagoniza as maiores revoluções industriais, impulsionada pelos desejos efêmeros de consumo da sociedade. No Brasil, a cadeia produtiva da moda é constituída por 27,5 mil indústrias, sendo 90,18% delas destinadas a atividade confeccionista (INSTITUTO DE ESTUDOS E MARKETING INDUSTRIAL (IEMI), 2018), no qual 97% são indústrias de micro e pequeno porte (IEMI, 2016) organizadas em 64 APLs.

Mundialmente, a indústria de confecção é responsável por altos índices de empregabilidade e desenvolvimento social e econômico. Contudo, também é responsável pelo descarte inadequado do maior volume de resíduos têxteis gerados durante o processo fabril. Pipatti et al. (2006) afirma que o descarte de resíduo têxtil varia entre 1 a 5,1% dos RSU mundiais, provenientes dos pós uso da indústria têxtil e de confecção. Segundo Ellen Macarthur Foundation (EMF) (2017), 10% dos resíduos têxteis descartados mundialmente são perdidos no processo fabril de confecção, o equivalente a 9,6 milhões de toneladas por ano, sendo sua maior parte formada por resíduos de fibras mistas com maior predominância de fibras sintéticas (64,2%) (LEAZING, 2017). No Brasil, a estimativa é que em 2015 foram gerados aproximadamente 360.987 t.. Segundo Araújo e Fontana (2017), apenas 25% foram reciclados, o restante seguiu para aterros, lixões (60%) ou incineração (15%).

A problemática do resíduo têxtil no Brasil está atrelada a três fatores. O primeiro decorre da construção do tecido, processo este em que são utilizadas composições combinadas de fibras e produtos químicos para favorecer o processo de fiação e tecelagem, mas quando descartados em aterros e lixões sua fração sintética permanece acumulada por mais de 200 anos (EMF, 2017), enquanto a fração natural e artificial entra em decomposição e libera no solo as substâncias químicas empregadas na manufatura do tecido durante o processo fabril (KEMI, 2014).

O segundo ocorre na indústria de confecção do vestuário, onde em que diferentes tecidos com variações de cores e composição são reunidos em um mesmo enfiado, gerando após o corte sobras fragmentas que dificultam sua separação e seu tratamento adequado, uma vez que a reciclagem de resíduo têxtil está atrelada a sua separação por cor e tipo de fibra.

E o terceiro é atribuído a legislação ambiental brasileira, orientada pela PNRS, que trata o empreendimento de modo individual. Sob a luz da PNRS, a indústria do vestuário é considerada uma atividade de baixo potencial poluidor/degradador e de baixo impacto ambiental restrito ao local do empreendimento, por isso fica sujeita ao licenciamento simplificado, cuja responsabilidade legislativa e fiscal compete aos órgãos ambientais municipais que estabelecem critérios entre pequeno, médio e grande gerador, segundo a característica de cada município (BRASIL, 2010).

Entretanto, o volume de resíduo gerado por uma micro e pequena empresa de confecção do vestuário, na maior parte das vezes, permanece abaixo do delimitado pelas leis ambientais municipais, o que faculta às mesmas descartar seus resíduos industriais junto aos domiciliares. Neste cenário, cabe ao Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) definir procedimentos para inibir os impactos ambientais provocados de modo silencioso e pulverizado pelo coletivo de empresas de um mesmo setor produtivo.

Sendo assim, o modo para destinação de resíduos adotado pelas confecções inibe qualquer possibilidade de reciclagem ou reaproveitamento e significa a perda de milhões de toneladas de recursos naturais investidos na construção do tecido (SZOSTAK-KOTOWA, 2004; LI; FREY; BROWNING, 2010 e AVAGYAN et al., 2014). Por isso, esta pesquisa busca soluções técnicas entre o gerenciamento dos resíduos nas unidades de confecção (carentes de espaço físico e mão de obra especializada) e o desenvolvimento de novas tecnologias de tratamento por meio da reciclagem termoquímica dos resíduos têxteis, principalmente para aqueles constituídos por combinações de fibras poliéster e viscose.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Esta pesquisa teve por objetivo investigar a viabilidade tecnológica para a conversão de resíduos têxteis gerados no processo fabril da indústria de confecção do vestuário, compostos por fibras de poliéster/ viscose para obtenção de carvão, gás e bio-óleo em reator de leito fixo sem fluxo de gás.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Diagnosticar a composição gravimétrica dos resíduos provenientes do setor de corte da indústria de confecção do vestuário.
- b) Realizar análise termogravimétrica para verificar a viabilidade de aplicação do processo de pirólise em resíduos têxteis compostos por poliéster viscose;
- c) Quantificar e caracterizar os subprodutos sólidos, líquidos e gasosos gerado no processo pirolítico em escala de bancada.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 INDÚSTRIA DA CONFECÇÃO DO VESTUÁRIO

A construção de vestes acompanha a evolução da humanidade desde a era paleolítica (BACKWELL; D'ERRICO; WADLEY, 2008; SOLINGER, 2017) e apesar da evolução tecnológica empregada ao setor nos últimos 50 anos. Esta indústria é a caracterizada por ser uma extremamente manual (MONTELEONE, 2012),

Apesar da longevidade, toda evolução da indústria de confecção está atrelada a demanda de mercado, desde o início da revolução industrial, com o início da produção em série para produção de uniformes militares (GODLEY, 1997), até os tempos atuais, marcado pelo individualismo e obsolescência programada (MACKENZIE, 2010; FRINGS, 2012).

Para Araújo (1996), a democratização a modernização da indústria confeccionista acompanhou a ordem social, econômica e tecnológica. A divisão de tarefas no processo produtivo incentivou o desenvolvimento de diversos tipos de máquinas direcionadas a realizar atividades específicas, a fim de melhorar a produtividade. Porém, não foi o bastante para eliminar o operador, por isso, a indústria de confecção ficou conhecida pelo intensivo uso de mão de obra, distribuídas em tarefas direcionadas.

O fracionamento das atividades produtivas, aos poucos deram origem a inúmeras unidades de micro e pequeno porte que atualmente respondem pela maior parte das empresas confeccionistas do setor.

3.1.1 A Influência do Consumidor sobre as Práticas Ambientais da Indústria de Confecção

A dinâmica da cadeia de suprimento têxtil e confecção é construída a partir de dois conceitos: Moda e roupa. Berlin (2012) esclarece que o conceito de moda é abstrato e está fundamentado nas necessidades emocionais e psicológica de um indivíduo ou grupo, enquanto que, a roupa é o produto da moda na sua forma palpável e concreta.

Diante disso, o consumidor é visto como influenciador de moda. Suas características culturais e preferências individuais, definidas pelas distintas

personalidades, são observadas para criação de novos produtos e a pluralidade de interesses instáveis por estilos. Formas e cores, provocam mudanças rápidas no comportamento de compra e leva a indústria da moda a acelerar o processo produtivo e ampliar a diversidade de modelos para atender a demanda frenética do mercado, num sistema denominado *fast fashion* ou moda rápida.

A indústria têxtil/confecção é estruturada para obter crescimento econômico através do mercado consumidor. Sua dinâmica produtiva e comercial é construída após a identificação dos “futuros” desejos de consumo, por meio das pesquisas de mercado que interpretam o comportamento do consumidor perante fatores de ordem política, social, econômica, cultural e ambiental (BAUMAN, 2008). Os resultados são apresentados por tendências de moda (idealizadas pela elite da alta costura), que são disseminadas ao mercado através das tecnologias de comunicação (redes sociais, revista, internet, televisão, desfiles etc.), induzindo os consumidores a adquirir novos produtos (MEADOWS, 2013). Neste sentido, Fletcher e Grose (2012) afirma que os consumidores são estimulados a desejar o produto de moda.

“(...) consumidores tem poucas opções além de serem receptores finais do “produto” da moda. Aqui eles escolhem entre estilos criados por designers, confeccionados por trabalhadores distantes, selecionados por compradores e apresentados a eles por comerciantes. Então usam peças em combinações sugeridas por estilistas e editores de revistas de moda e substituem regularmente conforme mudam as tendências fabricadas pelos prognosticadores” (FLETCHER e GROSE, 2012, p.143).

A retroalimentação entre moda e roupa “resulta num poderoso processo de produção, difusão e consumo, tanto de produtos de moda quanto de novos padrões de comportamento” (BERLIM, 2012, p.21) e estimula a produção em todo o complexo industrial da moda. Bauman (2008) chama de economia do consumo, a promoção de produtos para serem desejados e desvalorizados na sequência para a inserção de novos. Um círculo vicioso de consumo, instigado pelo desejo, que se torna combustível para toda cadeia produtiva.

Bauman (2008), explica que a lógica do consumo está na valorização da ideologia de “Vida Feliz”, atribuída por massivas companhias de marketing a tecnologias e objetos que assim prometem ser ou ofertar. Entretanto, “os incrementos de renda não aumentam o volume de felicidade” (BAUMAN, 2008, p.16), ao contrário, a insatisfação e o medo de rejeição por parte da sociedade, tornam-se motores que incentivam cada vez mais o processo de aquisição de novos

produtos, assim os desejos continuam insatisfeitos e instigados pelas novidades frívolas de produtos.

Mas o rótulo de “bem-estar” imposto aos produtos de moda para serem consumidos vem sofrendo recorrentes ameaças pela exposição de informações sobre os impactos ambientais e sociais desencadeados por seus processos produtivos. A divulgação recorrente de assuntos sobre as questões sócio ambientais na mídia tem transformando a cultura social democrática, que passou a incluir o meio ambiente preservado na lista de desejos do consumidor (Bruno 2016, Han et al., 2017).

Esta mudança de paradigmas tem pressionado toda a indústria de transformação a buscar e apresentar a sociedade processos produtivos mais sustentáveis afim de aumentar a competitividade (TURKER E ALTUNTAS, 2014). Para Amaral (2016), o mercado consumidor pressiona a mudança de postura em todos os setores (indústria, comércio e serviço) e conduz o rumo de todo processo produtivo.

Segundo McDonough; Braungart (2013), todo processo industrial é movido pela economia do consumo, por isso, os produtos com obsolescência programada são ideias para estimular a produção, intensificar a compra, impulsionar a industrialização de produtos para gerar riquezas e prosperidade as nações. Por outro lado, esse ciclo de comércio rápido, altamente criativo, pode provocar problemas éticos, sociais e ambientais através da exploração de mão de obra, uso indevido de produtos químicos e de recursos naturais, e levar à destruição de ecossistemas e a redução da qualidade de vida.

3.1.2 Conjuntura Econômica da Indústria de Confecção do Vestuário

A indústria de confecção do vestuário está posicionada no final da cadeia produtiva da moda. Segundo MDIC (2017), a cadeia produtiva é “conjunto de atividades que se articulam progressivamente desde os insumos básicos até o produto final, incluindo distribuição e comercialização, constituindo-se em segmentos (elos) de uma corrente”.

De acordo com Confederação Nacional da Indústria (CNI) e Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT) (2017) (Figura 1), a produção de fibras e filamentos na agroindústria (fibras naturais) ou na indústria química (fibras e

filamentos sintéticos e artificiais) é o início do processo para manufatura têxtil responsável pela construção de fios, tecelagem plana, malharia e beneficiamento, cujo produto acabado é a principal matéria prima para a construção de vestuários na indústria de confecção.

Figura 1- Cadeia produtiva da moda



Fonte: ABIT, 2017

O último estágio corresponde ao setor comercial que além de divulgar os produtos por meio de desfiles, varejo e/ou e-commerce de moda, também coleta informações mercadológicas para direcionar futuros processos produtivos. No entorno destes processos atua: a indústria de máquinas e automação para o fornecimento de equipamento e maquinários e os centros de pesquisas, escolas e universidades responsáveis pelo desenvolvimento de novas tecnologias e pela preparação e qualificação de mão de obra e (ABIT, 2015).

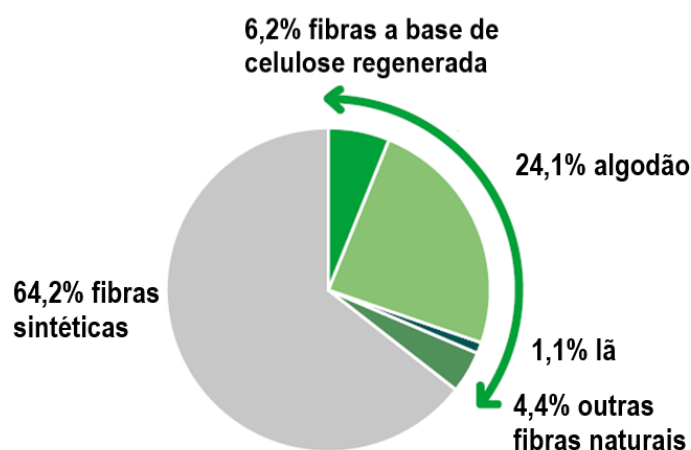
Para CNI e ABIT (2017), a Cadeia de Suprimentos Têxtil e de Confecção (T&C) é caracterizada por ser longa e linear com elos produtivos que atuam de forma integrada e ramificada em complexos fabris, globais ou locais e por estimular o desenvolvimento econômico e social em um conjunto de outras atividades em efeito multiplicador (GOULARTI FILHO; JENOVEVA NETO, 1997), e por isso, recebe o título de segundo maior complexo industrial do mundo (SALCEDO, 2014).

A cadeia de valor T&C representa 2% do Produto Interno Bruto (PIB) mundial (ARORA; PARGAIN, 2017) cujas receitas chegaram a US\$1,3 trilhão (GLOBAL

FASHION AGENDA AND THE BOSTON CONSULTING GROUP (GFA & BCG), 2017). As exportações mundiais de produtos têxteis e confeccionados chegaram a 4% das exportações mundiais de mercadoria em 2017, sendo, US\$ 296,1 bilhões para têxteis, e US\$ 454,5 bilhões para produtos confeccionados, onde países como a China, União Europeia e Índia destacaram como maiores exportadores de têxteis (66,3%) e China, a União Europeia (EU) (28%), Bangladesh e Vietnã como maiores exportadores de vestuário (75,8%) do mundo em 2017 (WORLD TRADE ORGANIZATION (WTO), 2018).

Dentre as fibras com maior produção atualmente, as fibras sintéticas correspondem a 64,2% (Figura 2), seguida das fibras de algodão (24,1%) e das fibras artificiais a base de celulose regenerada (6,2%) (LEAZING, 2017), sendo as fibras de poliéster, algodão, e viscose são as mais consumidas em suas respectivas classes.

Figura 2- Produção mundial de fibras em 2017



Fonte: adaptado de LEAZING (2017).

Com relação ao comércio de mercadorias brasileiro foram exportadas 1.012.281 toneladas (t) de têxteis e confeccionados num total de US\$ 2.372.266¹, já as importações somaram 1.376.311 t. (Tabela 1). Neste período a produção média de têxtil chegou a 1,7 milhão de t. (ABIT, 2017). As importações de fios (28,7%), fibras (22,66%) e filamentos (49,7%) somaram um total de 775.840 t. em 2017.

¹ 1000 FOB- Free on Board, expressão inglesa aplicada ao valor bruto de uma mercadoria, sem levar em consideração impostos e outros custos que são agregados ao preço final do produto.

Deste total, 9,22% são de fibras naturais, 3,49% de fibras artificiais, 58,26% de fibras sintéticas e 28,03% são correspondentes as fibras misturadas.

Tabela 1- Importação de produtos da cadeia têxtil - 2017

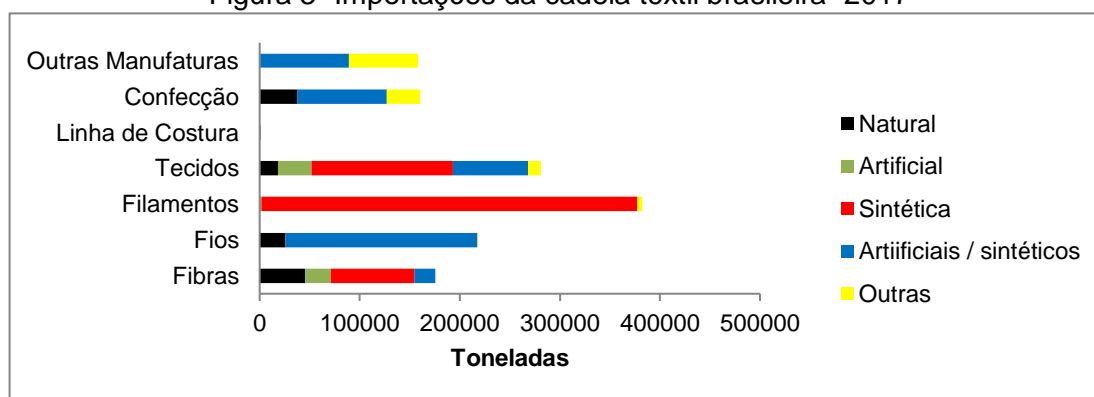
Descrição	Toneladas
Fibras Têxteis	175.790
Fios	217.800
Filamentos	382.248
Tecidos	280.834
Linha De Costura	832
Confecções	160.487
Outras Manufaturas	158.320
Total de Importação	1.376.311

Fonte: adaptado de ABIT, 2017.

Dentre as fibras naturais, o algodão foi a fibra mais consumida (685 mil t.) e produzida no Brasil (1.529,5 mil t.) e dentre todas as fibras, aquela com maior volume de exportação (834.1 mil t.) (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB), 2017).

Mas, apesar do Brasil ser autosuficiente na produção de algodão, as fibras mais processadas no país são as fibras sintéticas. Segundo dados da Associação Brasileira de Produtores de Fibras Artificiais e Sintéticas (ABRAFAS) (2017), o Brasil registrou um consumo aparente de 659.057 t./ano, sendo, 633.475 t. de fibras sintéticas, sobretudo de fibras de poliéster (501.406 t.), e 25.583 t. de fibras artificiais. Situação semelhante pode ser observada com relação a importação de tecidos, confecções, linhas de costura e outras manufaturas que juntas somaram 600.473 t.. Porém, o que mais chama a atenção é o volume destes produtos confeccionados com fibras sintéticas (Figura 3).

Figura 3- Importações da cadeia têxtil brasileira- 2017

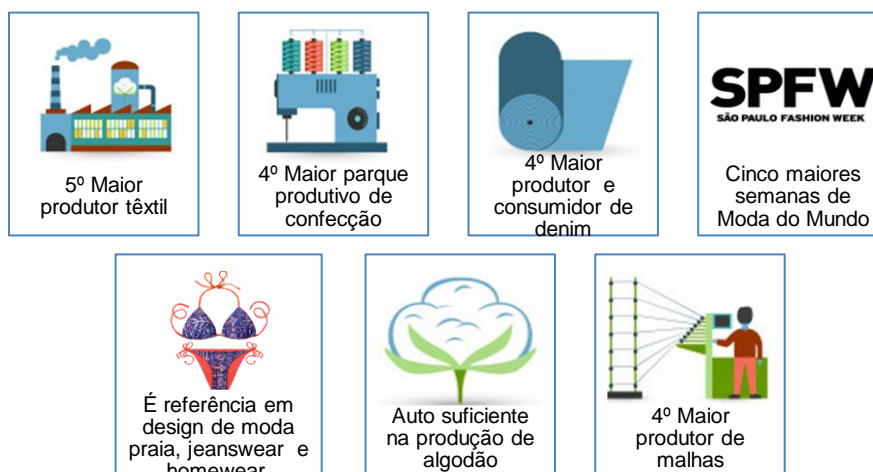


Fonte: adaptado de ABIT, 2017.

A cadeia de suprimento têxtil e de confecção representa 5,7% da produção manufatureira e mais de 14% do emprego mundial (UNIETHOS, 2013), o equivalente a 60 milhões de trabalhadores formais (GFA & BCG, 2017), e pode chegar a 300 milhões de pessoas ao incluir trabalhadores informais em todo mundo, sobretudo, mão de obra feminina (EMF, 2017). Para GFA & BCG (2017), a indústria da moda não é a única responsável por erradicar a fome e a pobreza, mas é um grande empregador e impulsionador da prosperidade econômica, capaz de para fazer a diferença e melhorar as condições sociais em muitos países em desenvolvimento.

O Brasil é o quinto maior produtor têxtil, o quarto maior produtor de malhas e de denim e possui o quarto maior parque produtivo de confecção do mundo, além de ser autossuficiente na produção de algodão (Figura 4) (ABIT, 2018).

Figura 4- Panorama econômico do setor têxtil e de confecção brasileiro



Fonte: adaptado de ABIT, 2018.

Com quase 200 anos a cadeia T&C brasileira é a última cadeia completa do ocidente e a segunda maior indústria de transformação do país, responsável por produzir US\$ 51,58 bilhões em 2017 (ABIT, 2018), o equivalente a 7% do faturamento deste setor excluindo as atividades de extração mineral e a construção civil. Com aproximadamente 27.518 empresas formais sua estrutura produtiva engloba desde a produção de fibras (sintéticas, artificiais e naturais), fios, tecidos, até a confecção (IEMI, 2018).

Para Rech (2006), a diversidade dos setores verticalizados desta cadeia a torna única na complexidade dos processos e aponta grande disparidade entre: o grau de tecnologia; a qualificação e quantidade de mão de obra empregada; e a

produtividade do setor. No Brasil o número de empregos diretos da cadeia T&C chega a 1,523 milhões de postos de trabalho (18,7% do total de trabalhadores alocados na produção industrial) (IEMI, 2018), enquanto os empregos indiretos chegaram a 8 milhões, sendo 75% ocupados por mão de obra feminina (ABIT, 2018).

Dentre os setores apresentados, 90,12% das indústrias pertencem ao setor confecção (Tabela 2) que possui diversas ramificações de empresas que atuam em diferentes segmentos da moda: meias e acessórios (2,83%); linha lar (cama, mesa e banho (5,24%); decorativo (cortinas e toldos) e artigos técnicos (equipamentos de segurança) (3,11%) e finalmente, o vestuário pessoal (masculino, feminino, infantil) (88,82%) (IEMI, 2018), objetivo desta pesquisa.

Tabela 2- Indicadores da indústria de transformação têxtil e de confecção do Brasil - 2017

Seguimento	Unidades Formais (un)	Pessoal ocupado (mil)	Produção (t.) ¹
Fibras e Filamentos	18	6	238.260
Têxtil	2.700	262	1.819.907
Confecção	24.800	1.255	1.713.274
Total	27.518	1.523	3.771.441

Fonte: adaptado de IEMI, 2018.

Nota: ¹Dados referente a 2015.

A indústria de confecção do vestuário é a principal destinatária dos produtos da indústria têxtil e possui grande relevância econômica e forte impacto social (IEMI, 2018) devido ao intensivo uso de mão de obra. Para Uniethos (2013) micro e pequenas empresa, de modo geral possuem menor capacidade produtiva e deficiências na gestão do negócio, já as empresas de maior porte tem maior estrutura

Diante do exposto, nota-se que o grau de investimento em tecnologia e estratégias de gestão aplicada aos processos possui estreita relação com o tamanho da empresa. Entretanto, a indústria de confecção do vestuário é caracterizada pela heterogeneidade das atividades empresariais com relação ao porte, segmentos de especialização, processos produtivos, padrões de concorrência e estratégias empresariais (UNIETHOS, 2013), assim, podem variar entre grandes e multinacionais até microempresas locais.

Conforme os dados apresentados na Tabela 3, as micro e pequenas empresas representam 97% das indústrias de confecção do vestuário ativas e são

responsáveis por 69% do pessoal ocupado e por 36,5% das peças produzidas em todo país (IEMI, 2016).

Entretanto, os números podem ser maiores se considerado o quantitativo de microempreendedor individual. Conforme o Portal do Microempreendedor Individual em novembro de 2018 existia 199.061 registros com o código da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) de divisão 14.1, que se refere a Confecção de Artigos do Vestuário e Acessórios (GOVERNO FEDERAL, 2018).

Tabela 3- Conjuntura econômica do setor confeccionista-2016

Porte	Números de empregados ¹ (Un.)	Número de empresas (%)	Pessoal ocupado (%)	Peças fabricadas (%)
Microempresas	5-19	71,1%	27,7%	14,1%
Empresas de pequeno Porte	20-99	26%	41,3%	20,6%
Média empresa	100-499	2,7%	19,9%	32,5%
Grande empresa	Acima de 500	0,2%	11,1%	32,8%
Total		25. 056 unidades	1,12 milhões	5,8 bilhões

Fonte: IEMI, 2016.

Nota: ¹-Classificação conforme a Lei 126/2006.

A discrepância entre o número de empresas ocorre devido ao processo de terceirização das atividades produtivas para obter competitividade de mercado. Uma prática que acompanha o setor têxtil e confeccionista bem antes da revolução industrial (HOBSBAWM, 2014).

Dentre todos os setores da indústria de confecção, o processo de montagem possui maior volume de postos de trabalho, pois a diversidade de modelo e tecidos exige percepções manuais e técnicas diferenciadas que a tecnologia ainda não é capaz de substituir (RECH, 2006). Por isso, a estratégia para redução de custos e ganho em produtividade é a contratação de facções para executar o processo de montagem (GOULARTI FILHO; JENOVEVA NETO, 1997), geralmente próximo à empresa contratante.

Para Nogueira (2010), a terceirização tem por objetivo ampliar a competitividade da empresa através da redução de custos operacionais relacionados a aquisição de equipamentos, encargos trabalhistas e despesas de operacionalização como aluguel, água, energia, telefone entre outros e elevar o ritmo de produção, já que o processo produtivo acontece simultaneamente em várias facções contratadas. Em contrapartida, “aumenta os riscos de não cumprimento da

legislação e ocorrências de condições inadequadas de trabalho, reduzindo os padrões de qualidade em toda a cadeia” (UNIETHOS, 2013, p.35).

Já a ABIT (2015) atribui o fenômeno de terceirização, ao tratamento diferenciado sobre os encargos tributários direcionados a empresas com porte diferentes. Segundo a associação, as empresas limitam o faturamento para evitar a assunção do porte da empresa que eleva a incidência tributária e os custos provocados pelas obrigações acessórias, dificultando a capacidade de competir no mercado.

Todavia, a terceirização de serviços pela indústria de confecção do vestuário promove a difusão de técnicas e métodos de produção que gradativamente são reestruturados em novas empresas, que se aglomeram na mesma região geográfica atraindo outras atividades subsidiárias ligadas ao fornecimento serviços e matérias primas, dando origem aos APLs.

3.1.2.1 Arranjos Produtivos Locais

Para Vidigal, Vignandi e Campos (2014), os APLs podem ser constituídas a partir por meio da especialização setorial ligada a trajetória histórica de construção da identidade local em torno de uma atividade.

A formação de aglomerados produtivos leva ao compartilhamento de valores econômico e organizacionais, sociais e culturais, políticos e institucionais e ambientais, constituindo fonte de dinamismo local, de diversidade e de vantagens competitivas com relação ao fornecimento de serviços e matérias primas, comercialização de produtos acabados em relação a outras regiões, além de impulsionar a transmissão de conhecimento e a ampliação da capacitação através do aprendizado interativo que naturalmente leva à inovação de produtos e processos(VIDIGAL; VIGNANDI; CAMPOS, 2014).

Entretanto, se por um lado esse dinamismo eleva a capacidade de respostas rápidas do sistema produtivo frente às mudanças de comportamento do consumidor, a concentração de empresas no mesmo espaço geográfico sublinha os impactos socioambientais gerados durante o processo produtivo, chamando a atenção do mercado consumidor, que atualmente tem demonstrado maior prudência sobre o tema.

3.2 IMPACTOS AMBIENTAIS NA CADEIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO

O complexo têxtil e de confecção desempenha uma das atividades mais importantes do mundo em termos de desenvolvimento econômico e social. Contudo, sua soberania desenvolvimentista, mensurada pelo PIB, considera somente o progresso econômico e não os impactos negativos relativos às questões sociais, éticas e ambientais desencadeados no processo fabril (MCDONOUGH; BRAUNGART, 2013). Além do mais, este setor não contabiliza parte dos impactos ambientais decorridos no processo produtivo de suas matérias primas (GFA & BCG, 2017).

Segundo o artigo 1º da resolução nº 1, de 23 de setembro de 1986, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), configura-se em impacto ambiental qualquer “alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que afetam: a saúde da população; a biota; e a qualidade dos recursos naturais” (CONAMA, 1986, art.1º). Sob esta premissa, os impactos ambientais ocorrem em todas as fases do processo produtivo da indústria têxtil e de confecção, sobretudo na manutenção dos produtos após a venda.

Para McDonough; Braungart (2013) os primeiros impactos ambientais percebidos aconteceram durante a primeira revolução industrial, através da contaminação de rios por indústrias construídas ao longo dos corpos d’água e da poluição atmosférica proveniente da emissão de particulados pela queima de carvão. Neste período também foram identificados os primeiros impactos sociais desencadeados pela exploração de mão de obra em centros fabris e em lavouras de algodão, sendo este último, o início de diversos movimentos políticos e socioambientais discutidos atualmente.

O tecido é o principal produto absorvido pela indústria de confecção do vestuário para construção de vestes. Ao longo de seu processo produtivo, diversos procedimentos químicos, físicos e mecânicos são executados para transformá-lo conforme as exigências do consumidor. Em cada etapa, inúmeros impactos ocorrem de forma isolada ou combinada, dentre eles: a contaminação de solo provocada por defensivos agrícolas nas lavouras de algodão; a contaminação das águas devido nos processos de produção de manufatura e beneficiamentos têxtil, a geração de resíduos sólidos e emissão de CO₂ no processo produtivo da indústria têxtil e de

confeção, riscos à saúde humana pela exposição a agentes químicos e a exploração de mão de obra (EMF, 2017).

Apesar de poucos estudos sobre os impactos nesta cadeia de fornecimento, recentemente, o GFA & BCG (2017) construiu um relatório denominado “Pulse of the Fashion Industry”, que mensurou o grau de sustentabilidade em cada elo desta cadeia. Segundo ele, em 2015, a cadeia têxtil e de confecção mundial foi responsável por: 5,4% de toda a emissão de CO₂, cerca de 1,715 bilhão de toneladas; por 0,87% do consumo de água, cerca de 79 milhões de metros cúbicos; gerou 4% dos resíduos, cerca de 92 milhões de toneladas e consumiu cerca de 37% dos produtos químicos.

Os maiores impactos socioambientais percebidos na concepção do tecido são identificados na produção de fibras, no processo de manufatura e beneficiamento de fios e tecidos, sobretudo na produção de fibras naturais (QUANTIS, 2018). Parte desta responsabilidade é atribuída a produção de algodão. Sua produção ocupa 2,5% das terras aráveis do mundo, mas absorve 16% dos pesticidas (cerca de 200.000 t.), 4% do uso de fertilizantes nitrogenados e fósforo no mundo (cerca de 8 milhões de toneladas) e grande quantidade de recursos hídricos destinados a irrigação (EMF, 2017).

De acordo com dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (2018), no ano de 2017 o Brasil possuía 63.994.479 hectares de terras plantadas. Na safra 2017/2018 a área dedicada ao plantio de algodão foi de 1.174.909,10 hectares e a produção de fibras foi de 1.969.956 t., uma média de 1.677kg/ha. Diante da vasta extensão de plantio, o Brasil vem liderando o consumo de defensivos agrícolas² em termos mundiais com 20% (539.944,95 t. de ingredientes ativos) (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA), 2018), onde 6,7% (36.176,31 t.) deste montante é destinada a produção de algodão, uma média de 30,79 kg/há

² Defensivos agrícolas: Também conhecidos como agroquímicos, agrotóxicos, pesticidas, praguicidas ou produtos fitossanitários são substâncias químicas ou biológicas usados em lavouras para evitar ataques e ou proliferação de fungos, bactérias, ácaros, vírus, parasitas, plantas daninhas, nematoides e insetos considerados pragas ou causadoras de doenças (SINDIVEG, 2018)

(SINDIVEG, 2017), uma quantidade bem acima do declarado por EMF (2017) em termos globais.

Conforme Bombardi (2017) o Brasil é um dos países mais permissivos quanto ao uso de agrotóxicos, com altos níveis de tolerância em alimentos e em água potável. Mais de 30% dos agroquímicos usados no Brasil são proibidos na União Europeia (UE), entretanto muitas comodites produzidas aqui, com defensivos agrícolas barrados em outros países, são exportadas aos países proibitivos que os vetaram. Para a autora, os impactos desencadeados pelo uso destes produtos se tornam mais intensos quando ignoram as recomendações técnicas do fabricante, relacionadas a posologia recomendada, a forma de manuseio e uso de equipamento de proteção, as condições climáticas recomendadas para aplicação, sobretudo quando a pulverização é realizada por aeronaves que ampliam consideravelmente a área de contato, atingindo locais circunvizinhos as lavouras.

Para a Environmental Justice Foundation (EJF) (2007), o Brasil é o 4º maior consumidor mundial de agroquímicos. Ao testar a água da chuva, pesquisadores identificaram dezenove produtos químicos diferentes, dos quais doze foram aplicados ao algodão dentro da área de estudo. Segundo declarações do Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva (INCA) (2015), o intensivo uso de agrotóxicos utilizado no modelo de cultivo brasileiro desencadeia diversos impactos ligados a poluição ambiental, saúde ocupacional e intoxicação da população em geral através da exposição direta de trabalhadores na área de cultivo ou contaminação de alimentos que a longo prazo podem ser associados a problemas como infertilidade, impotência, abortos, malformações, neurotoxicidade, desregulação hormonal, efeitos sobre o sistema imunológico e câncer.

Ao considerar o uso intensivo de mão de obra, principalmente em países em desenvolvimento, tais impactos se tornam ainda mais preocupantes. Em alguns países da Índia, por exemplo, o cultivo de algodão emprega 7% da mão de obra, usa aproximadamente 54% de todo pesticida empregado no país, apesar de ocupar apenas 5% das terras cultivadas (EJF, 2007). Além do mais, o uso de defensivos agrícolas elimina os micro-organismos naturais do solo e aumenta a necessidade do uso contínuo de agroquímicos para perpetuar a produtividade do solo. Sob condições de irrigação ou chuva: eleva a intensidade de carreamento de solo a afluentes, juntamente com os produtos fitossanitários, levando ao assoreamento de rios e contaminação das águas, futuramente consumidas por animais e seres

humanos, além de interferir na biodiversidade a ponto de eliminar, afugentar ou provocar mutações genéticas em espécies nativas (BOMBARDI, 2017).

Contudo, as fibras de origem sintética provenientes do petróleo (recurso natural não renovável) vêm substituindo o uso de fibras naturais desde sua invenção em 1941 (Araújo e Castro, 1986). Atualmente, correspondem a 64,2% das fibras produzidas mundialmente, dentre elas, o poliéster destaca-se por ser a fibra mais consumida mundialmente.

Segundo Araújo e Castro (1986); Erhardt (1975c) e Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) (2015a), a produção do poliéster parte da policondensação entre o ácido tereftálico e etileno glicol (etana diol) e envolve diversos processos de natureza química, física e mecânica através do aquecimento, extrusão e resfriamento da mistura.

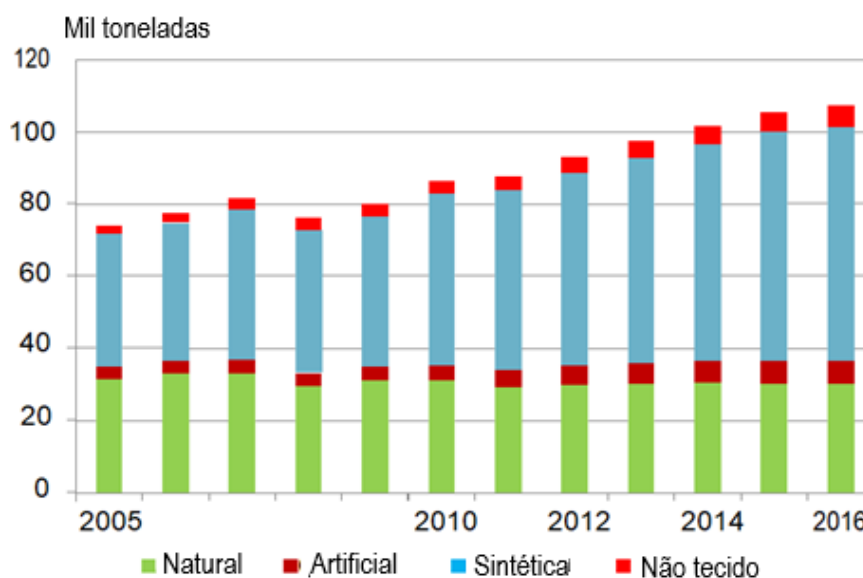
Durante o processo são usados produtos químicos, incluindo o trióxido de antimônio, que atua como catalisador e é uma substância altamente nociva ao ambiente e possui potencial cancerígeno se inalado (GFA & TBCG, 2017). Para EMF (2017), a produção de poliéster consome menor quantidade de aditivos químicos se comparada a produção de algodão, mas, em contrapartida, consome maior quantidade de água ao incluir a extração de petróleo em sua produção.

Quanto a durabilidade do vestuário, as peças produzidas com poliéster apresentam maior grau de durabilidade devido à resistência a ação microbiológica e a processos de conservação (higienização das peças) durante o uso se comparada a outras fibras.

Mas, a mesma característica química que potencializa o uso desta fibra, também a torna impactante ao meio ambiente quando os resíduos têxteis são descartados em aterros ou lixões, ou quando micropartículas com menos de 5 mm são liberadas no processo de manutenção das vestes permanecem acumuladas no meio ambiente e contaminam rios e oceanos ao entrar na cadeia alimentar de peixes que podem pertencer a alimentação humana (LEAZING, 2017; QUANTIS, 2018).

Já a produção de fibras artificiais desenvolvidas a partir da celulose regenerada tem apresentado um significativo crescimento diante das demais fibras naturais (Figura 5). Tal feito pode ser associado às novas tecnologias, que além de reduzir o custo têm desenvolvido processo de menor impacto ambiental.

Figura 5- Panorama mundial da fibra artificial



Fonte: (LEAZING, 2017).

Atualmente, a produção de fibras artificiais é mais poluente se comparado a fibras sintéticas e de menor impacto ambiental com relação a produção da fibra de algodão (GFA & BCG, 2017). Neste contexto, Fletcher e Grose (2012) afirmam que o material usado na produção do tecido para construção do vestuário interfere diretamente no tipo e na intensidade dos impactos gerados (mudanças climáticas, efeitos diversos sobre a água e seus ciclos, poluição química, perda de biodiversidade, uso excessivo dos recursos não renováveis, geração de resíduos, efeito negativo sobre a saúde humana).

O relatório de GFA & BCG (2017) aponta que durante as várias fases para transformar matérias-primas em têxteis, desde a fibra até o beneficiamento terciário são usados em média 43 milhões de toneladas de produtos químicos distribuídos em mais de 8.000 tipos diferentes, muitos deles com riscos desconhecidos. EMF (2017) afirma que 72 produtos químicos tóxicos encontrados em águas poluídas vêm exclusivamente do tingimento de tecidos, dos quais 30 não podem ser removidos através do tratamento convencional de águas residuais.

Para Avagyan et al. (2014) os produtos químicos usados durante todo o processo fabril permanecem impregnados nos vestuários e podem contaminar usuários por meio do contato com a pele, além de atuarem como poluentes ambientais por meio de lavagem e lançamento em águas residuais domésticas. Tais afirmações foram possíveis, após os pesquisadores coletarem vinte e seis amostras

de roupas de várias cores e materiais têxteis fabricadas em 14 países, para identificar a presença de contaminantes por meio da cromatografia líquida de espectrometria de massa. A pesquisa registrou a presença de benzotiazol (substância presentes em fungicidas e inseticidas) em vinte e três das vinte e seis peças de vestuário investigadas em concentrações que variaram entre 0,45 e 51 $\mu\text{g} / \text{g}$ têxtil.

Kant (2012) apresenta uma série de substâncias vindas de corantes químicos que são encontradas nos efluentes têxteis tornando-os altamente tóxicos: enxofre, naftol, corantes de cuba, nitratos, ácido acético, sabões, enzimas, compostos de cromo e metais pesados como o cobre, arsênio, chumbo, cádmio, mercúrio, níquel e o cobalto, além de fixadores de corantes a base de formaldeído, removedores de manchas cloradas, amaciadores à base de hidrocarboneto e produtos químicos para tingimento de não biodegradáveis que podem reagir com alguns desinfetantes como o cloro, formando os subprodutos de desinfecção conhecidos como DBP'S, que geralmente são carcinogênicos, e alguns são indutores de reações alérgicas.

Segundo Kant (2012), a matéria coloidal presente em tinturas e a espuma oleosa aumentam a turbidez e impedem penetração da luz solar necessária aos processos de fotossíntese e de auto-purificação da água, necessário para o desenvolvimento da vida aquática, além de torná-la imprópria para consumo humano. Em contato com o solo, este efluente provoca a perda de produtividade.

A Stichting ZDHC Foundation, composta por diversas empresas globais, desenvolveu o programa Zero Discharge of Hazardous Chemicals (ZDHC) (2015) que trata de restrições para o uso de diversos produtos químicos usados na manufatura de produtos industrializados, inclusive na indústria têxtil e de vestuário.

O programa aborda o controle de substâncias como: Alquilfenóis (AP) e Alquilfenóis Etoxilados (APEOs); Clorobenzenos e Clorotoluenos; Clorofenóis; Corantes Azóicos; Corantes Cancerígenos; Retardante de Chamas; Glicóis; Solventes Halogenados; Compostos Organoestânicos; Compostos Perfluorados (PFCs); Ftalatos; Hidrocarbonetos Aromáticos (HPAs); Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) usados ao longo do processo de manufatura de fibras naturais, artificiais e ou sintéticas, fios e tecidos. E segue orientações de regulamentos internacionais, sobretudo, da European Chemicals Agency (ECHA) relativo ao registo, avaliação, autorização e restrição de Produtos Químicos (REACH) (ZDHC, 2015). No Brasil, discussões similares seguem em discussão desde 2015

(SINDICATO DAS INDÚSTRIAS DE FIAÇÃO E TECELAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO (SINDITEXTIL) SP, 2015).

Durante o processo de produção do tecido, os maiores impactos incidem sobre recursos hídricos, seja por seu uso excessivo, ou por sua contaminação que em efeito cascata atinge fauna, flora e vida humana, por isso, o impacto social assume outra posição de destaque devido a exposição dos trabalhadores a produtos químicos perigosos, seja na agricultura ou no processo fabril (GFA & BCG, 2017).

Além do mais, o relatório Quantis (2018) avaliou o ciclo de vida do vestuário no ano de 2016 e constatou que além dos recursos hídricos, outro grande impacto ambiental está associado a emissão de CO₂, pois além de considerar todos gases gerados nos processos produtivos da produção da matéria prima, até o descarte de resíduos, também considerou os gases gerados para produção de energia usadas nas unidades fabris que variaram conforme a fonte energética (eólica, nuclear, fóssil, solar, hidráulica, etc). De acordo com o relatório, a produção do vestuário representou em 2016, 6,7% dos impactos climáticos globais (3.290 milhões de toneladas métricas de CO₂).

Outro problema que vem sendo bastante debatido são os impactos ligados a questão social, principalmente após a queda do Rana Plaza em Bangladesh que matou 377 trabalhadores e denunciou as condições precárias de saúde e segurança deste setor, onde trabalhadores eram submetidos a extensas horas de trabalho para cumprir com as agendas da moda (BRITISH BROADCASTING CORPORATION-BRASIL (BBC BRASIL), 2013).

Em toda cadeia têxtil, a grande demanda de mão de obra acontece principalmente no processo de construção do vestuário. As estratégias de gestão, criadas para elevar lucratividade por meio da redução de custos, através da fragmentação e terceirização dos processos absorve grande volume de mão de obra e colabora com a erradicação da pobreza em muitos países emergentes, mas, simultaneamente, abre lacunas para a desvalorização do trabalho, onde colaboradores se sujeitam a exaustivas horas de trabalho, muitas vezes em condições insalubres para garantir sobrevivência (FLETCHER; GROSE, 2012).

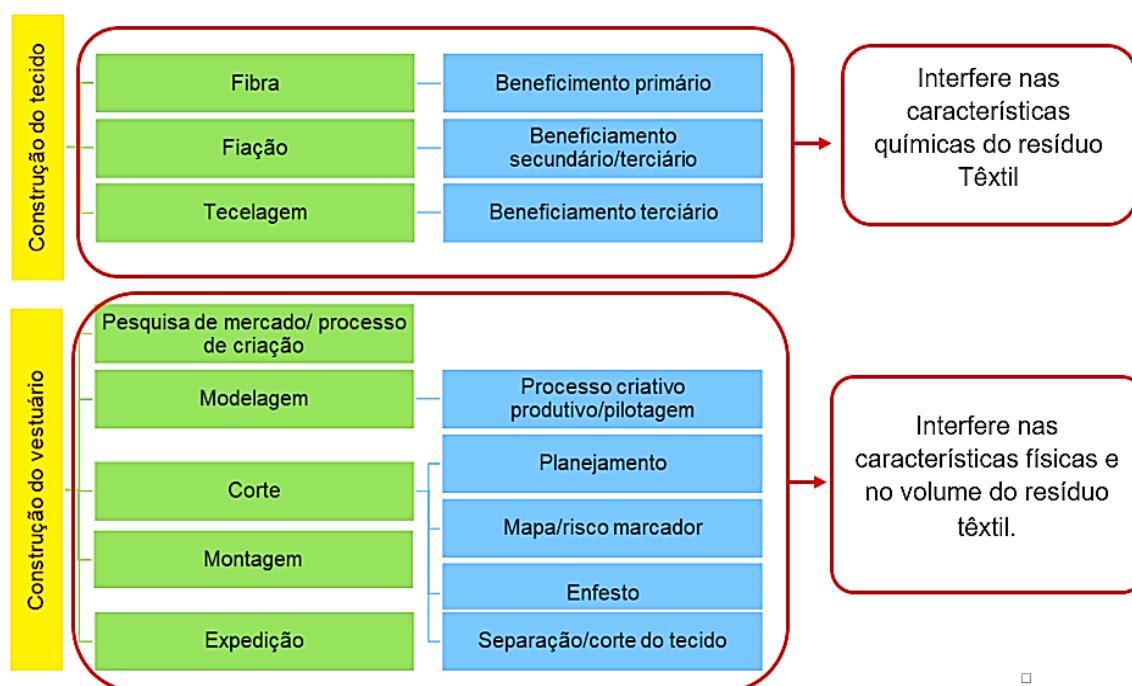
Outro impacto, tão grave quanto todos os citados acima, ocorre de maneira silenciosa através do descarte de retalhos de tecidos, feito de forma pulverizada por cada unidade produtiva de confecção.

3.3 A INFLUÊNCIA DA MANUFATURA DO TECIDO SOBRE O RESÍDUO TÊXTIL

Dentro do processo de manufatura, o maior volume de resíduo têxtil é gerado no setor de corte da indústria de confecção do vestuário. Para compreender suas características é necessário conhecer sua origem e todos fatores químicos e físicos que envolvem seu processo de manufatura, para então traçar estratégias de tratamento.

A Figura 6 apresenta resumidamente todos os processos que interferem nas características do resíduo têxtil gerado na confecção do vestuário.

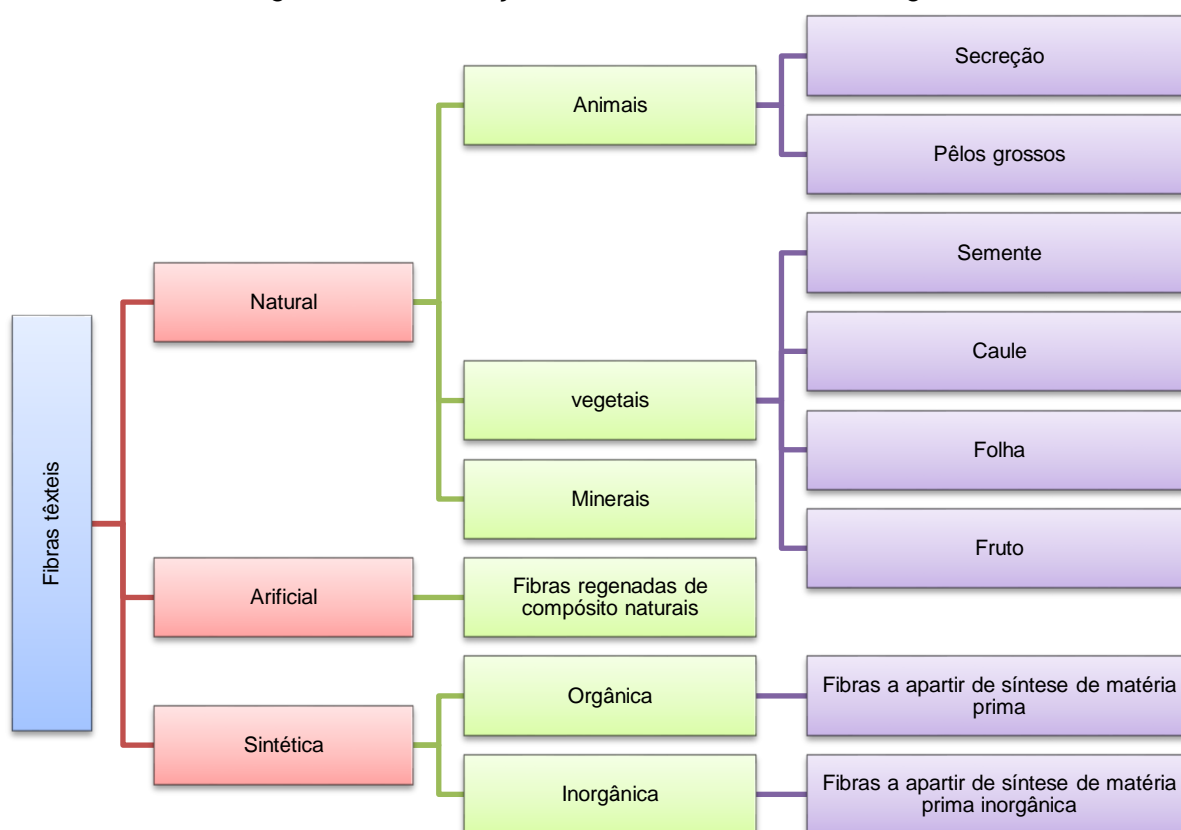
Figura 6- A Influência da engenharia de produção da indústria têxtil e confeccionista sobre o resíduo têxtil



Fonte: Autora, 2019.

A fibra é a principal matéria prima da cadeia têxtil e de confecção do vestuário (fios, tecidos e vestuários) Conforme o Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (CONMETRO) (2008), fibras ou filamento têxtil é toda matéria natural (origem vegetal, animal ou mineral), artificial ou sintética, que por sua alta relação entre seu comprimento e seu diâmetro, e por suas características de flexibilidade, suavidade, elasticidade, resistência, tenacidade e finura está apta às aplicações têxteis, por isso fibras ou filamentos são classificados conforme sua origem (Figura 7). (ARAÚJO; CASTRO, 1986).

Figura 7- Classificação das fibras conforme sua origem



Fonte: adaptado de Araújo e Castro (1986).

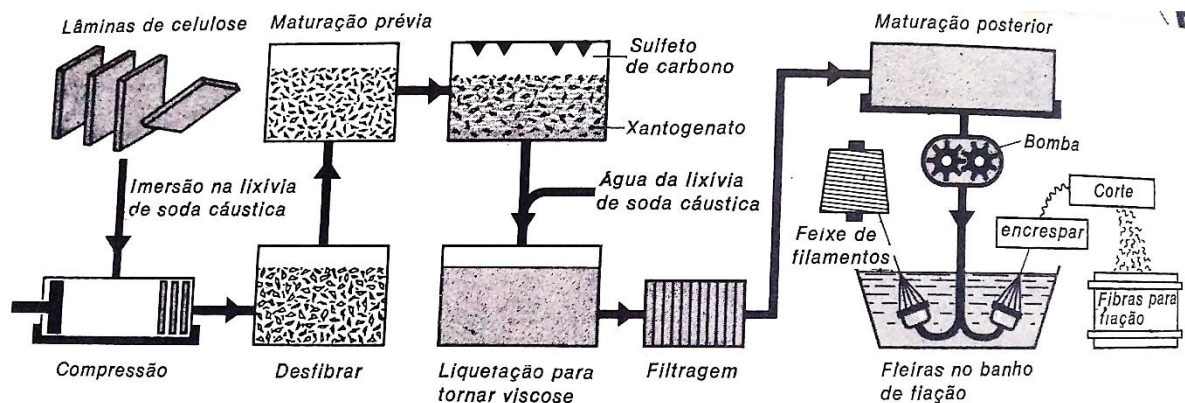
3.3.1 Preparação das Fibras para o Processo de Fiação

Cada fibra possui um conjunto de características diferentes que direciona seu processo de manufatura, a fim de produzir determinados tipos de fios e tecidos. Assim, a preparação das fibras para o processo de fiação e tecelagem seguem processos mecânicos, físicos e químicos específicos a cada tipo de fibra

O algodão, por exemplo, é a fibra natural mais consumida mundialmente, sua produção está diretamente relacionada com técnicas e tecnologias de cultivo que envolvem além de maquinários específicos, intenso uso de recursos hídricos e defensivos agrícolas. A preparação da fibra de algodão para o processo de fiação envolve, basicamente, processos mecânicos na abertura dos frutos, limpeza, paralelização e estiragem das fibras.

Entretanto, nesta pesquisa o foco será dado as fibras de viscose e poliéster, a preparação da fibra de viscose envolve diversos processos químicos, físicos e mecânicos simultaneamente, como mostra a Figura 8.

Figura 8- Processo para obtenção da viscose



Fonte: ERHARDT et al, 1975b.

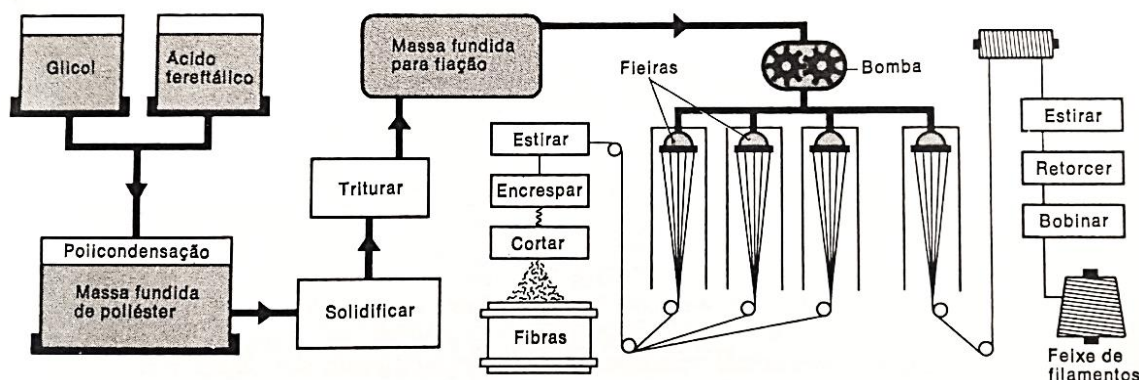
Para obtenção da viscose uma pasta de madeira é imersa em solução com 18% de soda cáustica. A mistura se transforma em celulose alcalina que é esmagada no desfibrilador e em seguida permanece em estado de maturação até atingir o estado de polimerização. A uma temperatura de 20°C, o sulfeto de carbono é adicionado para que a mistura se torne uma substância sólida denominada de xantogenato, que se dissolve com a adição de soda cáustica, formando uma solução viscosa, a Viscose. A Viscose é filtrada e em seguida permanece em estado de maturação a temperatura de 15 a 20°C até que as bolhas de ar sejam eliminadas.

Em seguida a solução é expelida por finos orifícios de fieiras submersas em solução coagulante de ácido sulfúrico e sulfato de soda para provocar a solidificação dos filamentos de viscose, que seguem para serem fiados, ou, encrespados para serem recortados em partículas, para depois serem submetidos ao processo de paralelização e fiação, similar ao processo de algodão (ERHARDT et al, 1975b; ARAÚJO; CASTRO, 1986).

Já a fibra de poliéster é desenvolvida a partir da combinação de ácido tereftalato e etileno glicol aquecida a 90°C em atmosfera de nitrogênio e presença de catalizadores (ácido clorídrico) (Figura 9). A mistura é aquecida a 300°C por um período de 5 a 8 horas em processo de poli condensação. Torna-se um fluido que é solidificado em jatos de água fria e cortado em grãos cúbicos que é fundido e impelido pelos finos furos das fieiras a uma velocidade de 900 a 1200m/min.. Os filamentos são solidificados em corrente de ar frio e tratados. Depois são aquecidos a 90°C e estirados de 4 a 5 vezes do tamanho original e por fim, são termo fixados para suportar posteriores processos de beneficiamento como, por exemplo, a fervura

nos processos de tingimento. Assim, os filamentos podem permanecer contínuos ou serem cortados em pequenas partículas passíveis de fiação (ERHARDT et al, 1975c).

Figura 9- Processo para produção de poliéster



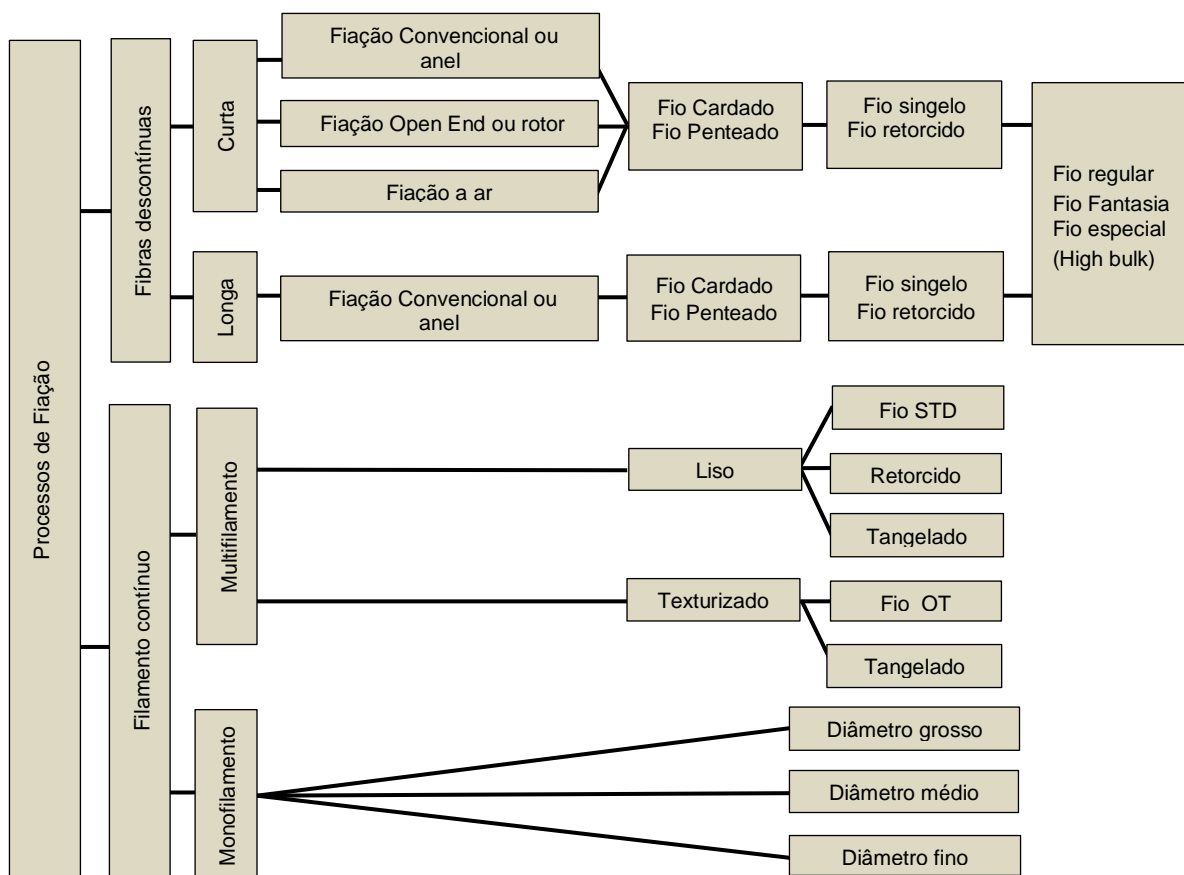
Fonte: ERHARDT et al, 1975c.

Para Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) (2015a), as fibras devem possuir algumas características físico-químicas para serem submetidas aos processos de fiação e tecelagem. Seu aproveitamento está atrelado: ao comprimento da fibra que deve estar em aproximadamente, 1,27 mm; a capacidade de alongamento com relação ao comprimento inicial, a capacidade de resiliência, que define a capacidade se reestabelecer depois de pressionada por uma carga; a flexibilidade para retornar ao estado original depois de dobrada; a resistência a ruptura, e no caso de fibras sintéticas ou artificiais, ao alinhamento das moléculas ao longo de seu comprimento (ERHARDT et al, 1975b).

3.3.2 Fiação

O processo de fiação (Figura 10) consiste em “transformar a matéria prima fibrosa num fio com a massa por unidade de comprimento desejada” (ARAÚJO; CASTRO, 1986, p.149). Segundo SENAI (2015c) o comprimento da fibra determina o processo para produção do fio, a espessura da fibra determina o tipo de fiação e titulação do fio, configurado na densidade linear (m/g), a flexibilidade define a capacidade de torção, a resistência e a elasticidade definem a utilização dos fios e as impurezas definem o grau de rendimento (ARAÚJO; CASTRO, 1986).

Figura10- Processos para produção dos fios



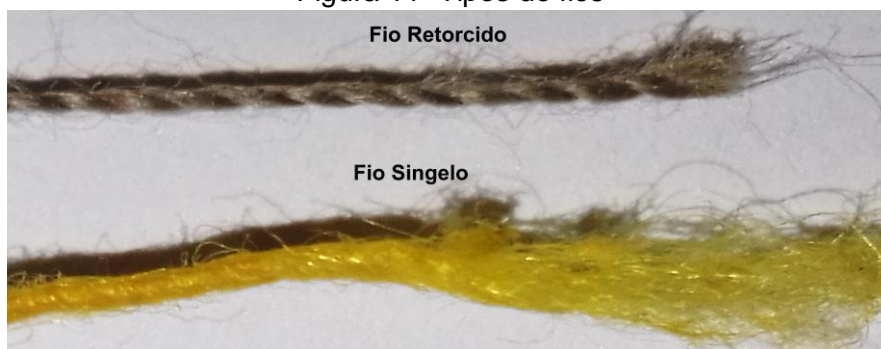
Fonte: adaptado de SENAI (2015a)

A fiação de fibras descontínuas ocorre por três processos: fiação convencional; open end e a ar. A diferença entre elas, está no mecanismo usado para a produção dos fios cardado ou penteado, retorcido ou singular e seus derivados (SENAI, 2015a).

Para a produção de fios cardados, somente as impurezas prejudiciais ao processo de fiação são eliminadas das fibras antes do seu retorcimento. Já a produção de fio penteado envolve uma criteriosa limpeza e a paralelização das fibras, dando origem a fios com maior qualidade. Conforme a Figura 10, os fios cardados ou penteados podem ser retorcidos, ou, permanecer na forma de fios singelos (RIBEIRO, 1984).

Os fios singelos são formados pela torção das fibras, já os fios retorcidos utilizam um ou mais cabos de fios, que retorcem entre si para gerar produtos de maior qualidade (Figura 11).

Figura 11- Tipos de fios



Fonte: Autora, 2019.

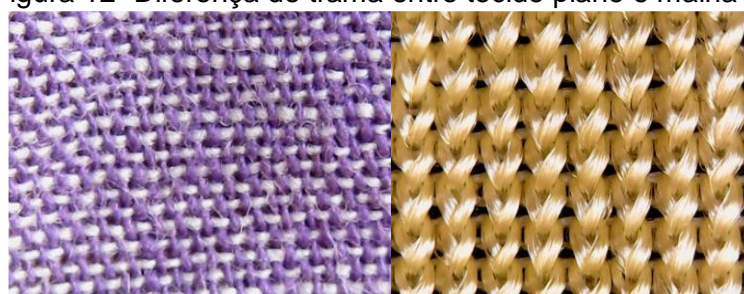
Os demais fios apresentados são derivações dos fios retorcidos ou singelos, que assumem forma e qualidade direcionada a demanda para produção de fios e tecidos (RIBEIRO,1984).

3.3.3 Tecelagem

A tecelagem é a próxima etapa para a construção dos tecidos. Os tecidos são definidos como uma lâmina flexível resultante do entrelaçamento ordenado ou desordenado de fios ou fibras, ação de adesivos ou fusão de fibras, ou, construídos por meio de soluções de fibras têxteis (SENAI, 2015b).

Os tecidos mais consumidos na confecção do vestuário são os tecidos planos (Figura 12) constituídos pelo entrelaçamento em 90°C por fios de urdume (sentido do comprimento do tecido) e trama, (sentido da largura do tecido).

Figura 12- Diferença de trama entre tecido plano e malha



Fonte: Autora, 2019.

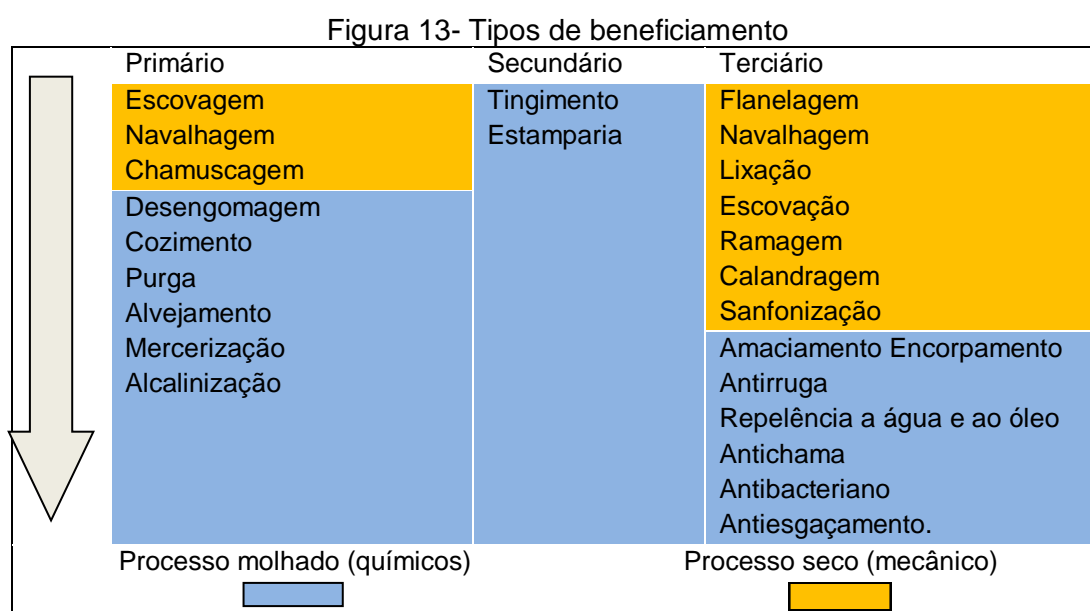
Já os tecidos de malha são constituídos pelo sistema de laçadas por um único fio (processo por trama), ou por meio de laçadas entre vários fios em forma longitudinal (processo por urdume) (PEZZOLO, 2013).

A escolha do tipo de fios somada à combinação e a quantidade de entrelaçamentos por m² configura a padronagem e gramatura dos tecidos, respectivamente. Os resultados destas combinações conferem ao tecido características como: resistência, maleabilidade, porosidade, conforto, elasticidade, flexibilidade e estabilidade dimensional (ARAÚJO; CASTRO, 1987).

Entretanto, a principal diferença entre os tecidos planos e de malha é a elasticidade. Devido ao ligamento dos fios em 90°C, os tecidos planos possuem menor elasticidade se comparados aos tecidos de malha, pois as laçadas permitem mais espaços entre um ligamento e outro.

3.3.4 Beneficiamento

Demais características dos tecidos são proporcionadas pelos beneficiamentos que se dividem em Beneficiamento Primário, Secundário e Terciário (Figura 13).



Fonte: Teixeira, 2015.

Os beneficiamentos são operações físicas, químicas, bioquímico e físico químico que podem ser aplicadas em fibras, fios e tecidos com o objetivo de melhorar as características técnicas e estéticas de fios ou tecido. (LOBO, LIMEIRA; MARQUES, 2014a). O beneficiamento primário é responsável por eliminar impurezas e preparar fibras, fios ou tecidos para receber cor no beneficiamento secundário através do tingimento ou da estampagem. Já o beneficiamento terciário

condiz no acabamento final do tecido capaz de gerar características funcionais de toque, uso e estética (LOBO, LIMEIRA; MARQUES, 2014a).

Ao longo destes processos é utilizado grande volume de água e elevada quantidade e variedade de substâncias químicas que podem ser lançadas nos corpos hídricos caso não haja um tratamento adequado. “As fontes de toxicidade aquática podem incluir sal, surfactantes, metais iônicos e seus metais complexos, produtos químicos orgânicos tóxicos, biocidas e ânions tóxicos” (CHOKALINGAM; MARUTHAVANAN; PRAKASH, 2009, p.3).

Para Araújo e Castro (1987), em média são consumidos 100 litros de água para cada kg de tecido. Todavia, Chokalingam, Maruthavanan e Prakash (2009) afirmam que, em média são necessários 200 litros de água para produzir 1 kg de tecido dependendo da fibra e do processo utilizado, sendo que, 15% a 20% deste montante é destinado ao processo de tingimento.

Além disso, parte das substâncias químicas utilizadas no processo de manufatura permanecem impregnadas nos tecidos, mesmo depois de seguidos processos de lavagem realizados no beneficiamento terciário (AVAGYAN et al., 2014). Assim, os resíduos têxteis, provenientes de tecidos, permanecem com tais substâncias intrínsecas, e quando são descartados em aterros e lixões entram em processo de decomposição e descarregam no solo toda química recebida durante o processo de produção (NIMKAR, 2018).

3.4 A CONSEQUÊNCIA DA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO UTILIZADA NA INDÚSTRIA DO VESTUÁRIO PARA A GERAÇÃO DE RESÍDUO TÊXTIL

O volume de gerado resíduo gerado ao longo do processo produtivo da indústria de confecção do vestuário está associado a diversos fatores de cunho histórico, mercadológico e gerencial, sobretudo, a engenharia de produção adotada em cada empresa (TEIXEIRA, 2015).

Biermann (2007, p.8) denomina de “Processo Produtivo para confecções”, a sequência operacional que inicia no planejamento da coleção e desenvolvimento do produto passando por toda a produção até a expedição, e ressalta a importância da interação entre todas as suas etapas produtivas, uma vez que, “os resultados no processo produtivo definem a competitividade da empresa em relação ao custo e qualidade do produto” (BIERMANN, 2007, p.7).

3.4.1 Pesquisa de Mercado e o Processo de Criação

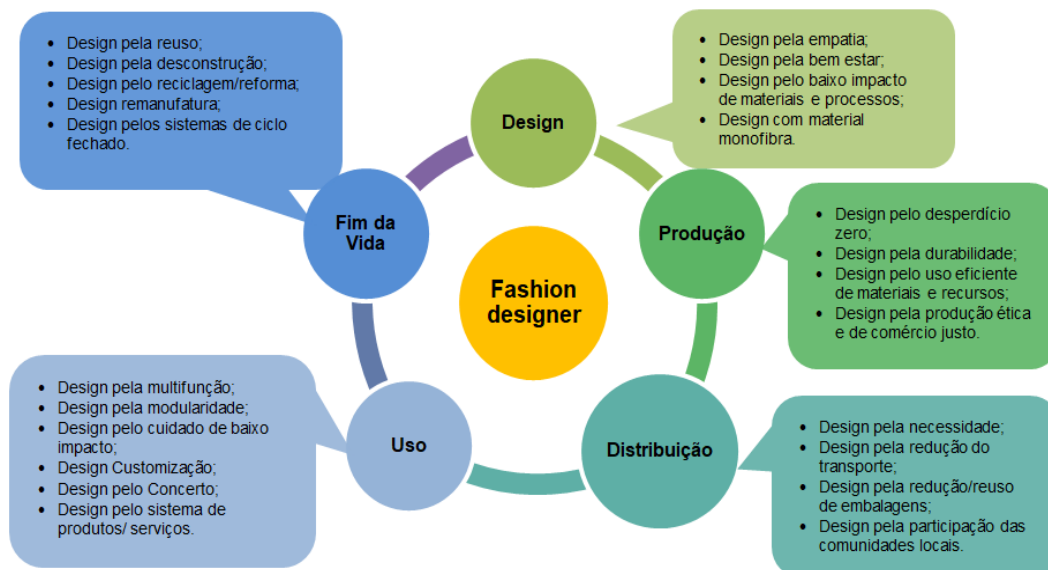
A pesquisa de mercado e tendência antecede o processo de criação. Nesta fase o profissional responsável precisa identificar a direção que a indústria da moda irá tomar. Estes rumos são norteados por fatores que influenciam diretamente à maneira do consumidor se vestir: inovação tecnológica; condições econômicas; sociais; política; informação e comunicação (mídia, celebridades e os grupos sociais). Com isso, o design eleva a probabilidade em desenvolver produtos com maior identificação aos desejos do seu público alvo e conseqüentemente aumenta o apelo comercial do produto (MEADOWS, 2013).

Neste setor, Biermann (2007) destaca a importância do planejamento de coleção desenvolvido pelos setores criativo, produtivo, administrativo e comercial (compra e venda). Para ela, o planejamento considera não só as pesquisas de mercado e tendência, mas também a viabilidade produtiva e financeira do produto, por isso, o desenvolvimento de design ou processo de criação acontece de forma simultânea e paralela ao planejamento de coleção.

Nesta etapa, o estilista é responsável por todo desenvolvimento criativo do produto. Cabe a ele: aplicar o design ao produto, dentro das características estratégicas da empresa (GOULARTI FILHO; JENOVEVA NETO, 1997); coordenar dos processos de desenvolvimento de um produto e ou coleção (GWILT, 2014) e incentivar as articulações de técnicas e informativas em todos os setores (fornecedor de matéria prima, gestor da empresa, pilotista, modelista) para garantir o melhor produto aos clientes e maior lucratividade a empresa (BIERMANN, 2007).

Contudo, Gwilt (2014) chama a atenção para as novas preferencias do consumidor ligadas a fatores sociais e ambientais, e estende a responsabilidade sobre todo o ciclo de vida do produto (do processo de concepção até o fim da sua vida útil) ao profissional de design (Figura 14). Neste sentido, convida-os a: compreender e avaliar os impactos socioambientais desencadeados pelo produto durante o ciclo de vida; fundamentar e incluir em seu processo criativo estratégias socioambientais e a propor estratégias de design voltadas para à sustentabilidade. Esta atitude, além de atender aos anseios do mercado consumidor, propicia lucratividade ao repensar o processo produtivo com menor desperdício de recursos materiais, humanos e energéticos

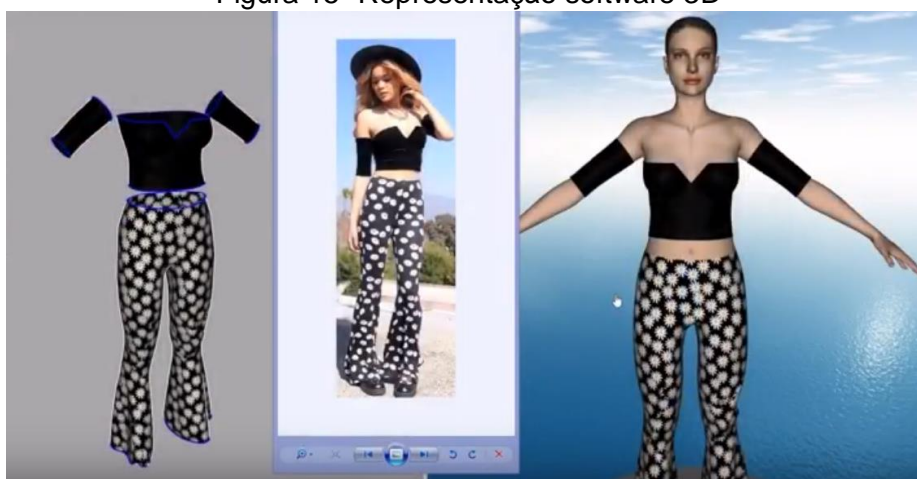
Figura 14- Estratégias de design sustentável



Fonte: GWILT, 2014, p.43.

. Alguns softwares foram construídos para auxiliar na execução do processo criativo e eliminar etapas referentes ao desenvolvimento das peças pilotos antes da aprovação do modelo. Dentre eles, os softwares 3D (Figura 15) propõem ao estilista criar o design dos produtos em sua plataforma virtual, para que através da visualização em 3D, o produto possa ser avaliado antes mesmo de ser produzido.

Figura 15- Representação software 3D



Fonte: Audaces [d.a 2017].

Com isso, o programa ajuda a reduzir o tempo, matéria prima e mão de obra no processo criativo (AUDACES [d.a 2017]). Para Audaces (2018) a tecnologia oferece “a possibilidade de saber se uma peça será ou não rentável ainda na etapa de

criação, o que traz segurança para a equipe envolvida na nova coleção e assertividade para a aprovação dos novos modelos”.

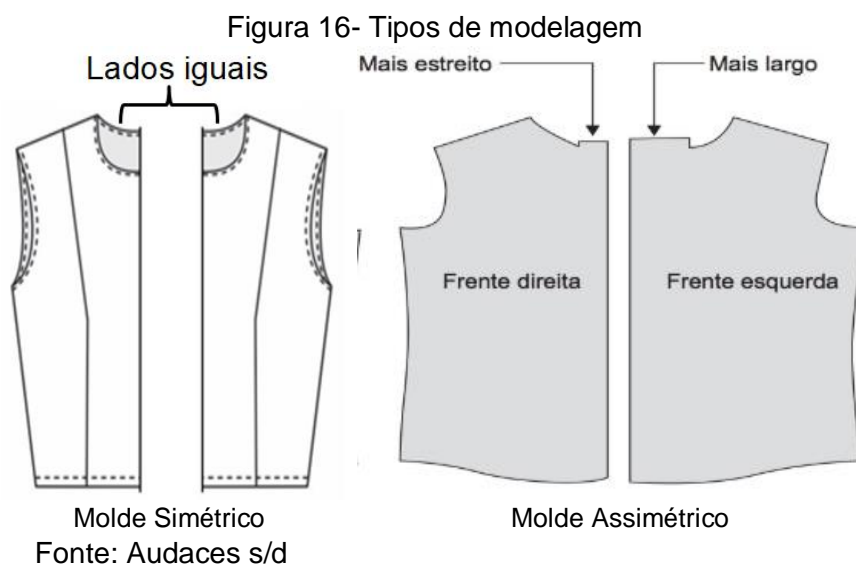
3.4.2 Processo de Modelagem

O processo de modelagem desenvolve formas geométricas bidimensionais (denominados de moldes), associadas à medida corporal, orientada pelo design do produto, para construir a veste na forma tridimensional. Para isso, é necessário que o profissional, denominado de modelista, articule diferentes saberes (cálculo, geometria, anatomia, antropometria, ergonomia, noções de volume, espaço, escala, proporção, conhecimento de diferentes tipos de tecidos, técnicas de costura, aparato tecnológico disponível para o projeto e produção das roupas) por meio do raciocínio lógico (MARIANO, 2011).

O processo de modelagem pode ser diferenciado pelo método de execução da construção do produto. Na modelagem bidimensional, as anatomias do objeto são planejadas em papel através do traçado de linhas horizontais e verticais e correlacionam entre si dando origem a uma forma que será transferida ao tecido (MARIANO, 2011).

Já a modelagem tridimensional ou *moulage*, trabalha o tecido diretamente no manequim (MARIANO, 2011). Esta metodologia de modelagem pode excluir a construção de moldes em papel, ao direcionar o tecido modelado diretamente ao processo de montagem, entretanto, esta técnica é mais usada na construção de peças voltadas à alta costura. Por outro lado, o tecido trabalhado sobre o manequim pode ser planejado e ter suas formas transferidas para o papel, seguindo parte da metodologia usada na modelagem bidimensional (FISCHER, 2010).

Outra característica importante da modelagem refere-se a sua simetria. Nas modelagens simétricas (Figura 16), os moldes desenvolvidos para o lado esquerdo e direito do corpo são idênticos e não exigem o posicionamento de todos os moldes no encaixe. Já na modelagem assimétrica, o lado direito da vestimenta não é igual ao lado esquerdo e por isso os moldes de ambos os lados devem ser usados no mapa de risco. Diante do exposto, pode-se dizer que a modelagem é formada por um conjunto de moldes bidimensionais, criados para construir um produto na sua forma tridimensional.



Do processo criativo, o design do produto segue para o processo produtivo para ser concretizado, em peça do vestuário (GWILT, 2014). Segundo Mariano (2011), a modelagem pode ser considerada um processo constituído por métodos e técnicas, cuja prática atua tanto no processo de concepção do projeto quanto na construção física do mesmo, pois, compartilha informações de execução com o processo criativo, podendo interferir, até mesmo, no design final do objeto.

Neste raciocínio, Gwilt (2014) afirma que o processo de design se estende ao processo de modelagem/ pilotagem podendo intervir ao ponto de propor ideias inovadoras ao produto. Por isso, pode ser dividida em duas fases: criação e produção.

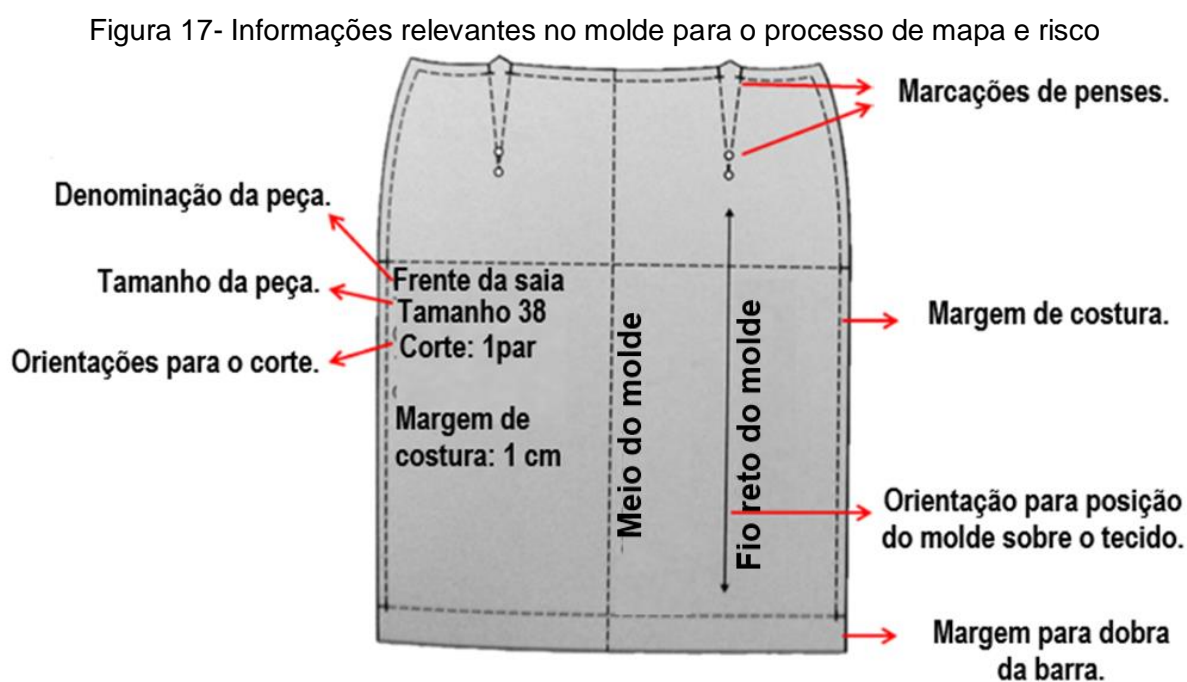
Na fase da criação, a modelagem piloto é desenvolvida com o objetivo de testar a viabilidade de construção do produto elaborado no processo criativo. Para isso, todas as informações contidas na ficha técnica são criteriosamente observadas (LOBO, LIMEIRA; MARQUES, 2014c). Em seguida, a modelagem piloto é copiada no tecido previamente escolhido no processo de criação para construir a primeira peça piloto, que será cortada e montada para fins de avaliação mercadológica e operacional (FULCO; MENDES, 2018). Assim, é possível afirmar que a primeira fase da modelagem e da peça piloto está integrada ao processo criativo, e somente após a aprovação da peça piloto pelo planejamento e criação, a modelagem segue para a segunda fase: o processo produtivo.

Após aprovada e finalizada, a modelagem base pode ser replicada em diversos tamanhos, conforme definir o planejamento de coleção. Este processo, denominado de gradação ou sequenciamento, consiste em aumentar e ou reduzir

proporcionalmente os moldes a partir da modelagem piloto. Neste processo, todos os detalhes como penses, piques e marcações de silhuetas devem ser respeitados e acompanhados proporcionalmente em todos os novos tamanhos (ARAÚJO, 1996).

Contudo, todos os moldes (base ou escalados) desenvolvidos em qualquer metodologia de modelagem precisam conter informações relevantes (Figura 17) para orientar as demais etapas do processo produtivo.

Dentre elas podemos destacar: nome ou referência da modelagem; nome do molde; tamanho do molde; número de vezes que deve ser cortado em tecido; marcação de pregas, franzidos, pense e dobraduras; piques para encontro de costuras; margem de costura e orientação de fio reto ou fio de tecido (MARIANO, 2011; FISCHER, 2010; ARAÚJO, 1996).



Fonte: adaptado de Fischer, 2010.

Estas informações são fundamentais para orientar os processos no setor de corte e costura, por isso, deve ser repassado até a linha de montagem.

Como mencionado, o processo de construção da modelagem é um trabalho detalhado e moroso, que detém a responsabilidade de reproduzir fielmente o produto proposto em conformidade com a ergonomia do corpo humano. Para isso, modelagem, pilotagem e prova serão repetidas sucessivas vezes até que a peça-piloto seja aprovada (FULCO; MENDES, 2018).

Segundo Audaces (2018), os procedimentos de pilotagem consomem grande quantidade de recursos (mão de obra, matéria prima, energia, tempo etc.) e geram grandes desperdícios. Para potencializar este processo, a modelagem assistida por computador (CAD) auxilia o modelista ao criar moldes em plataformas virtuais e experimentá-los em manequins cibernéticos, evitando a construção de uma nova peça física a cada alteração do molde. Dessa forma, reduz a repetição de peças piloto para desenvolver um único modelo, por consequência, eleva a produtividade e reduz a matéria prima e a quantidade de resíduos gerados ainda no processo de desenvolvimento do produto (AUDACES, 2018).

Entretanto, o gargalo desta inovação tecnológica está na qualificação da mão de obra, pois para que a veste virtual represente a realidade, o operador necessita de conhecimentos em informática, modelagem e têxtil para operar corretamente o sistema e fornecer informações sobre o tecido (elasticidade, gramatura, textura, espessura) e as medidas corporais do público alvo (CORSO, CASAGRANDE, SANTOS, 2016).

Outra ferramenta disponibilizada pelo sistema CAD é a possibilidade de realizar gradações, com todas as marcações, de forma rápida e precisa. Para isso, nem sempre os moldes precisam ser confeccionados virtualmente. Para moldes confeccionados manualmente, o sistema CAD possui mecanismos de scanners que digitalizam os moldes bases, transferindo-os para a plataforma virtual.

O processo de gradação por meio do sistema CAD é uma realidade bastante difundida nas indústrias de confecções que buscam acelerar o processo criativo para atender as nuances da moda efêmera. Segundo Audaces (2018), em um processo manual de modelagem, o tempo dedicado aos processos de planejamento, criação e modelagem é de 75%, com o uso do software, esse tempo se reduz em 90% (LOBO, LIMEIRA; MARQUES, 2014b).

Além disso, a modelagem digital possibilita o arquivamento de todos os moldes e a interação com outros sistemas de automação ligados à pilotagem (experimentação assistida por computador em manequins virtuais) e ao processo de corte por meio do encaixe para construção do mapa de corte.

Independente da tecnologia utilizada para construção da modelagem, os métodos utilizados interferem diretamente na gestão dos resíduos dentro do processo produtivo. A forma de interpretação do corpo e a autonomia para usar a engenharia da modelagem para construir formas geométricas, que depois de unidas,

concilie ergonomia, estética, conforto, vestibilidade, produtividade e meio ambiente consistem no principal desafio da atualidade para o setor.

Dentre os métodos contemporâneos, o *zero waste*, inverte a ótica da modelagem e coloca em primeiro lugar, o meio ambiente sob a premissa do aproveitamento total do tecido. Para isso, busca reorganizar as formas geométricas da modelagem para adaptá-las ao corpo humano, dentro da estrutura de altura e circunferência (ombro, cintura, quadril, busto), porém com recortes em locais inusitados, pensados para favorecer primeiramente, o encaixe dos moldes.

Entretanto, o método *zero waste*, hora eleva a área útil dos moldes, hora evita o uso de curvas e circunferências para ajustar os moldes no processo de encaixe para evitar o descarte de resíduos. Do ponto de vista financeiro referente a matéria prima, o processo nada interfere no custo final da peça, pois o cálculo de custo do tecido não exclui o resíduo gerado. No processo criativo, o método, requer a atuação conjunta de estilista e modelista, pois a lógica criativa parte de um conceito inicial (não de um desenho estruturado) que se concretiza no decorrer da construção da modelagem.

Sob a ótica produtiva, o *zero waste* rompe os paradigmas da montagem e da interpretação da forma ao apresentar moldes com formas atípicas que exigem profissionais com conhecimento refinado sobre modelagem para unir as partes corretamente, o que torna o processo de montagem moroso se comparado a montagem da modelagem tradicional.

3.4.3 Processo de Corte

O processo de corte tem como objetivo cortar simultaneamente várias camadas de tecido com o máximo de eficiência, para isso é necessário que o desenvolvimento das atividades, nas diversas etapas que o compõem, seja realizado de forma sincronizada. Por isso, os profissionais envolvidos neste processo precisam ter conhecimentos sobre tecidos e modelagens para interpretar cada informação descrita na ficha técnica e nos moldes que acompanham o modelo (FULCO; MENDES, 2018).

A definição da grade de corte acontece no planejamento de risco e corte onde ocorre a da programação do número de peças, com tamanhos e ou modelagens variadas, que serão encaixadas no mapa de corte e cortadas simultaneamente

(LOBO, LIMEIRA; MARQUES, 2014b). Para isso, a quantidade de peças posicionadas no risco marcador, versus a quantidade de camadas do tecido que deverão serem sobrepostas são avaliadas (AUDACES, [2015?]; ARAÚJO, 1996).

Para elaborar o planejamento de risco e corte é necessário considerar a demanda mercadológica da empresa para atender prazos de entrega, volume de vendas e capacidade tecnológica e produtiva (BIERMANN, 2007). Além do mais, é fundamental para mensurar o consumo e o custo do tecido por peça produzida. Por isso, seu objetivo é “executar de forma econômica os pedidos dentro dos prazos com um mínimo de desperdício de material” (LOBO, LIMEIRA; MARQUES, 2014b, p.17).

O planejamento de risco e corte é a base para a execução do risco marcador (ARAÚJO, 1996), para desenvolvê-lo com êxito é imprescindível conhecer as particularidades do tecido (composição, tonalidade, espessura, trama, largura, grau de encolhimento, direito e avesso, sentido do Urdume ³, tecido com pé⁴, tecido com sentido⁵), a simetria da modelagem, o tamanho da mesa de corte e a tecnologia de corte utilizada pela empresa (item 3.4.6).

De posse destas informações, o profissional do setor de corte terá subsídio para realizar os cálculos matemáticos e planejar o processo de enfiar e risco através dos resultados como: quantidade de folhas enfiadas; número enfiar; quantidade de peças encaixadas no risco marcador; comprimento do risco marcador; consumo de tecido por peça; consumo de tecido total; valor do total do tecido consumido; valor do tecido consumido por peça. Estes resultados, além de conduzirem toda dinâmica no processo de corte, também produzem informações para o gerenciamento de insumos e resíduos da empresa (LOBO; LIMEIRA; MARQUES, 2014b).

A técnica para a construção do mapa de risco é iniciada com o encaixe dos moldes, este procedimento consiste na distribuição dos moldes que compõe a

³ Sentido longitudinal do tecido, geralmente reconhecido pelo acabamento de sua borda denominada como Ourela.

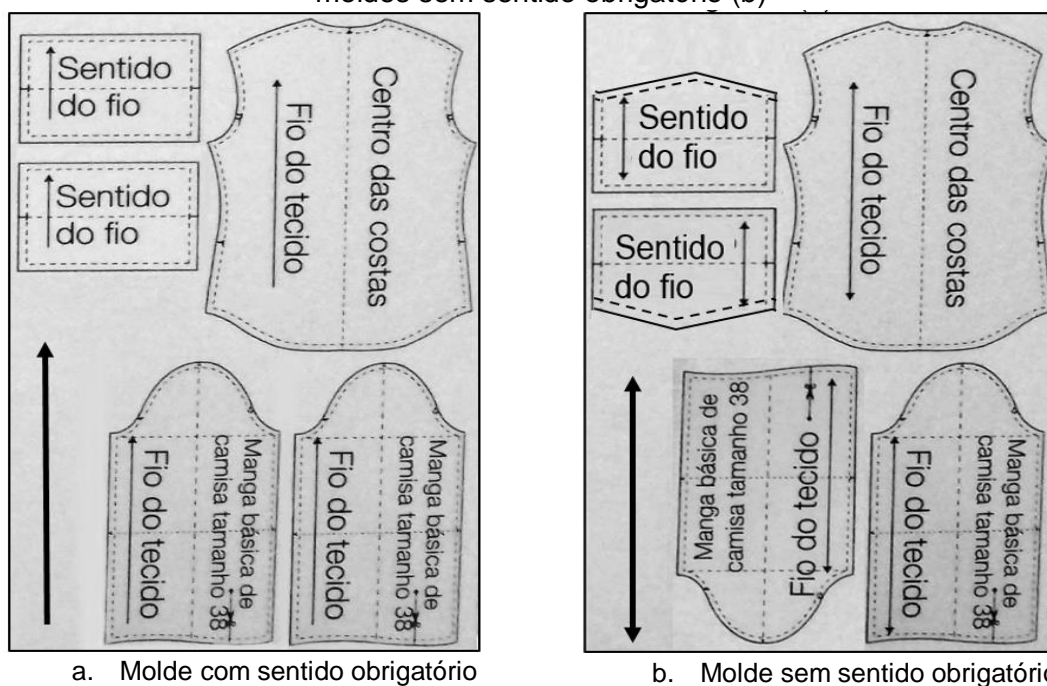
⁴ Tecido de malha com laçadas abertas que pode desmanchar ao ser tensionado, em uma das extremidades longitudinais,

⁵ Tecidos que ao serem observados de ângulos distintos provocam alterações de brilho ou mudança de cor, ou tecidos com motivos direcionados para um mesmo sentido.

modelagem sobre o tecido ou papel, de modo a obter o melhor aproveitamento do tecido, e evitar a formação de espaços negativos, identificados como áreas não aproveitadas formadas entre as curvaturas de dois ou mais moldes (GOULARTI FILHO; JENOVEVA, 1997). Estas lacunas são responsáveis pela formação do resíduo têxtil após o processo de corte, por isso, devem ser reduzidas ao máximo.

Segundo (ARAÚJO, 1996), algumas características do tecido podem definir a posição de encaixe dos moldes. Para o autor, os tecidos reconhecidos com pé ou sentido, devem ter todos os moldes posicionados para um mesmo lado (Figura 18a), diferente do tecido sem especificidades, que pode ter seus moldes posicionados em sentidos opostos (Figura 18b). Já o posicionamento dos moldes para tecidos xadrez ou listrados deve ser orientado pelas listras. Neste caso, apesar deste procedimento aumentar a qualidade final da veste, não contribui para a redução de espaços negativos.

Figura 18- Posição de encaixe orientados pelo tecido: moldes com sentido obrigatório (a); moldes sem sentido obrigatório (b)



Fonte: adaptado de FISCHER, 2010.

Em suma, para realizar o encaixe dos moldes é necessário observar a posição do fio, marcado na modelagem, com relação ao fio do tecido. Segundo Audaces, [2015], “o sentido do fio pode ser reto, transversal ou no viés”, dependendo do efeito de caimento e vestibilidade que o design deseja proporcionar a veste. Além disso, a

simetria da modelagem contribui para definir a quantidade de moldes a serem encaixados.

A modelagem simétrica favorece o encaixe ímpar e misto, pois não exige que todos os moldes sejam encaixados, ao contrário da modelagem assimétrica que exige o uso do encaixe par, já que todos os moldes devem ser posicionados no encaixe (LOBO, LIMEIRA; MARQUES, 2014b).

Para realizar o encaixe dos moldes é necessário observar a posição do fio, marcado na modelagem, com relação ao fio do tecido. Segundo Audaces, [2015], “o sentido do fio pode ser reto, transversal ou no viés”, dependendo do efeito de caimento e vestibilidade que o design deseja proporcionar a veste. Além disso, a simetria da modelagem contribui para definir a quantidade de moldes a serem encaixados.

A modelagem simétrica favorece o encaixe ímpar e misto, pois não exige que todos os moldes sejam encaixados, ao contrário da modelagem assimétrica que exige o uso do encaixe par, já que todos os moldes devem ser posicionados no encaixe (LOBO, LIMEIRA; MARQUES, 2014b).

Após observar todas as restrições apresentadas acima, a metodologia utilizada no processo de encaixe orienta a posicionar primeiramente os moldes maiores, para depois encaixar nos intervalos, os moldes menores. Contudo, a cada posicionamento, a distância entre a marca de fio no molde e o fio do tecido deve ser equivalente (FULCO; MENDES, 2018), conforme mostra a Figura 19.

Figura 19- Metodologia de encaixe



Fonte: Fischer, 2010.

Conforme explanado, para executar o encaixe dos moldes existe uma metodologia que determina padrões para o posicionamento dos moldes a fim de garantir a qualidade final da veste, porém, esta metodologia corrobora para a formação de lacunas entre os moldes (FISCHER, 2010) e desafia o profissional do corte a conciliar o encaixe dos moldes dentro das diretrizes da metodologia, para elevar ao máximo a lucratividade por meio do aproveitamento de tecido e a redução do desperdício.

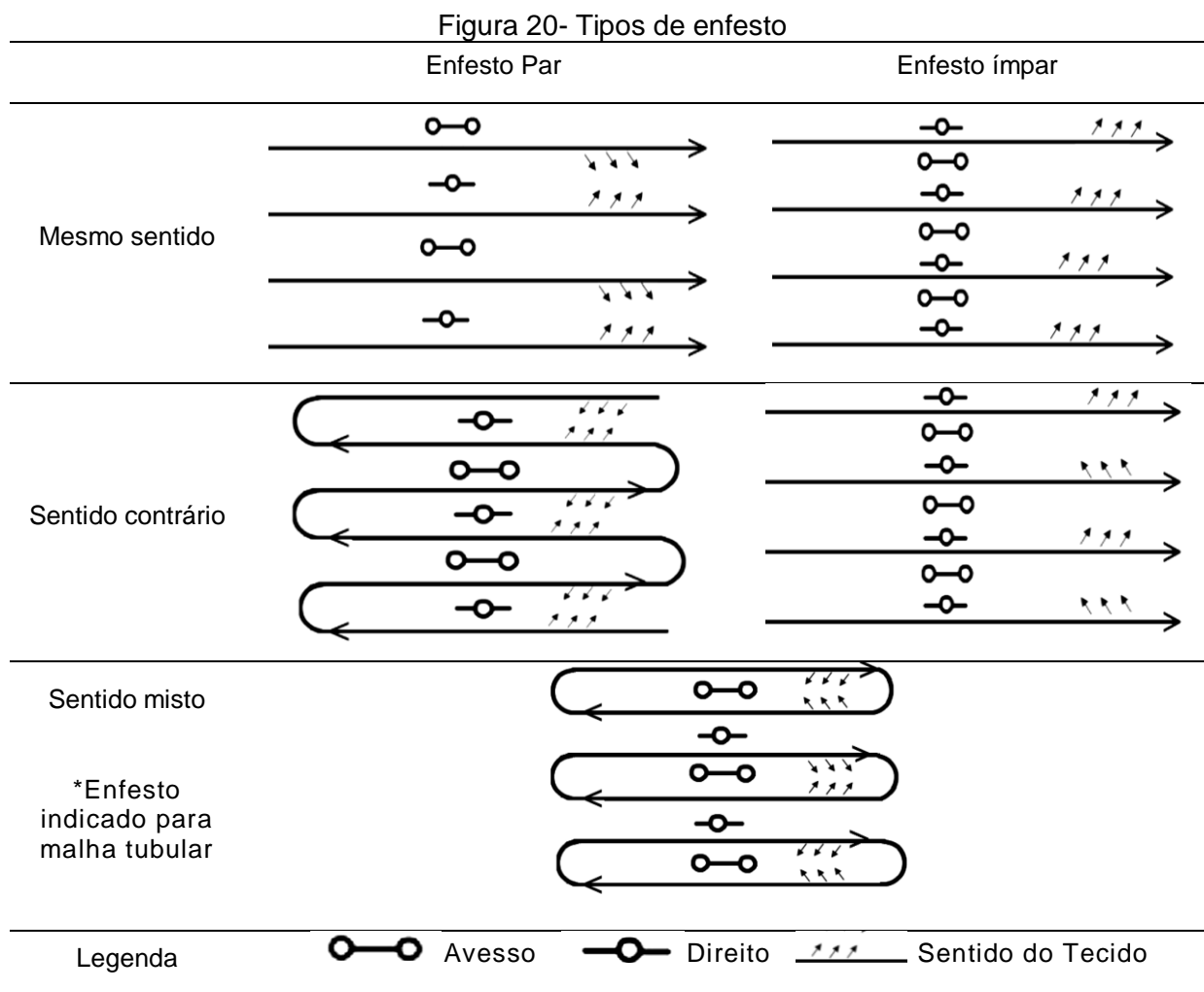
Diante da complexidade em estruturar o mapa de risco manual, empresas em tecnologia têm desenvolvido softwares capazes de arquitetar a melhor formatação do mapa de risco de maneira quase instantânea, a partir dos moldes criados e arquivados no sistema CAD de modelagem (ARAÚJO, 1996).

Após a estruturação do encaixe, o mapa de risco no sistema CAD pode ser impresso em miniatura para orientar as posições dos moldes a serem posicionadas sobre o enfiesto manualmente, ou, ser enviado diretamente para o sistema de corte automatizado (CAM) ou ainda, ser impresso em papel por plotter específico para que a folha de papel seja posicionada sobre o enfiesto (ARAÚJO, 1996).

Dentre as tecnologias de automação, o sistema automatizado de encaixe, juntamente com a plotter, vem sendo os recursos mais utilizados pelas indústrias de confecção do vestuário devido ao custo benefício que o sistema oferece, pois, o valor do investimento inicial pode ser recuperado com a ampliação produtividade, otimização da mão de obra e melhor aproveitamento de tecido no processo de encaixe. Segundo Lobo, Limeira e Marques (2014b) o aproveitamento de tecido no sistema de encaixe automatizado chega a média de 10% quando comparado ao encaixe manual. Esse valor torna-se mais expressivo ao considerar que o tecido representa 50% do custo final da veste. Ademais, este sistema reduz o tempo dedicado ao processo de encaixe, dinamizando o processo produtivo para acompanhar os ciclos curtos e rápidos da moda *fast fashion*.

Sob a ótica ambiental, o encaixe automatizado assume parte da estratégia gerencial em reduzir a formação de resíduo na fonte, colaborando para a redução do impacto ambiental provocado pelo descarte de resíduos (TEIXEIRA, 2015). Mas, cabe esclarecer que tecidos com larguras diferentes podem comprometer a eficiência do CAD caso as camadas de tecidos sobrepostas no enfiesto sejam diferentes (ALMEIDA, 2014).

A técnica de enfesto consiste em estender o tecido em camadas sobrepostas na mesa de corte no comprimento determinado pelo mapa de risco. Segundo Araújo (1996), o tipo de enfesto é determinado pelas características do tecido (sentido e face direito/ avesso) e pelo tipo de simetria da modelagem (Figura 20).



Fonte: adaptado de Araújo (1996).

A face direita e avessa do tecido determina o modo como o tecido será estendido na posição vertical, neste caso, o enfesto pode ser par quando as faces do tecido forem sobrepostas para lado opostos (direito com direito), já no enfesto ímpar a mesma face é segmentada para um único sentido (direito com avesso). Com relação ao sentido do tecido, o enfesto pode ser realizado em sentido único, quando os tecidos possuírem restrições (tecidos com sentido ou pé) ou em sentidos contrários (ARAÚJO, 1996).

Diante do exposto, o encaixe dos moldes é definido pelo tipo de modelagem, tipo de enfesto e características do tecido conforme apresentado no Quadro 1. (LOBO, LIMEIRA; MARQUES, 2014b).

Quadro 1– Possíveis combinações de encaixe

Tipo de Molde	Tipo de Encaixe	Tipo de Enfesto	Tipo de tecido
Simétrico	Par	Par	Sem sentido
	Ímpar	Ímpar	
	Par e ímpar		
Assimétrico	Par	Ímpar	Com sentido

Fonte: adaptado de Lobo, Limeira e Marques (2014b).

Todavia, alguns cuidados são importantes ao executar o enfesto, dentre eles, Lobo, Limeira e Marques (2014b) orientam a não estirar excessivamente ou deixar o tecido enrugado, realizar o alinhamento das ourelas, controlar o desperdício de tecido nas extremidades, desenrolar e reservar o tecido de malha horas antes do enfesto, marcar defeitos e separar as diferentes tonalidades de cor do tecido e calcular corretamente o número de folhas enfestadas, sobre a quantidade de peças riscadas.

Segundo a metodologia proposta, tecidos com cores antagônicas devem ser cortados separadamente para evitar manchas ou sujeiras provocadas pelo pó do tecido no processo de corte, enquanto que, tecidos com cores similares podem ser intercalados ou separados com folhas de papel para garantir que as partes da mesma camada de tecido sejam unidas no processo de montagem (este último processo também é recomendado para tecidos de mesma cor com tonalidades distintas) (FULCO; MENDES, 2018). A separação dos tecidos no enfesto, evita a mistura de tecidos com diferentes tonalidades em uma mesma veste e contribui para qualidade do produto final (FULCO; MENDES, 2018). Por outro lado, dificulta o processo de separação das aparas de tecido segundo a cor e o tipo de fibra para fins de reciclagem (CARVALHO, 2016).

A técnica de estiramento do tecido em camadas sobrepostas pode ser conduzida de forma manual, mecânica ou automatizada. No enfesto manual, o tecido é puxado folha a folha por dois operadores, o enfestador e o auxiliar (Figura 21). No enfesto mecânico, a enfestadeira (suporte do rolo de tecido móvel) transporta o rolo de tecido de um lado para o outro ao longo da mesa de corte, assim, o tecido é desenrolado e sobreposto simultaneamente, no entanto, ainda requer de dois operadores. Já no enfesto elétrico ou automatizado, o processo é

realizado com auxílio de software especializado que conduz a enfestadeira automaticamente sobre a mesa, desenrolando e estendendo o tecido simultaneamente conforme determinado pelo operador que acompanha o processo somente para controle de qualidade (LOBO, LIMEIRA; MARQUES, 2014b; Araújo,1996)

Figura 21- Enfesto manual



Fonte: Autora, 2019.

Segundo a metodologia utilizada, um enfesto pode ser realizado com tecidos de tonalidades, cores, gramatura, trama e composições distintas, e para separá-los, é comum utilizar folhas de papel entre a camada de tecido e outro. Entretanto, o uso de tecidos com larguras distintas pode comprometer toda economia de tecido proposta pelo sistema CAD-CAM, pois o mapa de corte é criado dentro de uma determinada área, geralmente orientada pelo tecido com menor largura (ALMEIDA, 2014), assim, os tecidos com larguras maiores não são contemplados pelo sistema CAD.

A atividade do corte é a concretização da primeira fase do processo produtivo, e consiste em cortar o tecido, seguindo o desenho dos moldes feito no risco de corte, com auxílio de máquinas específicas ou tesoura. Em um layout industrial, os cortes separam blocos de tecidos, por isso, o tamanho da máquina de corte é determinado pela altura do enfesto (FULCO; MENDES, 2018).

Segundo Araújo (1996) há duas categorias de máquina de corte: manuais e automatizada. Dentre as máquinas manuais, existem as máquinas móveis, que são

empurradas pelo cortador sobre o enfiesto para separar as partes da modelagem, e as fixas, onde o enfiesto é levado até sua faca ou guilhotina para que as partes da modelagem sejam separadas. Na categoria de máquinas de corte manuais e móveis estão: a tesoura indicada para cortes com no máximo duas folhas de enfiesto; a máquina de corte com lâmina circular indicada para enfiesto de menor altura e com pouca incidência de curva; e a máquina de corte com faca vertical, que possibilita precisão no corte da primeira à última folha no enfiesto, além de permitir a troca de lâmina conforme o tipo de material enfiestado para suavizar o intenso atrito da lâmina com o tecido no momento do corte (LOBO; LIMEIRA; MARQUES, 2014b).

Com relação às máquinas de corte manuais e fixas, Araújo (1996), apresenta a máquina Serra Fita, que perpetra um corte preciso para peças com detalhes pequenos, como por exemplo, peças de lingerie, e a prensa cortante, compostas por formas no formato do molde que atuam como guilhotina cortando blocos de moldes no tecido a uma força de 120 toneladas.

Já a máquina de corte automatizada, é composta por recursos tecnológicos que além de evitar a movimentação do enfiesto possui facas com lâminas finas ou laser de corte, que deslizam sobre o enfiesto controlado por softwares específicos. Este equipamento, também é denominado de manufatura assistida por computador (CAM), recebe as informações do mapa de corte criadas no sistema CAD encaixe e realiza o processo de corte conforme determinado automaticamente, dessa forma, completa o sistema de automação industrial direcionado a indústria de confecção.

Contudo, é uma tecnologia desenvolvida para elevar a capacidade produtiva da empresa, por isso, tende a ser viável a empresas com: disponibilidade financeira para o investimento inicial; espaço disponível no layout para instalação do maquinário e capacidade produtiva elevada, capaz de evitar que a máquina fique ociosa, caso contrário, o retorno financeiro não justifica a compra. Por isso, a aquisição do sistema CAM é mais comum em empresas de grande porte, com grande rotatividade produtiva (TEIXEIRA, 2015). Todavia, independente da tecnologia utilizada no corte dos tecidos, seu principal objetivo é separar as partes do tecido, seguindo os traços no risco de corte.

Após o corte, todos os blocos de tecido, correspondentes a cada parte da modelagem são devidamente identificados, etiquetados e separados conforme o modelo, tamanho, cor e tonalidade do tecido para prosseguir ao processo de montagem (FULCO; MENDES, 2018). Já os blocos de tecidos correspondentes as

partes negativas no mapa de corte (retalhos/ aparas) são armazenados em sacos para serem descartados, doados ou destinados a processos de reciclagem.

Dentre os processos produtivos da indústria confeccionista, o setor de corte é rotulado como o mais impactante ao meio ambiente devido ao descarte das aparas de tecido do corte, apesar da indústria confeccionista não ser tão poluente quanto a indústria têxtil.

A etiquetagem encerra a primeira etapa do processo produtivo, no último estágio no processo de corte, ao mesmo tempo, orienta todo processo de montagem através da identificação das partes, assim, a etiquetagem é o vínculo informativo entre o processo de corte e o de montagem, além da ficha técnica que acompanha o modelo desde o processo criativo. Por este motivo, parte da qualidade do produto final, pode ser atribuída a etiquetagem no processo de corte (ARAÚJO, 1996).

3.4.4 Processo de Montagem

O principal objetivo no processo de montagem é unir as partes da modelagem (cortadas no tecido) com auxílio de máquinas de costura para construir vestimentas. Para isso, diversas técnicas e tecnologias de costura são utilizadas para realizar diferentes atividades, que mudam a cada modelo produzido. Essa inconstância produtiva exige que os colaboradores deste setor tenham conhecimentos multivariados para desenvolver diversas tarefas em vários equipamentos, ou, exige grande concentração de mão de obra, para que cada colaborador execute uma tarefa específica, através da divisão de tarefas.

Segundo, Nogueira (2010) processo de montagem concentra o maior contingente de colaboradores apesar da evolução tecnológica atribuída a máquina de costura, pois trata-se de um trabalho mecânico, repetitivo e fragmentado que exige operações individuais de seus colaboradores. O processo de costura está atrelado a sensibilidade manual de cada operador ou costureiro para conduzir tecidos de diferentes texturas, tramas e gramaturas. Além do mais, as formas da modelagem, exige que o costureiro adote posturas diferenciadas para manusear o tecido no decorrer de uma mesma costura (ARAÚJO, 1996).

Diante do exposto, nota-se que a automação industrial no setor de montagem contribuiu para o aumento de produtividade, mas não foi suficiente para substituir a sensibilidade manual do operador ao conduzir o tecido sobre a máquina de costura.

Por este motivo, o volume de colaboradores no processo de montagem, é responsável pela maior carga trabalhista desta indústria, e para evitar esta despesa, muitas indústrias de confecção optam pela sua terceirização (RECH, 2006)

A terceirização não é uma estratégia gerencial contemporânea, segundo Hobsbawm (2014), essa tática foi utilizada no início da manufatura têxtil, com a contratação de artesãos que possuíam teares em suas residências para produção de tecidos e eram remunerados conforme a produtividade.

Neste período, o motivo da terceirização era pela a falta de mão de obra especializada associada a falta de equipamentos nos jovens centros industriais capaz de suprir a alta demanda de produtos. Atualmente, o processo de terceirização acontece, frequentemente, na indústria de confecção do vestuário. Diversas atividades são terceirizadas do intuito de elevar a produtividade e reduzir custos operacionais e encargos trabalhistas, dentre elas, as atividades relacionadas ao processo de montagem (RECH, 2006).

Nogueira (2010), explica que a terceirização no processo de montagem da indústria de confecção é uma estratégia administrativa que permite a produção de diversos modelos simultaneamente, além de reduzir encargos trabalhistas. Por outro lado, fomenta o empreendedorismo e o trabalho autônomo (muitas vezes sem nenhum registro), uma vez que o processo de aprendizagem nesta área acontece pela observação/repetição e não exige formação específica. Além disso, o baixo investimento inicial para aquisição de maquinários e a flexibilidade de tempo são atrativos que contribuem para que a atividade de costura seja realizada em espaço doméstico (SILVA, 2017). De qualquer forma, o processo de montagem seja ele descentralizado ou não, concretiza toda a ideia abstrata de uma veste.

3.4.5 Acabamento e Expedição

O processo de acabamento é o último estágio do processo produtivo, tem por objetivo lapidar o produto para enaltecer sua beleza. Para isso, extrai da veste todos os excessos indesejáveis como pontas de linha e tecidos, aplicam etiquetas, botões e outros detalhes, realiza processos de estamparia, passa, dobra e embala e encaminha a peça ao setor de estoque ou expedição (GOULARTI FILHO; JENOVEVA, 1997). No decorrer deste processo, toda a veste é inspecionada para fins de controle de qualidade, o qual envolve desde defeitos em tecidos até a

qualidade na execução das costuras e acabamentos finais como estamparia, bordados etc.

3.4.6 Revolução Tecnológica na Indústria de Confecção do Vestuário

Todas as transformações na cadeia produtiva da moda foram provocadas pelas mudanças sociais e econômicas externadas nos anseios do consumidor. O início do século XX foi marcado pela revolução industrial: desenvolvimentos de máquinas e de sistemas de gestão da produção, ascensão da classe média e proletariada, crescimento do consumo e da produção em série.

No entanto, nos anos seguintes a refração no consumo e a saturação do mercado induziu a reorganização produtiva do setor para ofertar maior variedade de produtos em menor quantidade, (FRINGS, 2012) com ciclos de vida curtos e rápidos (RECH, 2006). Algumas empresas foram fechadas, outras foram fundidas e outras passaram a buscar estratégias gerenciais usando novas tecnologias de automação e informação para acelerar o processo produtivo, reduzir os custos e promover o produto por meio dos meios de comunicação (rádio, televisão, revistas, jornais, internet, folder).

Nesta conjuntura, a indústria de confecção foi fragmentada, e alguns setores foram exportados para países com mão de obra barata e monoativa (FRINGS, 2012) num processo de globalização. Assim, a busca por competitividade na indústria de confecção atingiu a mais recente instância da evolução: a automação industrial, caracterizada por ágeis máquinas de costura eletrônicas (10000 p.m.) de pontos programáveis e corte de linha automático, pelo sistema de produção unitário (UPS) que utiliza dispositivos para transportar automaticamente partes ou peças do vestuário de uma estação de trabalho a outra, evitando movimentações desnecessárias do operador de máquina, e pelo sistema automatizado direcionado ao processo de criação, modelagem e corte (ARAÚJO, 1996).

Goularti Filho e Jenoveva (2007) descreveram a evolução das máquinas de costura em cinco gerações, mas ressaltaram que a automação industrial esbarra na substituição da mão de obra devido as habilidades manuais cujo sistema não consegue representar. Além do mais, a diversidade de modelos e tecidos, exige uma postura diferente do operador ao manusear o tecido a cada ciclo produtivo, e

inviabiliza a construção e aquisição de maquinários específicos para cada etapa da construção do vestuário.

Por este motivo, a indústria do vestuário investiu em inovações gerenciais para reduzir estoques e ajustar a produção com a demanda de produtos, por meio da filosofia de *just in time* que defende a produção de vários modelos em menor quantidade. Essa filosofia corrobora com o sistema produtivo *fast fashion* identificado pela estratégia de mercado, que incide na alta frequência de coleções para ampliar o alcance ao mercado consumidor composto por clientes com preferências distintas e inconstantes (BRUNO, 2016).

A automação no processo de montagem é caracterizada por inovações em dispositivos nas máquinas de costura (2ª e 3ª geração) e acessórios que auxiliam a potencializar a qualidade e a produtividade (GOULARTI FILHO; JENOVEVA, 2007), associada a mão de obra multifuncional que possibilita maior flexibilidade no uso de máquinas e equipamentos para produzir modelos distintos (BRUNO, 2016). Entretanto, o sistema de automação na indústria de confecção obteve maior êxito nos setores de criação, modelagem e corte, onde, a tecnologia foi capaz de adequar-se a variabilidade de modelos e tecidos, e ainda cumprir com seu objetivo de reduzir custos operacionais através do: melhor aproveitamento de matéria prima; redução do uso de mão de obra e de energia, potencialização da capacidade produtiva e intensificação sobre o controle de processos.

Para Goularti Filho e Jenoveva (1997), a automação industrial na indústria de confecção do vestuário, vem sendo implantada desde períodos anteriores a 1970, contudo, apresenta esta data como um marco para a implantação do sistema Computer Aided Design- Computer Aided Manufacturing (CAD-CAM) utilizado no processo de corte. Segundo Araújo (1996), esta tecnologia foi introduzida pela empresa Gerber Garment Technology, porém, o domínio público da tecnologia ocorreu após 1986 com o término de sua patente. Desde então, diversas empresas têm investido e ampliado ferramentas do sistema CAD-CAM para ofertar produtividade com lucratividade por meio da otimização de recursos, a processo a preços compatíveis com a estrutura das indústrias de confecção do vestuário. Assim, este sistema se tornou ferramenta fundamental para a construção de modelos, moldes, grades de numeração, mapas de risco para corte e corte computadorizado (LIMEIRA, LOBO; MARQUES, 2014b; FRINGS, 2012; ARAÚJO, 1996).

O sistema CAD é uma tecnologia de informação interativa que auxilia a maioria das atividades do design, gravando todos os dados do produto em uma plataforma para consultas virtuais. Seu papel é fornecer precisão e representação gráfica (desenho/ moldes) facilmente modificável, possibilitando a visualização e possíveis correções antes mesmo do produto ser confeccionado. Já o sistema CAM atua de forma integrada ao sistema CAD e está associado a execução do processo computadorizado de mapeamento de moldes, enfiado e corte de tecidos (LIMEIRA, LOBO; MARQUES, 2014b). Assim, o uso integrado destes sistemas pode aumentar a produtividade e o controle sobre os processos, reduzir os custos operacionais (mão de obra e energia), otimizar o uso de matéria prima em até 10% e reduzir o volume de resíduos gerados, se comparado com o sistema manual (Araújo, 1996).

Paralelamente, a exploração dos recursos tecnológicos de modo está atrelada a capacitação de profissional (TEIXEIRA, 2015). A proposta da automação industrial é reduzir o uso de mão de obra, Araújo (1996) chega a dizer que a tecnologia facilita a contratação de pessoas com pouca habilidade manual ou conhecimento, porque a tecnologia facilita o treinamento dos contratados, no entanto, Rech (2006), Teixeira (2015) e Corso; Casagrande; Santos (2016) defendem que a exploração dos recursos tecnológicos está atrelada aos conhecimentos multivariados do profissional, ou seja, o profissional precisa conhecer sobre tecidos, modelagem, sistemas de corte, montagem, acabamentos e sobre informática para dominar e explorar todo o sistema automatizado.

Bruno (2016) expõe uma nova revolução no sistema produtivo da confecção, caracterizado pelo uso de tecnologias e pela racionalização sistemática dos processos que recruta profissionais versáteis, proativos e preparados para utilizar maquinários de alta tecnologia no desenvolvimento das atividades. Segundo autor, toda revolução é fruto de reações mercadológicas do consumidor, antes submerso em fatores socioeconômicos favoráveis ao consumo e que devido a alterações políticas, sociais, ambientais e econômicas, foram pressionados pela conjuntura, a racionalizar hábitos de consumo (BRUNO, 2016).

Essa mudança de paradigma levou a indústria de produção em massa ao mercado *fast fashion* que, atualmente, caminha para o *slow fashion*, ou seja, tem elevado gradativamente o quantitativo de consumidores a repensar seus hábitos de compra e a observar não só a qualidade do produto em si, mas também o contexto social e ambiental inclusos no processo produtivo dos mesmos. Por este motivo,

crece o contingente de indústrias de confecção que repensam sua estratégia competitiva estruturada na produção de massa e no intenso uso de mão de obra para incluir tecnologias de automação no processo produtivo a fim de enxugar recursos e processos (BRUNO, 2016).

Denominada de “Indústria 4.0” a nova revolução industrial, prevista para atingir o ápice em 2030, transcende a dinâmica produtiva atual e defende o uso de sistemas ciberfísicos, autônomos, integrados e robotizados para aproximar fisicamente empresas e consumidor. O novo modelo defende o empreendimento de minifábricas dotadas de automação com inteligência artificial, capaz de produzir para o mercado de massa, produtos individualizados em questão de minutos. Este cenário industrial exigirá profissionais qualificados e portanto, valorizados pelos conhecimentos multivariados.

Nesta lógica industrial, a criação de produtos, virtualizada, eliminará todo desperdício de resíduo associado ao processo de desenvolvimento de produto e o atendimento individualizado reduzirá a necessidade de estoques, o consumo de matéria prima e recursos energéticos, contribuindo para a sustentabilidade ambiental do setor (BRUNO, 2016). A revolução tecnológica apresentada expõe contextos inovadores que já vem sendo incluídos no sistema produtivo e reafirma a tendência de individualidade efêmera de estilos do consumidor, contudo sua a implantação, na íntegra, depende de fatores como a capacidade de investimentos e a capacidade de operacionalização do sistema, tendo como obstáculo a dificuldade evolutiva registrada pelo setor desde os primórdios.

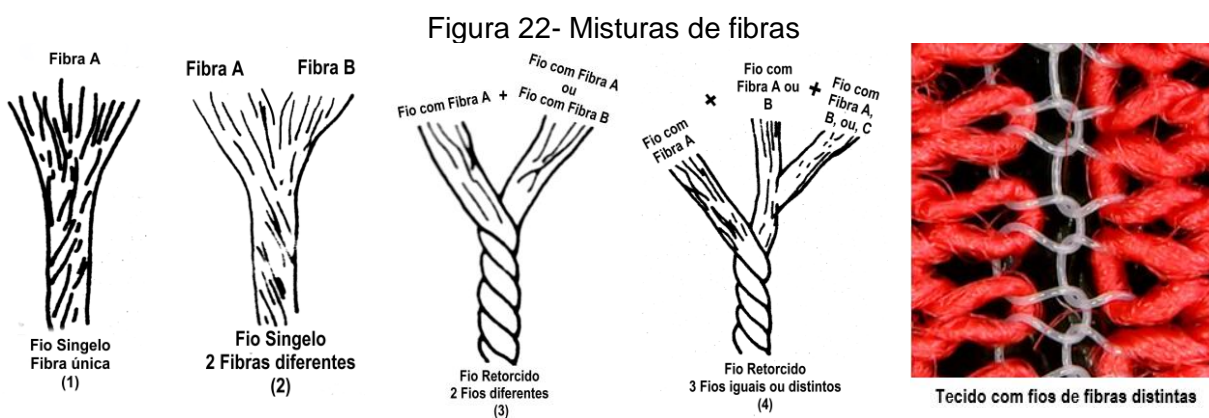
3.5 O RESÍDUO TÊXTIL DA INDÚSTRIA DE CONFECÇÃO

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), configurada na Lei nº 12305 de 2 de agosto de 2010 e regulamentada pelo decreto 7404 de 23 e dezembro de 2010 defini resíduos sólidos no seu Art.3º inciso XVI como:

(...) material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010 p.2).

Neste contexto, os resíduos têxteis podem ser definidos como todo descarte de material sólido constituído a partir de fibras têxteis, podendo ocorrer ao longo de todo processo fabril ou após o uso. Os resíduos têxteis descartados representam a perda de milhões de toneladas de recursos naturais, empregados na construção do tecido e carregam na sua essência todas as substâncias químicas usadas em sua manufatura.

A maior problemática dos resíduos têxteis está associada a mistura de fibras. Segundo Ribeiro (1984), cada fibra possui um conjunto de características únicas. Na indústria têxtil, a mistura de fibras pode ocorrer durante o processo de preparação das fibras, fiação ou tecelagem (Figura 22). A combinação entre elas potencializa o grau de fiabilidade ou tecelagem, reduz custos, eleva a qualidade do tecido para atender uma demanda específica do mercado (ERHARDT et al, 1975b).



Fonte: Adaptado de Ribeiro, 1984.

Na indústria de confecção, a mistura de fibras pode acontecer no processo de enfesto/corte, onde são usados vários tecidos com composições distintas para compor um único enfesto, ou, na própria construção do vestuário, cujas partes da veste são constituídas por diferentes tecidos (TEIXEIRA, 2015). Neste contexto, EMF (2017) chama atenção para grande variedade de composições químicas envolvidas na construção dos tecidos. Segundo a Fundação, a manufatura têxtil está fundamentada em 78 materiais base, dos quais, é possível fazer 241 processos distintos e criar mais de 165.000 combinações diferentes de materiais. Para Sandin e Peters (2018), as inovações tecnológicas no setor de recuperação de resíduos têxteis ainda são modestas, frente a tantas misturas químicas.

Szostak-Kotowa (2004), explica que independentemente do tipo de fibra, todas contêm intrinsicamente resquícios de substâncias químicas, que sob a ação de

degradação podem percolar pelo solo, contaminar o lençol freático e contribuir com a formação de CO₂. Além disso, as condições ambientais (aeróbica ou anaeróbica) de degradação, o tipo de fio, trama e/ou gramatura, somada a adição de substâncias químicas aplicadas durante a manufatura do tecido pode acelerar ou retardar o processo de degradação (LI; FREY; BROWNING, 2010).

Com relação a composição dos tecidos, a decomposição das fibras naturais e artificiais é rápida se comparada às fibras sintéticas, mas pode ser prolongada quando: há aplicações de resinas químicas no tecido durante o processo de beneficiamento (LI; FREY; BROWNING, 2010); quando submetidos a ambientes com baixos níveis de oxigênio (SZOSTAK-KOTOWA, 2004) ou quando misturadas a fibras sintéticas, cujas propriedades químicas levam mais de 200 anos a se decompor (EMF, 2017). Aqui, cabe ressaltar que a maior parte dos resíduos descartados é proveniente de fibra sintética, seja no seu estado puro ou, associado com fibras naturais e ou artificiais (FLETCHER; GROSE, 2012).

Dessa forma, o descarte de resíduos têxteis contribui para a redução da vida útil de aterros função da presença de fibras sintéticas, prolonga a contaminação do solo por lixiviados gerados no processo (lento) de degradação das fibras naturais e artificiais (SWEDISH CHEMICALS AGENCY (KEMI), 2014), impossibilita qualquer tipo de recuperação das matérias primas usadas na fabricação do vestuário e impede qualquer retorno financeiro ou social (WANG, 2006; MCDONOUGH e BRAUNGART, 2013; QUANTIS, 2018) as unidades fabris.

Para além do processo industrial, o uso do vestuário pelo consumidor implica nos maiores impactos associados aos processos de higienização (lavar, secar e passar), através da liberação de substâncias tóxicas por produtos de limpeza (sabão, alvejantes e amaciantes) e micropartículas que se desprendem durante o processo de lavagem e chegam os afluentes e oceanos sem devido tratamento, interferem na qualidade da água e na vida aquática (SILLANPÄÄ; SAINIO, 2017). O impacto se torna ainda maior ao considerar o tipo de matriz energética utilizada no processo.

Em termos de resíduo sólido, o maior impacto do vestuário acontece após o uso. O aumento da população, juntamente com seu poder de compra, desencadeou uma cultura consumista, que foi impulsionada pelo sistema *fast fashion*, que usa o obsolescência programada das vestes para impulsionar as vendas. Neste contexto,

a vida útil dos produtos é reduzida, e os índices de descarte são elevados de forma drástica, pressionando o meio ambiente e os recursos naturais.

Segundo a GFA e BCG (2017) o período médio de utilização de vestuário reduziu em 36% em comparação com 15 anos atrás, ora impulsionada pela inovação de modelos e tendências, ora pela má qualidade dos produtos. Segundo a fundação, atualmente são descartados aproximadamente 96 milhões de toneladas de resíduos têxteis por ano. Uma média global de 17,5 kg per capita por ano, onde apenas 20% são coletados para reutilização ou reciclagem. O restante segue para aterros, lixões ou incineradores sem nenhum tratamento prévio.

Segundo a EMF (2017), 73% dos resíduos têxteis são compostos por peças descartadas após o consumo, 2% por peças de vestuário que não foram comercializadas e 10% são perdidos no processo fabril de confecção. Assim, pode-se dizer que os resíduos gerados no processo produtivo da indústria de confecção chegam a 9,6 milhões de toneladas. No Brasil, somente os resíduos têxteis gerados no setor de corte das confecções, somaram 175 mil toneladas em 2011 sendo que, 36 mil toneladas foram recicladas ou reaproveitadas (SINDITEXTIL, 2012), porém, Pereira (2017) estima que a geração de resíduo têxtil no Brasil foi de 433,2 mil toneladas em 2014.

De acordo com os autores citados no Quadro 2, a média de desperdício varia de 15% e 30% do tecido por peça produzida. Esta diferença é atribuída ao tipo de modelo produzido que define as formas da modelagem, a qualidade do tecido, as tecnologias utilizadas e ao nível de conhecimento dos profissionais envolvidos no processo produtivo até o setor de corte (TEIXEIRA 2015, CARVALHO 2016, AMARAL 2016).

Quadro 2- Média de desperdício no processo de corte da indústria de confecção

Autores	Local da Pesquisa	Volume de desperdício
Lopes (2013)	Petrópolis, Brasil	30%
Teixeira (2015)	Passos, Brasil	18, 77%
Milan, Vittorazzi e Reis (2010)	Serra Gaúcha, Brasil	22%
Ferreira et al.(2015)	Porto Alegre, Brasil	19,57%
Firno (2014)	Gramado, Brasil	15%

Fonte: Autora, 2019.

No estudo conduzido por Milan, Votorazzi e Reis (2010) o desperdício foi de 4.932 Kg/mês (22%) para uma produção de 22.000 peças (média de 224.18 g/peça). Resultado semelhante também foi encontrado na pesquisa conduzida por Teixeira

(2015) que apontou um desperdício de 38.573,17 kg (18,77%) para produzir 188.746 peças do vestuário, uma média de 204,37 g/peça produzida. Já Ferreira et al. (2015) apontaram que para produzir 500 camisetas de malha foram gerados 15,695 kg de resíduo (19,57%), o equivalente a 31,39 g/peça, enquanto que Perez e Martins (2013) observaram um desperdício 20% (33,36 g/peça produzida).

A discrepância entre os dados obtidos nos estudos acima é justificada pela variação de modelos e tipo tecidos utilizados para produzir vestuários. Entretanto, a variação de dados possibilita com maior precisão realizar uma estimativa de desperdício por peça produzida.

Dados da Abit (2018) apontam que Brasil produziu 1,3 milhões de toneladas de tecidos (T_p), exportou 31.313 t. (T_{ex}) e importou 285.383 t. (T_i), e os dados apresentados pelos no Quadro 2 mostram que a média de desperdício no setor de corte das indústrias de confecção do vestuário pode ser compreendida em 21,07% (Y) e o volume de Resíduo Têxtil (R_t) gerado pelas indústrias de confecção do vestuário no Brasil no ano de 2018 foi estimada em 326.354,7 toneladas conforme mostra a Equação 1.

A discrepância entre os dados atuais e o valor apresentado por (SINDITEXTIL, 2012) e Pereira (2017) tem estreita relação com a sazonalidade produtiva.

$$R_t = \frac{(T_p - T_{ex} + T_i) * Y}{100} \quad (1)$$

Onde:

R_t Resíduo têxtil (t);

T_p Volume de tecido produzido no Brasil (t);

T_{ex} Volume de tecidos exportados do Brasil (t);

T_i Volume de tecidos Importados para o Brasil (t);

Y Média de desperdício de resíduo Têxtil no setor de confecção do vestuário Brasileiro.

Substituição:

$$R_t = \frac{(1.300.000 t - 31.313 t + 285.383 t) * 21,07}{100}$$

$$R_t = 326.354,7 t$$

O fato é que independente das metodologias utilizadas, a falta de mecanismos de controle sobre os resíduos têxteis gerados no ambiente produtivo das confecções do vestuário impede um diagnóstico preciso sobre o volume de resíduo têxtil gerado no Brasil pelas indústrias de confecção.

Parte desta responsabilidade pode ser atribuída às políticas públicas, direcionadas à cadeia confeccionista e ao comportamento das unidades produtivas

de confecção frente ao gerenciamento de seus resíduos. Dessa forma, é notório que o modelo linear de produção adotado na indústria da moda, não prevê a recuperação dos resíduos gerados ao final da cadeia produtiva por envolver grande diversidade de mistura de fibras associadas a substâncias químicas.

3.6 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL E O GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS TÊXTEIS NAS INDÚSTRIAS DO VESTUÁRIO

A manufatura têxtil acompanha a evolução humana desde os primórdios. Seus processos fabris foram palco para a revolução e desenvolvimento industrial, assim como expuseram diversos impactos de cunho social e ambiental, a princípio, construído em nome do progresso capitalista, e depois em nome da “moda”.

O primeiro alerta sobre o comportamento industrial exageradamente degradante veio ao final do século XIX quando Thomas Malthus pronunciou o desenvolvimento industrial como propulsor da morte humana. Depois dele, diversos escritores, muitos deles norte-americanos, reafirmavam em suas obras literárias, a preocupação com desenvolvimento industrial em prol do sistema capitalista (MCDONOUGH; BRAUNGART, 2013).

Mas, tais pensamentos só ganharam de fato atenção da sociedade industrial e civil, após o livro “Primavera Silenciosa” de Rachel Carson em 1962, o qual denunciou a indiferença da sociedade sobre o uso discriminado defensivo agrícola em lavouras de algodão, com fatos cientificamente comprovados (MCDONOUGH; BRAUNGART, 2013), e em 1971, o livro *Design for The Real World* de Victor Papanek chamou, pela primeira vez, a responsabilidade dos designers sobre a questão ambiental (GWILT, 2014).

A mudança de postura frente a revolução industrial e capitalista se tornaram mais intensas à medida que impactos ambientais foram sendo percebidos pela sociedade. Discussões entre ambientalistas, governantes e sociedade civil levaram representantes globais a reunir-se em diversos eventos, dentre eles, o “Clube de Roma” que aconteceu em 1972, na Itália, que discutiu o tema “Os limites do crescimento” conduzidos por estudos que apontavam para um colapso ambiental.

Neste mesmo ano, discussões conduzidas na Conferência das Nações Unidas sobre o Homem e o Meio Ambiente, em Estocolmo, Suécia registraram divergências entre o desenvolvimento econômico e preservação ambiental e sinalizou a

necessidade de mudanças em processos e tecnologias como ponto de equilíbrio entre desenvolvimento industrial e meio ambiente.

Desde então, discussões sobre as questões ambientais ganharam força e em 1987, foi divulgado o Relatório Brundtland, ou, Nosso Futuro Comum, que ressaltou os riscos do uso excessivo dos recursos naturais sem considerar a capacidade de suporte dos ecossistemas, e expôs pela primeira vez, o conceito de “desenvolvimento sustentável” apoiado nos pilares da viabilidade econômica, preservação ambiental e justiça social sob a premissa de atender às necessidades do presente, sem comprometer a evolução das gerações futuras.

No Brasil, a Lei 6938 de 31 de agosto de 1981 criou a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) com o objetivo “à compatibilização do desenvolvimento econômico-social com a preservação da qualidade do meio ambiente e do equilíbrio ecológico” através da criação de critérios sobre padrões de qualidade ambiental, uso e manejo dos recursos ambientais, incentivo a pesquisas voltadas ao desenvolvimento de tecnologias eco eficientes e atribuição ao agente poluidor/degradador, a responsabilidade de reparo sobre a sociedade e ao meio ambiente em caso de degradação (BRASIL, 1981).

Diante da nova conjuntura, em 1988 a Constituição da República Federativa Do Brasil dedicou o Art. 225 às questões ambientais afirmando a necessidade de defender e preservar para manter o meio ambiente ecologicamente equilibrado para as presentes e futuras gerações (CF, 1988), desde então, o meio ambiente passou a ser reconhecido como um bem, dotado de valor econômico e social, cuja proteção e preservação foram confiadas ao poder público e a toda a coletividade, tornando objeto de direito, passível das relações jurídicas (SOUZA, 2010), sujeita a lei de crime ambiental, atualmente configurada na Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998.

Em atenção a PNMA e a Constituição Federal, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), intitulada na Lei nº 12305 de 2 de agosto de 2010 e regulamentada pelo decreto 7404 de 23 de dezembro de 2010 reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações a ser adotada por todas as instâncias do poder público, sociedade jurídica e civil, visando à gestão integrada e o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010a).

No entendimento desta lei, resíduos sólidos são:

(...) material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (Art. 3, inciso XVI, Lei 12305/2010) (BRASIL, 2010b)

Os resíduos sólidos podem ser classificados quanto a sua origem em: resíduos domiciliares; resíduos de limpeza urbana; resíduos sólidos urbanos; resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços; resíduos dos serviços públicos de saneamento básico; resíduos industriais; resíduos de serviços de saúde; resíduos da construção civil; resíduos agrossilvopastoris; resíduos de serviços de transportes e resíduos de mineração (BRASIL, 2010b), e quanto ao grau de periculosidade fundamentado na Norma Brasileira (NBR) 10004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), 2004) que rotula os resíduos sólidos conforme o grau de risco à saúde pública e ao meio ambiente, segundo os tipos de matérias primas, insumos e processos utilizados.

Segundo o Art. 13, Parágrafo único da Lei 12305/2010, os resíduos têxteis são classificados como resíduos industriais Classe II, A010, não perigoso e por isso, podem ser equiparados aos resíduos sólidos urbanos em razão de sua natureza, (BRASIL, 2010b).

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA) (2011), os resíduos industriais podem ser considerados comuns quando equiparados aos resíduos municipais de limpeza urbana e por isso podem ser dispostos junto aos resíduos sólidos urbanos, mas, a PNRS não extingue a responsabilidade sobre os resíduos gerados a seu gerador, apenas divide com as instâncias estaduais e municipais a elaboração de diretrizes regulamentadoras.

A responsabilidade compartilhada, prevista no art. 23, inciso VI e IX da Constituição Federal (BRASIL, 1988) atribui a proteção do meio ambiente e o combate da poluição em qualquer de suas formas a união, estados e municípios. Assim como a Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997, faculta aos estados e municípios, a competência para definir os critérios de exigibilidade, detalhamento e complementação das atividades sujeitas ao licenciamento ambiental de atividades circunscritas ao seu limite territorial.

Da mesma forma, a alínea b, do inciso I, do artigo 20º da Lei 12305 /2010 prevê a elaboração do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) como

instrumento legislativo às instâncias inferiores com o objetivo de criar ferramentas adequadas conforme suas peculiaridades regionais de maneira mais restritiva (BRASIL,2010b). Segundo Jucá et al. (2014) a gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) provém de esferas maiores, estados ou Governo Federal, enquanto o PMGIRS refere-se a uma abrangência mais específica (local), ficando a cargo dos municípios. No âmbito estadual, o licenciamento ambiental e o gerenciamento dos resíduos relativos a cada empreendimento estão atrelados ao potencial poluidor/degradador, definido em pequeno, médio ou grande, segundo o porte, a localização e a intensidade dos impactos provocados no ar, água e solo.

Em conformidade a estes critérios, a indústria do vestuário é considerada atividade de baixo potencial poluidor/degradador e baixo impacto ambiental restrito ao local do empreendimento, por isso, fica sujeita ao licenciamento simplificado previsto no § 3º inciso IX do art.21º da Lei Federal 12305/2010, cuja responsabilidade legislativa e fiscal compete aos órgãos ambientais municipais que estabelecem critérios entre pequeno e grande gerador segundo a característica de cada município (BRASIL, 2010b).

No geral, os parâmetros são determinados em m³, kg ou litros de resíduos gerados conforme mostra o Quadro 3, mas, nem todos os municípios possuem o PGRS.

Quadro 3- Classificação de empreendimentos quanto ao volume de resíduo gerado

Município	Legislação	Classificação
Uberlândia	Lei nº 11.959, de 22 de setembro de 2014.	Pequeno >= 200 kg/dia Grande < 200 kg/dia
Distrito federal	Lei nº 5.610, de 16 de fevereiro de 2016.	Pequeno <= 120 litros/dia Grande > 120 litros/dia
Campo Grande	Decreto nº 13.653, de 26 de setembro de 2018.	Pequeno <= 120 litros/dia ou <= 50 kg/dia Grande > 120 litros/dia ou >= 50 kg dia
Santos	Lei Complementar nº 952, de 30 de dezembro de 2016.	Pequeno <= 200 litros/dia ou 120 kg/dia Grande > 200 litros/dia ou 120 kg/dia
Belo Horizonte	Decreto nº 16217 de 26 janeiro de 2016.	Pequeno <= 100 litros/dia Médio de 101 a 500 litros/dia Grande > 501 litros/dia
São Paulo	Lei nº 13478 de 30 de dezembro de 2002.	Pequeno <= 200 litros/dia Grande > 200 litros/dia

Fonte: Autora, 2019

Segundo Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE). (2017) dos 5.570 municípios brasileiros, 3.352 não possuem medidas ambientais efetivas a proteção do meio ambiente.

Quanto ao porte das empresas, a classificação segue aos parâmetros de receita bruta, conforme a Lei nº 11.638, de 28 de dezembro de 2007 e a Lei Complementar 123, de 14 de dezembro de 2006. Quanto ao tipo de setor (indústria e comércio e serviços), a classificação segue a Resolução Mercosul GMC nº 90/93. Quanto ao número empregados, a classificação segue a Resolução Mercosul GMC nº 59/98 e quanto ao potencial poluidor, a classificação é orientada pela Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997.

Dessa forma, percebe-se que a legislação ambiental trata o empreendimento na sua individualidade. Nestes termos, apesar da Lei 10.165, de 27 de dezembro de 2000, citar a indústria do vestuário no rol de atividades com potencial poluidor médio, o resíduo têxtil é classificado como de baixa periculosidade e a indústria de confecção do vestuário (sem processo de estamparia) apresenta baixo potencial poluidor de impacto local segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004).

Entretanto, as confecções, geralmente são organizadas geograficamente em uma mesma extensão territorial denominadas de polos produtivos ou APLs (ABIT, 2015). Segundo o MDIC (2018), em 2015 o Brasil possuía 677 APLs, representados por 59 setores, distribuídos por 2.175 municípios, sendo o setor de vestuário o terceiro setor de predominância com 64 APLs registradas em todo país

Formalmente, a cadeia produtiva da moda brasileira é constituída por 27,5 mil indústrias, sendo 90,18% delas, destinadas a atividade confeccionista (IEMI, 2018), onde, as indústrias de micro e pequeno porte correspondem a 97% (IEMI, 2016). Todavia, o setor confeccionista possui um grande número de indústrias informais atuantes em todo país (RECH, 2006), assim como há muitos polos produtivos de confecção que não constam nos registros do MDIC (2018).

Ao considerar o descarte individualizado de cada empresa confeccionista, de fato, o impacto pode ser irrelevante, mas em um polo confeccionista todos os resíduos têxteis de origem industrial são coletados e incorporados aos RSU e concentrados em aterros ou lixões. Essa postura potencializa os impactos gerados pelo descarte dos resíduos têxteis e reduz a vida útil dos aterros nos municípios (TEIXEIRA, 2015), principalmente ao considerar que 64,2% dos tecidos usados na confecção do vestuário são compostos por fibras de origem sintética (LEAZING, 2017) de difícil decomposição (EMF, 2017).

O cenário se torna ainda mais preocupante, quando a normativa NBR 10004 (ABNT 2004) afirma que os resíduos têxteis não são perigosos. Porém, os tecidos

são provenientes de processos físicos e químicos, cujas substâncias usadas são consideradas agressivas a saúde e ao meio ambiente segundo o programa Stichting Zdhc Foundation (2015), o regulamento REACH e a KEMI (2014) e a própria normativa NBR 10004 (ABNT 2004) em seu Anexo C.

Em confirmação aos dados apresentados acima, pesquisas recentes conduzidas por de Kant (2012) e Avagyan et al. (2014) diagnosticaram que os resíduos têxteis carregam, mesmo que em pequenas proporções, resquícios de substâncias químicas nocivas ao meio ambiente que podem ser liberadas em processo de degradação. No entanto a NBR 10004 (ABNT 2004), não cita nenhum teste referente a substâncias liberadas pelos resíduos em processo de degradação. Apenas observa o processo produtivo que deu origem ao produto e o perigo do resíduo quanto a sua inflamabilidade, toxicidade, corrosividade, reatividade e patogenicidade. Diante do exposto, os resíduos têxteis provenientes do setor de corte da indústria de confecção, se tornam preocupante por suas características químicas e seu volume concentrado em municípios confeccionistas.

Outro agravante sobre o resíduo têxtil da indústria de confecção está relacionado à sua mistura com outros resíduos. Segundo Carvalho (2016); Araújo e Fontana (2017), o processo produtivo do corte descarta diversos materiais provenientes das embalagens dos rolos de tecidos (tubos de plásticos ou papelão, embalagens plásticas (escura e transparente) e caixa de papelão) e materiais usados no decorrer do processo de corte (papel usado para separar folhas de tecido no enfiado, tubo interno de fita adesiva). O gerenciamento inadequado de resíduos é observado na maior parte das indústrias de confecção, que comungam de características organizacionais e culturais (REDMOND; WALKER; WANG, 2008).

De modo geral, o espaço do setor de corte é compartilhado com o setor de estoque de tecido. Em um mesmo ambiente, o tecido é recebido, conferido e desembalado, enfiado e cortado. Essas atividades geram resíduos de naturezas adversas, que são acomodados em lixeiras comuns junto ao refugo de tecidos por uma questão de praticidade. Da mesma forma, os papéis usados no entremeio do enfiado, e cortados junto com o tecido, são descartados junto com o resíduo têxtil (Figura 23).

Figura 23- Resíduo têxtil descartado pelo setor de corte



Fonte: Autora, 2019.

Araújo e Fontana (2017, p.116) afirmam que as empresas de confecção de “tratam todos os seus resíduos (domésticos e administrativos) da mesma forma que os resíduos industriais, fazendo por vezes, misturas, coletas e armazenamento em conjunto”. Essa é uma postura recorrente na maior parte das micro e pequenas confecções do vestuário que não dispõem de espaço físico e mão de obra disponível para executar a prévia separação e o armazenamento dos resíduos antes da disposição ambientalmente adequada (REDMOND; WALKER; WANG, 2008; SCHOTT, 2015).

Essa postura confronta a PNRS que trata o gerenciamento de resíduos sólidos conforme a ordem de prioridade (não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, onde a destinação ambientalmente adequada inclui a reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação e o aproveitamento energético (BRASIL, 2010b).

A PNRS baseia-se nos princípios da prevenção e a precaução, do poluidor-pagador e do protetor-recebedor, do desenvolvimento sustentável, da ecoeficiência, da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e do reconhecimento do resíduo sólido como bem econômico e de valor social, reutilizável e reciclável, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania e respeito às diversidades locais e regionais (BRASIL, 2010b). A efetividade desses princípios está diretamente relacionada a capacidade de gestão e gerenciamento dos RSU pelo poder público, iniciativa privada e pela atuação de cada cidadão que se compromete a separar seus resíduos (MONTEIRO et al., 2001).

Segundo Redmond; Walker; Wang (2008) “a implementação de estratégias de gestão ambiental pode desafiar a especialização gerencial do proprietário-gerente,

sua postura ética e sua capacidade de aplicar, monitorar e avaliar os resultados dessas práticas” (REDMOND; WALKER; WANG, 2008, p.2). Além do mais, a gestão de resíduos acontece por meio de normas, legislações e diretrizes que definem critérios para atingir determinados objetivos de forma macro, enquanto que o gerenciamento consiste no acompanhamento criterioso de todo o ciclo dos resíduos, partindo da geração até a disposição final.

Para Jucá et al. (2014), o gerenciamento é um “conjunto de ações técnico-operacionais que visam implementar, orientar, coordenar, controlar e fiscalizar os objetivos estabelecidos na gestão”. Assim, o desenvolvimento de tecnologias empregadas ao tratamento de resíduos está diretamente atrelado à constituição e execução das políticas públicas que são construídas conforme as particularidades de cada país (economia, cultura, demanda territorial, investimento tecnológico). Quanto mais intensas, coordenadas e aceitas forem, mais esforços serão percebidos para criar técnicas e tecnologias direcionadas à gestão de resíduos (SANTOS, 2017).

3.7 TECNOLOGIAS DE GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS TÊXTEIS

Monteiro et al. (2001), define tratamento de resíduos como sequências de procedimentos destinados a reduzir a quantidade ou o potencial poluidor dos resíduos sólidos afim transformá-los em inerte ou biologicamente estável.

A viabilidade para a implantação de tecnologias voltadas ao tratamento de resíduos depende do seu volume e gravimetria, do porte do município, da disponibilidade de investimento inicial para construção e aquisição de equipamento, da mão de obra disponível e da proximidade e acessibilidade com o mercado consumidor para venda dos produtos gerados (SANTOS, 2017).

Jucá et al. (2014) afirmam que o aterro sanitário é a tecnologia mais utilizada nos Estados Unidos e Europa, seguida da incineração e reciclagem. No Japão, prevalece a incineração seguida da reciclageme do aterro sanitário. No Brasil o aterro sanitário é a tecnologia de tratamento mais utilizada, seguida da reciclagem e incineração. Até o ano de 2018, a incineração no Brasil era incentivada para tratar apenas resíduos de serviço de saúde, mas, em 2019 foi publicada a Portaria Interministerial nº 274, de 30 de abril de 2019 que incentiva o uso da incineração de resíduos sólidos urbanos para fins de tratamento térmico e recuperação energética,

“desde que observe as alternativas prioritárias de não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos conforme estabelecido no caput e § 1º do art. 9º da Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010” (BRASIL, 2019 p.1). Além disso, a portaria inclui o tratamento por oxidação térmica e outros processos, tais como pirólise, gaseificação ou processos de plasma (BRASIL, 2019)

Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) (2017), 57,41% dos RSU são compostos por matéria orgânica (sobras de alimentos, alimentos deteriorados, lixo de banheiro), 16,49% de plástico, 13,16% de papel e papelão, 2,34% de vidro, 1,56% de material ferroso, 0,51% de alumínio, 0,46% de inertes e 8,1% de outros materiais (aqui incluídos os resíduos têxteis). O resíduo têxtil raramente é citado nos diagnósticos gravimétricos contidos nos PGRS (TEIXEIRA, 2015), o que dificulta a formação de dados estatísticos.

Oficialmente, impera o quantitativo de 175 mil t./ano vindo das indústrias de confecção do vestuário (SINDITEXTIL, 2012), mas Pereira (2017) acredita que este número pode chegar a 433,2 mil t./ ano e a estimativa desta pesquisa chegou a 326.354,7 t./ano.

No cenário internacional, Pipatti et al. (2006) afirmam que o descarte de resíduo têxtil varia entre 1 a 5,1% dos RSU mundiais, provenientes dos pós uso, da indústria têxtil e de confecção. Segundo GFA e BCG (2017) 96 milhões de toneladas de resíduos têxteis são descartadas todos os anos, cuja maior parte é composta por fibras sintéticas (LEAZING, 2017). Diante desta realidade, diversas tecnologias vêm sendo usadas e aprimoradas para tratar os resíduos sólidos. Jucá et al. (2014) citam quatro sistemas básicos de tratamento de resíduos: triagem; tratamento biológico; incineração e aterros sanitários.

Os empregos destas tecnologias podem ocorrer de forma isolada ou combinada. Todavia, as legislações aconselham o uso da forma combinada no intuito de preservar os recursos naturais com a reinserção dos materiais oriundos dos descartes na cadeia produtiva.

3.7.1 Triagem

O sistema de triagem é um processo físico que sucede a coleta seletiva e antecede o todos os outros tipos de tratamento químicos, físicos, mecânicos, térmicos ou biológicos. O principal objetivo da triagem é separar os resíduos

conforme sua composição para que os mesmos possam ser reinseridos em novas cadeias produtivas, através do reprocessamento dos resíduos em novas matérias primas, ou por meio da conversão de seu conteúdo energético (WANG, 2006)

O resíduo têxtil assume formas distintas e encontra-se misturado a outros produtos conforme o processo de manufatura. No caso da indústria têxtil, os resíduos geralmente são encontrados sujos com poeira decorrente dos processos de limpeza das fibras (UNIETHOS, 2013), já na indústria de confecção do vestuário, o maior volume de resíduos é formado na sala de corte e, devido as características produtivas e legislativas do setor, são misturados a todos os demais resíduos descartados no local como: plástico, papel, papelão e metal (SCHOTT, 2015).

Situação semelhante pode ser observada aos resíduos têxteis pós-uso que são compostos por peças do vestuário e possuem aviamentos de plástico, metal ou resina configurados em botões, zíper, fivelas, ilhós, lantejoulas, paetê dentre outros (WANG, 2006), por isso, a metodologia para separar o resíduo têxtil tende a ser diferente.

Segundo Jucá et al. (2014), o sistema da triagem depende do tipo e da diversidade dos materiais encontrados no resíduo coletado e pode ser desenvolvido de forma manual ou mecanizado. O sistema manual é recomendado quando há baixa geração de resíduos. Seus equipamentos consistem em mesas e silos, por isso, o investimento inicial e o custo com manutenção é baixo. Em contrapartida, o uso intensivo de mão de obra e os baixos índices de produtividade, oneram os custos operacionais e exige maior espaço para armazenamento pré-triagem (JUCÁ et al., 2014).

Já o sistema de triagem mecanizado é recomendado para médios e grandes volumes de resíduo. De modo geral, sua infraestrutura é destinada a acomodação de maquinários que variam conforme o volume de resíduo gerado a começar pela instalação de esteiras elétricas para separação com velocidades programadas, até a instalação de moengas e separadores magnéticos e veículos de grande porte. Com relação aos custos, à medida que aumenta a tecnologia instalada reduz o uso de mão de obra e os custos operacionais (JUCÁ et al., 2014).

No Brasil, o sistema de triagem de resíduos tem sido instalado em resposta a PNRS (SANTOS, 2017). No caso da indústria de vestuário, a triagem é realizada de forma manual devido a necessidade de contato com o tecido para reconhecer sua composição (WANG, 2006), e sua metodologia varia conforme a fonte geradora

(JUCÁ et al., 2014). Assim, a separação dos resíduos gerados pode ocorrer dentro de cada unidade produtiva, simultânea ao processo de corte ou em setor específico de gerenciamento e triagem dos resíduos (AMARAL, 2016). Neste último caso, os resíduos podem ser doados ou comercializados à recicladores para suprir parte dos custos no processo de triagem (WANG, 2006). Amaral (2016) afirma que o ideal é que a comercialização dos recicláveis cubra os custos operacionais e torne o processo de triagem autossustentável.

Outra forma para a triagem dos resíduos têxteis gerados na indústria de confecção é a maneira compartilhada entre empresas do setor e o poder público. Zanin e Mancini (2015) afirmam que a sustentabilidade de uma planta de triagem envolve além das instalações físicas, fatores sociais, econômicos, educacionais, ambientais e políticos. Neste sistema, os resíduos produzidos nas empresas de confecção seguem para um mesmo local, onde terceiros (associações de catadores, ONGs, ou empresa privada de reciclagem) são responsáveis pela triagem e comercialização dos resíduos (AMARAL, 2016). Esta é a estratégia mais adotada pelas indústrias de confecção que se propõem a gerenciar seus resíduos, pois a maior parte delas não possui espaço físico disponível para armazenar os resíduos pré e pós triagem (ARAUJO; FONTANA, 2017), não dispõe de recursos financeiros para investir no gerenciamento dos resíduos e não possui profissionais com conhecimento técnico para executar o processo de triagem (REDMOND; WALKER, 2008 e SCHOTT, 2015).

Santos (2017) afirma que a tecnologia empregada nas unidades de triagem possui falhas, ora operacionais, ora de infraestrutura (instalações físicas, equipamentos). Parte desta falha pode ser atribuída ao perfil dos trabalhadores ligados a coleta seletiva e a triagem de resíduos. São pessoas de baixa renda e escolaridade, em situação de vulnerabilidade, muitas vezes, rejeitados pelos padrões sociais do mercado de trabalho (ZANIN; MANCINI, 2015). Diante disso, há maior dificuldade em alinhar as metodologias operacionais direcionadas a separação de resíduos que promovam produtividade com qualidade, e por isso, grande parte das plantas de triagem no Brasil, não são autossustentáveis e dependem de financiamento público para manter suas atividades (JUCÁ et al., 2014).

Com relação aos resíduos têxteis “domésticos” ou pós uso, estes são receptados por ONGs, instituições de caridade ou empresas especializadas que separam as peças, manualmente, conforme seu grau de desgaste. As roupas em

condições de uso seguem para doação ou comercialização para serem reaproveitadas, as demais seguem para o processo de desconstrução, para retirada de todos os aviamentos não têxteis (WANG, 2006; AMARAL, 2016) e depois seguem para a reciclagem.

Independente da estratégia adotada, a triagem dos resíduos têxteis consiste em: separar os materiais fibrosos dos demais resíduos (plástico, papel, papelão, metal, etc.) e separar os resíduos têxteis conforme sua composição do tecido, visto que, os resíduos têxteis conseguem maior valor de mercado quando separados segundo a cor e tipo de fibra (AMARAL, 2016; CARVALHO, 2016).

3.7.2 Reciclagem

A PNRS define como reciclagem todo o processo de “transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos” (BRASIL, 2010b, art.3º, inciso XIV).

3.7.2.1 História da reciclagem de resíduo têxtil

A reciclagem de resíduo têxtil foi iniciada na cidade de Batley na Inglaterra por Benjamim Law, em 1813 (LEE, 2009). O processo industrial denominado “shoddy” (de má qualidade) misturava fibras de lã nova com fibra reciclada de panos velhos, para produção de tecidos de menor qualidade e valor.

O empreendimento foi um avanço importante na fabricação de tecidos de lã para a Inglaterra, pois incorporava resíduo quase inútil à fabricação e barateamento de tecidos, porém chegaram a ser vistos com desconfiança e aversão pelos consumidores burgueses. Contudo, a inovação possibilitou a exploração de novos mercados formados por pessoas de menor poder aquisitivo. A exportação dos produtos atendia aos EUA, Ásia e África (BLANCK, 2012).

Em 1834 George Parr, sobrinho de Benjamim Law, revolucionou o “shoddy”, e passou a produzir o “mongo”, um tecido mais fino, de melhor qualidade produzido a partir de fibras curtas de trapos de lã. Durante esta descoberta, foi identificado o primeiro problema de reciclagem provocado pela mistura de fibras, entre a linha de coser de algodão e o tecido de lã usado na confecção dos produtos, assim, foi

necessário recortar todas as costuras para aproveitar somente o tecido de lã. Este processo conseguiu aumentar a qualidade do produto reciclado (BLANCK, 2012).

No início do século XX, processos de reciclagem já eram realidade no setor têxtil. Em 1909, fábricas americanas que adotaram o processo de reciclagem do tecido shoddy, somavam 88 estabelecimentos (BLANCK, 2012). Pêlo de cavalo era usado em enchimento de colchões; barbantes eram reaproveitados usados em sacos de laranja, e cobertores militares (feitos de lã branca) eram tingidos e transformados em peças do vestuário de alta qualidade (LEE, 2009).

Devido as guerras travadas entre o fim do século XIX e início do século XX, a Alemanha enfrentou a escassez de fibras longas, ideais para o processo de fiação. E passou a usar fibras curtas provenientes de resíduos têxteis como alternativa (MATTHEWS, 1924). Durante a segunda guerra mundial (1939- 1945), a Inglaterra também passou por fortes períodos de racionamento. Nesta época foi elaborada a companhia “costure e conserte” a fim de reduzir o consumo, energia e desperdício, dessa forma, as pessoas eram estimuladas a não comprar e sim prolongar a vida útil de seus bens (LEE, 2009). Porém, ao final da guerra era preciso impulsionar a economia, para isso foi incentivado o consumismo frenético de bens, que por sua vez passaram a ser produzidos para ser consumidos e descartados rapidamente.

Nesta época, surge a moda “pret à porter” engajada em produzir roupas acessíveis a todos inspiradas em tendências de moda (LIPOVETSKY, 2009) influenciada por fabricantes têxteis (LEE, 2009), que passaram a persuadir a cadeia produtiva da moda após a criação das fibras artificiais (raiom -1889, viscose- 1892 e acetato -1924) (PEZZOLO, 2013) e sintéticas (poliéster (1931), náilon (1935), elastano (1959) Lycra (1970) (LEE, 2009 e PEZZOLO, 2013).

Desde então, a indústria têxtil se ateu em desenvolver diversos tipos de fibras de origem artificial e sintética baseada na proposta de colaborar com o bem-estar dos consumidores. Ainda em 1960, somente a empresa Dupont já havia criado 31 tipos de poliésteres e 70 tipos de náilons (LEE, 2009). Hoje, essas inovações são amparadas em 78 materiais de base, dos quais é possível fazer 241 processos distintos e criar mais de 165.000 combinações diferentes de materiais por (EMF, 2017).

Diante disso, é possível compreender a explosão de campanhas publicitárias incentivando o consumo descartável como se fosse fundamental à sobrevivência humana. Neste ciclo frenético de produção e vendas, diversas fibras passaram a ser

combinadas para somar suas características positivas e produzir inúmeros tipos de tecidos. Porém, a indústria de reciclagem têxtil tem registrado um desenvolvimento tímido em inovação tecnológica frente ao desenvolvimento de fibras e tecidos da indústria têxtil (EMF, 2017).


3.7.2.2 Tipos de reciclagem

Os resíduos têxteis são 100% recicláveis, mas a valorização e o processo de reciclagem estão atrelados ao tipo de fibra contida nos resíduos têxteis, que são compostos por fibras puras ou mistas, de origem sintética, artificial e natural (ARAÚJO; CASTRO, 1986). A reciclagem têxtil depende da segregação dos resíduos conforme cor e tipo de fibra (SALCEDO, 2014, GWILT, 2014) e pode ser executada através de tratamentos mecânico, químico e térmico (FLETCHER; GROSE, 2012, CARVALHO, 2016).

Jucá et al. (2014) denomina como “rota” o caminho percorrido pelo resíduo ao longo das etapas de tratamento. Neste sentido, Sandin e Peters (2018) referem-se a rota da reciclagem têxtil como um processo que pode envolver todas as formas de tratamento (químico, físico e térmico) dependendo do tipo de fibra e separação.

Os autores distinguiram os processos de reciclagem têxtil com base no nível de desmontagem do resíduo recuperado (Quadro 4).

Quadro 4- Processo de reciclagem

Impacto ambiental	Descrição	Tipo de tratamento
	1 Reciclagem de tecido	Tratamento manual
	2 Reciclagem da fibra	Tratamento mecânico
	3 Reciclagem do polímero/ oligômero	Tratamento/ químico
	4 Reciclagem do monômero	Tratamento mecânico/químico

Fonte: Adaptado de Sandin e Peters (2018)

A reciclagem do tecido consiste no reaproveitamento dos mesmos sem desmanchar sua trama. A desfibrilação, configura-se na reciclagem da fibra. A desconstrução da fibra com a preservação de polímeros ou oligômeros, configura-se na reciclagem de polímeros / oligômeros, enquanto que a dissolução de polímeros/oligômeros com a preservação de monômeros define-se como reciclagem de monômeros

No reaproveitamento de resíduos, a recuperação do resíduo têxtil ocorre no seu estado original, aproveitando todas as características do tecido para construção

de novos produtos, com auxílio de tesoura e agulhas ou máquina de costuras (SANDIN; PETERS, 2018). Na reciclagem mecânica, o tecido recebe o tratamento, denominado como desfibragem, cujo processo é mais utilizado na recuperação de resíduos de fibra mista (com predominância de fibra celulósica) ou natural (AMARAL, 2016).

Segundo Wang (2006) o processo mecânico possui várias fases: cortar, retalhar, cardar e processar o tecido. A primeira fase consiste na limpeza e homogeneização dos resíduos. Os resíduos são inseridos na máquina cortadeira que captura os metais presentes entre os eles e os corta (tritura) em tamanhos similares. O resíduo picotado segue para a máquina desfibradeira composta por uma sequência de rolos com superfícies de “agulhas” que rasga e desfibra o tecido até chegar ao estágio fibroso desejado (AMARAL, 2016).

Os reciclados têxteis gerados neste processo podem ser reinseridos na indústria têxtil para a produção de novos fios e tecidos, ou serem destinados ao setor automotivo, aeronáutico ou construção civil para serem usados em enchimentos de estofados e colchões, isolamento acústico, estopas, feltros, geotêxteis ou fraldas descartáveis (WANG, 2006, FLETCHER; GROSE, 2012, ZAMANI, 2014, SALCEDO, 2014).

Entretanto, o processo de desfibrilação reduz a qualidade e o potencial de fiabilidade da fibra, que fica comprometida para produção de fios e tecidos nobres (mais finos) (WANG, 2006). No caso da fibra reciclada 100% algodão, há a necessidade de misturá-la a fibras virgens (50% fibra reciclada e 50% fibra virgem) para torná-la fiável. Além disso, a perda de qualidade da fibra é proporcional ao valor de mercado do resíduo têxtil, quanto mais selecionada, por cor e composição for o resíduo têxtil, maior seu valor de mercado (Tabela 4).

Tabela 4- Valor dos resíduos têxteis praticados no Brasil-2016

Composição dos resíduos têxteis	Valor por Kg (R\$)
Composição mista	0,5 a 0,10
Fibra de algodão (colorido)	0,10 a 0,15
Fibra acrílica ou poliamida	0,70 a 1,00
Fibra de algodão Branca	1,20 a 1,70

Fonte: Amaral, 2016.

No Brasil os resíduos têxteis mais valorizados são tecidos brancos 100% algodão, seguido da fibra acrílica ou poliamida, algodão colorido e por último e de menor valor, a fibra mista.

Denomina-se como reciclagem química, a reciclagem do polímero, oligômero ou monômero (Sandin e Peters, 2018) decorrentes dos processos de despolimerização por solvólise (hidrólise, alcoólise e amilose) e termólise (pirólise, gaseificação e hidrogenação) (SPINACÉ; PAOLI, 2005, ZANIN; MANCINI, 2015). A reciclagem de polímero visa à recuperação de tecidos com fibras sintéticas (poliéster, poliamida, nylon) de origem petrolífera, através da dissolução que despolimeriza parcialmente as moléculas das fibras têxteis para serem novamente polimerizadas/fiadas em novas fibras se necessidade de adição de novos beneficiamentos têxteis (SALCEDO, 2014).

Já a reciclagem química de oligômero a despolimerização ocorre de maneira total (SALCEDO, 2014), por isso, podem ser utilizadas para separar resíduos com misturas de fibras petrolíferas e celulósicas (puras ou mistas). Neste processo, os resíduos são triturados (processo mecânico) limpos e dissolvidos (processo termoquímico) para separar a mistura de fibra contida no resíduo têxtil. A fração de celulose e sintética segue seus respectivos processos para construção de novas fibras. Este processo interfere na química original do resíduo e por isso deve ser beneficiada novamente (EMF, 2017).

Jeihanipour et al. (2010) apresentam o uso do solvente N-metilmorfolina-N-óxido (NMMO) (destinado ao tratamento das fibras de celulose na produção de Liocel) para separação das fibras mistas (celulose /poliéster). Neste processo o solvente NMMO é adicionado a mistura que dissolve somente a celulose através da quebra das ligações de hidrogênio ordenadas entre as cadeias de celulose. A celulose dissolvida é filtrada e separada do solvente NMMO e destinada a hidrólise enzimática para produção de etanol ou digestão bacteriana anaeróbica para produção de biogás. As fibras sintéticas extraídas da mistura são destinadas a produção de poliéster (ZAMANI, 2014).

Por fim, a reciclagem química de monômero consiste na decomposição dos polímeros e na sua polimerização em fibras com qualidade similar as fibras virgens. Neste processo, toda química decorrente do beneficiamento terciário é desintegrada (EMF, 2017). Segundo Zanin e Mancini (2015) todas as metodologias de reciclagem química apresentada acima são denominadas de solvólise, pois ocorre por meio de

reações químicas induzidas por solventes e temperaturas um pouco acima do ponto de fusão.

Para Fletcher e Grose (2012), a qualidade das fibras sintéticas recicladas quimicamente se equipara à das fibras virgens e por isso, tendem a ser mais valorizadas no mercado, além disso, o custo energético para remanufatura das fibras sintéticas chega a ser 80% menor. Mas, com relação ao impacto ambiental dos processos de reciclagem têxtil, estes são proporcionais ao grau de interferência mecânica ou química nos resíduos têxteis (SANDIN; PETERS, 2018), ainda assim são considerados menos poluentes em comparação a manufatura têxtil a partir de fibras virgens (WANG, 2006, FLETCHER; GROSE, 2012, SALCEDO, 2014). Porém, se comparado ao processo de incineração, são mais poluentes (ZAMANI, 2014).

Com relação ao custo operacional, os processos químicos são maiores se comparados ao processo mecânico, além disso, nem todas as tecnologias apresentadas estão disponíveis em escala industrial (ZAMANI, 2014). Dessa forma, a reciclagem sustentável dos resíduos têxteis formados com fibras mistas continua sendo maior desafio para a reciclagem, pois 69,02% desses resíduos são compostos por fibras mistas (TEIXEIRA, 2015) e são menos valorizados (AMARAL, 2016).

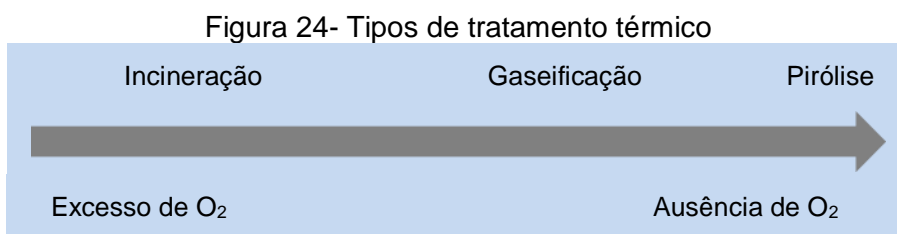
O tratamento biológico de resíduos sucede a triagem e envolve processos de decomposição aeróbia ou anaeróbia da matéria orgânica, resultando na produção de compostos orgânicos e energia por meio da tecnologia de compostagem ou digestão anaeróbia (JUCÁ et al., 2014). A compostagem não é uma prática adotada para os resíduos têxteis. Entretanto, as bibliografias estudadas citam digestão bacteriana anaeróbia para produção de biogás destinada somente a reciclagem de fibras a base de celulose (JEIHANIPOUR et al., 2010, ZAMANI, 2014).

A digestão anaeróbia consiste no processo de conversão de matéria orgânica na ausência de oxigênio. Ocorre em três fases: ácida; acetogênica e metanogênica, com a geração de metano e gás carbônico e pode ser descrita em 4 estágios: (1) pré-tratamento, (2) digestão dos resíduos, (3) recuperação do biogás e (4) tratamento dos resíduos digeridos. Os sistemas de tratamento anaeróbico podem ocorrer em estágio único, múltiplo ou batelada. A viabilidade econômica pode ser percebida com a redução dos custos de disposição em aterro sanitário, com a comercialização de energia renovável e créditos de carbono (JUCÁ et al., 2014).

3.7.3 Tratamento Térmico dos Resíduos

O tratamento térmico ocorre quando há o uso de altas temperaturas para induzir a oxidação de resíduos. Neste sentido, Sousa (2009) afirma que o tratamento térmico pode ocorrer por meio da incineração, gaseificação ou pirólise, que varia conforme a intensidade de oxigênio empregado no processo.

De acordo com a Figura 24, a incineração ocorre com a presença de oxigênio enquanto a pirólise ocorre na sua ausência, entretanto, Zanin e Mancini (2015) afirmam que a pirólise é um processo termoquímico de reciclagem, por objetivar a recuperação dos subprodutos gerados no estado sólido, líquido e gasoso, enquanto a incineração tem como objetivo a destinação adequada de resíduos para reciclagem energética, não permitindo reaproveitamento dos subprodutos gerados no processo de combustão além da energia.



Fonte: Sousa, 2009.

A incineração ocorre na presença de oxigênio a temperaturas que variam entre 600°C a 1100°C, e tem como principal objetivo a redução do volume de resíduos (90%), geração de energia e a destruição de microrganismos patogênicos (PARADELA, 2012).

Durante o processo de combustão são gerados gases como dióxido de carbono (CO₂), oxigênio residual (O₂), óxidos de nitrogênio (NO₂), óxidos de enxofre (SO₂) e materiais particulados que carecem de tratamento antes de serem lançados na atmosfera (JUCÁ et al., 2014). Também são geradas cinzas e escórias, que após comprovada sua inertização, podem ser dispostas em aterro sanitário e efluentes líquidos, que devem ser neutralizados na própria planta e direcionados para as estações de tratamento de efluentes específicas (JUCÁ et al., 2014).

Os tratamentos destes subprodutos configuram em despesas para o processo (ZANIN; MANCINI, 2015), mas a energia gerada abastece o próprio sistema e pode ser comercializada em caso de excedente. A reciclagem energética tem como vantagem a autossuficiência energética do sistema, a possibilidade de

comercialização de energia excedente e a possibilidade de incinerar os resíduos sem necessidade de triagem como exigido em outros sistemas (JUCÁ et al., 2014, ZANIN; MANCINI, 2015). Entretanto, a PNRS defende o uso da incineração como forma de destinação final para rejeitos, e não para resíduos com potencial de reciclabilidade (BRASIL, 2010b), assim como a Portaria Interministerial 274/2019 (BRASIL, 2019).

A viabilidade técnica para operacionalização de uma usina de triagem está atrelada ao volume diário de rejeito e ao poder calorífico dos resíduos incinerados. Segundo Spinacé e Paoli (2005) o valor calorífico de 1 kg de polímeros equivale a 1l de óleo combustível. Sousa (2009) afirma que o poder calorífico dos resíduos têxteis varia entre 3500 a 10400 Kcal/kg de acordo com sua composição. Em questão quantitativa, Jucá et al. (2014) afirmam que o volume RSU deve estar acima de 160.000 t/ano ou 240 t/dia para viabilizar uma usina de incineração.

Entretanto, a incineração para fins energéticos é o segundo sistema de tratamento de resíduos mais utilizado no mundo, embora no Brasil esta não seja uma realidade, já que o aterro sanitário tem sido a tecnologia mais adotada pelo poder público para dispor seus RSU (JUCÁ et al., 2014).

3.7.4 Aterro Sanitário

O aterro sanitário é a forma de disposição final ambientalmente adequada para rejeito mais utilizado em muitos países, inclusive no Brasil. Teoricamente, sua tecnologia foi desenvolvida para ser o último estágio no gerenciamento de resíduo, destinada a receber os rejeitos.

De acordo com PNRS os rejeitos

(...) são resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as *possibilidades* de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010b, art. 3º, inciso XV).

Entretanto fatores como: políticas públicas, falta de investimento público e privado, falta de tecnologia adequada, logística, falhas na educação ambiental da sociedade civil, consumo, capitalismo, cultura, custo, crescimento populacional tem contribuído com a ineficiência dos processos de gerenciamento dos resíduos que antecedem a sua disposição final.

Dessa forma, toneladas de resíduos que poderiam ser reintroduzidos em alguma cadeia produtiva são destinadas aos aterros e acabam comprometendo sua vida útil (JUCÁ et al., 2014).

Essa problemática pode se tornar ainda mais grave quando resíduos e rejeitos são descartados em aterros controlados ou lixões. De acordo com ABRELPE (2017), o sistema de coleta urbana de resíduos sólidos abrange 91% dos municípios brasileiros e recolhe 71,6 milhões de toneladas de resíduos. Deste montante, 59,1% são dispostos em aterros sanitários, 22,9% em aterros controlados e 18% lixões.

Para Monteiro et al. (2001), aterro sanitário, controlado ou lixão são definidos segundo sua tecnologia. O aterro sanitário faz parte da rota ambientalmente correta proposta pela a PNRS, sua engenharia de construção deve conter diversas tecnologias que variam conforme o volume de rejeito a ser disposto. Dentre elas pode-se destacar: impermeabilização do solo; coleta e tratamento dos líquidos percolados; coleta e queima de biogás; drenagem e afastamento das águas pluviais; sistemas de monitoramento ambiental; topográfico e geotécnico; pátio de estocagem de materiais; barreira vegetal; balança rodoviária e sistema de controle de resíduos

Segundo Jucá et al. (2014), o aterro sanitário, além de ser destinado a disposição final dos rejeitos, também pode usado como tecnologia de tratamento de resíduos, similar ao reator anaeróbio, essa característica reduz emissões atmosféricas por metano e dióxido de carbono (gases de efeito estufa), a contaminação de solos e lençol freático por lixiviados e possibilita a recuperação de gases para produção energética e de lixiviados como fertilizantes (SANTOS (2017).

Já o aterro controlado não possui tais tecnologias, apenas dispõe de uma cobertura de solo a cada camada de compactação dos resíduos, e o lixão, são locais a céu aberto sem nenhum tipo de manejo ou tratamento adequado aos resíduos (ZANIN; MANCINI, 2015).

Diante do exposto, os resíduos têxteis não podem ser definidos como rejeitos, devido ao seu potencial de reciclabilidade (FLETCHER; GROSE, 2012) e, portanto, não poderiam ser descartados em aterros, mas GFA e BCG (2017) afirma que 8% dos resíduos têxteis (industriais e pós uso) são reaproveitados, 10% são reciclados, 25% são incinerados e 57% seguem para serem descartados em aterros ou lixões.

No Brasil, a maior parte dos estudos não especifica dados sobre os resíduos têxteis provenientes da confecção, já que a maior parte dos estudos gravimétricos dos RSU não destaca os resíduos têxteis em seus diagnósticos. Ainda assim, Araújo

e Fontana (2017) afirmam que 30% dos resíduos têxteis oriundos da confecção seguem para o aterro sanitário, 20% para os lixões, 5% para o aterro industrial, 25% reciclagem, 15% incineração e o restante (5%) não tiveram destinação definida. Estes índices devem a fatores como: falhas nas legislações ambientais voltadas à indústria de confecção do vestuário; imperícia no gerenciamento dos resíduos; não aplicação de técnicas de tecnologias sustentáveis voltadas ao setor confeccionista. Diante disso, essa pesquisa buscou compreender o comportamento das fibras artificiais e sintéticas submetidas ao tratamento termoquímico através da tecnologia de pirólise.

3.8 PIRÓLISE

O processo de pirólise é um tratamento termoquímico conduzido em altas temperaturas na ausência de oxigênio (ZANIN; MANCINI, 2015), que tem como objetivo a degradação dos resíduos por meio da quebra de macromoléculas em pequenos fragmentos recicláveis que podem assumir a forma de carvão, líquido e gás (SOUSA, 2009, NICOLINI, 2013). Para Bailie et al. (1997) a pirólise é um processo menos destrutivo que a incineração e recupera grande parte da energia química.

Em função do ambiente inerte, a tecnologia empregada no processo de pirólise viabiliza a produção de energia de forma mais limpa se comparada ao processo de incineração, pois os gases e os líquidos gerados na ausência de oxigênio concentram grande poder energético e podem ser usados no próprio sistema pirolítico ou reciclados em outros sistemas para fins energéticos (CHEN et al., 2015).

Os gases gerados são de baixo peso molecular composto principalmente por hidrogênio, metano, monóxido de carbono, dióxido de carbono. Os líquidos são compostos por água, gases condensáveis, hidrocarbonetos de elevado peso molecular em forma de alcatrão, óleos, ácidos acéticos e metanol, que podem ser usados como combustível. E a fase sólida possui grande potencial energético por possuir carbono fixo, elementos residuais, matéria volátil não pirolisadas que podem ser usados como substituto do carvão convencional nas unidades de combustão e gaseificação (SOUSA, 2009) e como carvão ativado em processos de filtração (BARIŞÇI; ÖNCEL, 2013), por este motivo o processo de pirólise assume uma postura de reciclagem térmica e não de tratamento final (SOUSA, 2009).

Para Sousa (2009) e Hanoğlu; Çay e Yandk (2019), a natureza e a qualidade dos subprodutos gerados dependem da composição do material, assim como o rendimento depende dos parâmetros como: tempo de residência no processo; temperatura; taxa de aquecimento e vazão de gás (pressão). Segundo Sousa (2009), Barişçi e Öncel (2013), Chen et al. (2015), Yuan et al. (2018) e Hanoğlu; Çay e Yandk (2019), temperaturas e taxa de aquecimento mais elevadas reduzem a fração de sólido e líquido, e elevam a quantidade de gás, assim como o tamanho das partes do material interfere na dissipação do calor e na velocidade da pirólise (BAILIE et al., 1997).

O processo de pirólise acontece conforme o aumento da temperatura. Abaixo de 200°C, ocorre a secagem do resíduo com a evaporação e eliminação da água que deve permanecer abaixo de 10%. Em seguida, as reações endotérmicas, induzidas por uma fonte externa de calor elevam a temperatura do reator de 200°C a 280°C e iniciam reações de volatilização (ácido acético, metanol, água, dióxido de carbono). De 280° a 500°C a indução continuada do calor e o processo de volatilização, acelera a agitação entre as moléculas dos resíduos, cuja a troca de energia cinética leva a geração de calor dentro do reator, e conseqüentemente, ao estágio exotérmico do processo.

Nesta amplitude térmica, ocorre o processo de oxidação, carbonização e a liberação dos gases combustíveis como monóxido e dióxido de carbono. Por fim, acima de 500 °C ocorre a liberação de pequenas quantidades de voláteis como o hidrogênio. Assim, no decorrer do processo, os resíduos passam pelos estágios de secagem, pirólise e arrefecimento (SOUSA, 2009; NICOLINI, 2013).

De acordo com Paradela (2012), com o aumento da temperatura, o material sofre reações que transformam hidrocarbonetos em coque e elevam a fração de gás. A decomposição térmica de materiais poliméricos pode ser realizada para obter uma variedade de produtos com diferentes aplicações: gases combustíveis, gases olefínicos úteis em síntese química (petroquímica), nafta e destilados médios, frações de óleo, parafinas e olefinas de cadeia longa, coque, etc.

A combinação dos parâmetros tempo, temperatura e taxa de aquecimento definem o tipo de pirólise, e podem ser usados para intensificar a geração de um dos subprodutos (gás, líquido, carvão) gerados no processo de pirólise dos resíduos.

3.8.1 Tipos de Pirólise

Na pirólise lenta, as taxas de aquecimento acontecem em no máximo 2°C/s, a temperatura se mantém abaixo de 500°C (SOUSA, 2009, PARADELA, 2012) por longos períodos de retenção (horas). Essa a combinação parâmetros maximiza o resíduo carbonoso (SOUSA, 2009).

A pirólise rápida é distinguida pela elevação nas taxas de aquecimento que acontece acima de 2°C/s (10 a 200°C/s) em temperaturas que variam entre 400°C e 800°C ao tempo de permanência que responde entre 0,5 a 5s. Neste processo, o objetivo é a potencialização do subproduto líquido.

Já os parâmetros da pirólise Flash ou ultrarrápida intensifica a produção de gás, devido à alta taxa de aquecimento (acima de 1000°C/s), alta temperatura (acima de 1000°C), reduzido tempo de aquecimento (>0,5 s), e pequena granulometria dos resíduos que colaboram para a propagação do calor (PARADELA, 2012; NICOLINI, 2013).

Além destes, Paradela (2012) ainda apresenta a Gasificação pirolítica, cujo objetivo é maximizar a produção de gases (gás de síntese), através de tempos e temperaturas elevados e a Pirólise sob vácuo, onde o material orgânico é aquecido sob vácuo com o intuito de reduzir o ponto de ebulição e evitar reações químicas adversas.

Segundo Bailie et al. (1997), os produtos formados durante o aquecimento lento são muito diferentes dos produtos obtidos durante o aquecimento rápido. Nas taxas de aquecimento muito baixas a baixas temperaturas, há tempo suficiente para molécula se quebrar no nível mais fraco e se reorganizar em moléculas de alto peso molecular e termicamente estáveis, difíceis de serem volatizadas.

Em contrapartida, na pirólise de aquecimento rápido e temperatura elevada, a molécula de baixo peso molecular explode (volatizando) e forma uma gama de moléculas orgânicas menores que escapam do meio reacional. Para Czajczyńska et al. (2017), o tempo de permanência da matéria-prima no reator é um parâmetro muito importante no processo de pirólise, pois determina a energia recebida pela carga a uma dada taxa de aquecimento. Por isso, a pirólise lenta forma altos rendimentos de carvão e baixos rendimentos de gás e líquido, enquanto que, na pirólise rápida o rendimento do gás aumenta e líquido e carvão reduzem e, na pirólise intermediária, a formação de líquido é maior (BAILIE et al., 1997). Além do

mais, os reatores destinados a pirólise também exercem influência na qualidade e na formação dos subprodutos gerados no processo.

3.8.2 Tipos de Reatores

Os reatores de leito fixo são os mais antigos, muito usado para produção de carvão vegetal para abastecer fornos industriais e testes de bancada para estudos de parâmetros cinéticos, conduzidos em batelada (CHEN et al., 2015).

O processo de pirolisação neste reator acontece de fora para dentro, segundo Bailie et al (1997), os resíduos perto do centro passam por um ciclo de aquecimento mais lento do que o material perto das paredes do reator, assim, os gases e líquidos produzidos são forçados a passar por espessas camadas de resíduos pirolisados para serem coletados e isso resulta em numerosas reações secundárias que reduzem a formação de gás e líquido e elevam a formação de carvão.

Para Chen et al. (2015) a estabilidade dos resíduos dentro do reator e a falta de indução de gás inerte dificulta a condução térmica uniforme por entre os resíduos, por isso exigem um maior período de retenção para completar o processo de pirolisação (SOUSA, 2009).

Em contrapartida, o forno rotativo oferece melhor transferência de calor para a matéria-prima do que os leitos fixos e, ao mesmo tempo, são menos complicados em operação do que os leitos fluidizados (CZAJCZYŃSKA et al., 2017). O reator rotativo promove a mistura e uniformiza os resíduos durante o processo de pirolisação, elevando a transferência de calor entre os resíduos e a alimentação contínua do reator, além de permitir a pirolisação de resíduos mistos, possibilita o controle do tempo de permanência, a intensidade da temperatura e a reciclagem do gás pirolítico na própria planta para aquecimento do sistema (BAILIE et al., 1997, CHEN et al., 2015). Devido a estas características este é um dos únicos reatores usados em escala industrial atualmente (CZAJCZYŃSKA et al., 2017).

No reator vertical, os sólidos descem através de um fluxo de gás. No caso do gás de arraste (oxigênio) atua em fluxo contrário carbonizando o carvão e gerando mais calor ao reator. Porém, essa tecnologia não propicia a recuperação do carvão (BAILIE et al., 1997) e necessita de resíduos de mesma granulometria para facilitar o processo (CZAJCZYŃSKA et al., 2017).

Por fim, o reator de leito fluidizado com gás inerte agita as moléculas evitando a aglomeração de partículas e dissipando o calor de forma uniforme que melhora a qualidade dos subprodutos gerados. Para isso os resíduos devem ser processados anteriormente em partículas menores. Nesta tecnologia, a velocidade específica de reação é superior, quando comparadas ao reator de leito fixo e o gás quente gerado no processo pode ser reinserido no processo (BAILIE et al., 1997), mas, devido à grande formação de gás, os vapores orgânicos devem ser removidos do reator rapidamente, a fim de evitar reações de craqueamento secundário. Por isso, os reatores de leito fluidizado são direcionados para investigar os comportamentos de pirólise rápida e para explorar o craqueamento secundário de alcatrão em tempos de residência mais longos. Devido a sua tecnologia, não são comuns em plantas industriais (CZAJCZYŃSKA et al., 2017).

Além destes principais tipos de reatores, Czajczyńska et al. (2017), mencionam o reator por micro-ondas cuja tecnologia colabora para compreensão das reações políticas, mas são dispendiosas e inviáveis em plantas industriais, o reator o de plasma e o reator solar, cuja tecnologia emergente e autossustentável atua com menor consumo de energia.

3.8.3 Parâmetros Cinéticos que Influenciam no Processo de Pirólise

O uso da tecnologia de pirólise tem sido bastante estudada para o tratamento de diversos resíduo, sobretudo para aqueles cujas tecnologias aplicadas até a presente data têm surtido pouco resultado efetivo na destinação final adequada. Dentre eles, o resíduo têxtil tem recebido diversas pesquisas a fim de conhecer o comportamento térmico das mais variadas fibras têxteis e suas combinações, a fim de compreender as características do gás (WEN et al., 2016; WU et al., 2017) líquido (ZHU et al., 2014; PODDAR et al., 2015;) e sólido (MIRANDA et al., 2007; MAJANNY et al., 2010; BARIŞÇI; ÖNCEL, 2013; RAGO, SURROOP; MOHEE, 2018; YUAN et al., 2018; HANOĞLU; ÇAY; YANDK, 2019) para fins energéticos e no caso do carvão, para produção de carvão ativado direcionados ao tratamento de água, indústria farmacêutica, alimentícia, uso doméstico, etc. (NAHIL; WILLIAMS, 2010, 2012; BALCIK-CANBOLAT et al., 2016; CHEN, 2017)

Paradela (2012) lista no Quadro 5, os principais parâmetros cinéticos que influenciam a geração dos subprodutos no processo de pirólise.

Quadro 5- Parâmetros que influenciam na distribuição dos produtos de pirólise

Parâmetro	Efeito
Composição química	Os produtos primários da pirólise estão diretamente relacionados com a estrutura e composição dos reagentes, e também com o mecanismo da sua decomposição (puramente térmico ou catalítico).
Temperatura de pirólise e velocidade de aquecimento	Temperaturas mais elevadas e maiores velocidades de aquecimento aumentam a quebra das ligações e favorecem a produção de pequenas moléculas.
Tempo de Pirólise	Maiores tempos de residência favorecem uma conversão secundária dos produtos primários, produzindo mais resíduo carbonoso, alcatrões, bem como produtos termicamente mais estáveis, diminuindo assim o efeito da estrutura original do polímero.
Tipo de reator	Determina principalmente a qualidade da transferência de calor, da mistura, dos tempos de residência de gases líquidos, e o grau de libertação de produtos primários.
Pressão de operação	Pressões baixas reduzem a condensação de fragmentos reativos formando mais resíduo carbonoso.
Presença de gases reativos como oxigênio (ar), e hidrogênio	Gera calor internamente através de oxidações parciais, dilui os produtos e influencia equilíbrios, cinéticas e mecanismos.
Uso de catalisador	O seu uso influencia os mecanismos e a cinética, logo, a distribuição dos produtos.
Aditivos incorporados	Geralmente evaporam ou decompõem-se. Apenas em casos pontuais poderão influenciar a cinética ou o mecanismo da reação.
Fase líquida ou gasosa	A pirólise em fase líquida retarda a libertação dos produtos de reação, favorecendo assim interações posteriores entre eles.

Fonte: Paradela (2012).

No que se refere ao uso dos resíduos para fins energéticos, os estudos cinéticos buscaram verificar o efeito da temperatura nos rendimentos, na concentração e na composição química dos sólidos, líquidos e gás. No biocarvão, o processo de pirólise reduz o volume do sólido, concentra a quantidade de carbono e eleva seu potencial energético (MIRANDA et al., 2007; MAJANNY et al., 2010; BARIŞÇI; ÖNCEL, 2013; RAGO; SURROOP; MOHEE, 2018; YUAN et al., 2018; HANOĞLU; ÇAY; YANDK, 2019) por isso, as análises avaliam a quantidade de cinzas formada ao final do processo pirolítico, concentração de carbono responsável pelo poder calorífico, seu conteúdo químico, sua estrutura porosa e sua capacidade de retenção de poluentes para futuras aplicações como absorvente industrial (MARTINI, 2009).

O líquido pirolenhoso é separado em água ácida, rica em ácidos orgânicos oxigenados de baixo peso molecular como álcoois aldeídos, cetonas, éteres e outros e óleo composto por uma mistura complexa de hidrocarbonetos oxigenados (MARTINI, 2009). Em ambos, o poder energético é mensurado conforme a concentração de hidrocarbonetos impulsionada pela presença de carbono (PODDAR et al., 2015). Na fração gasosa avalia-se a composição do gás de síntese para mensurar seu potencial energético (WEN et al., 2016; WU et al., 2017).

Segundo Williams e Reed (2003) o processo de pirólise envolve o amolecimento inicial do material e a liberação da matéria volátil, depois o endurecimento e o encolhimento do carvão. Ao longo destes processos, a estrutura do poro é influenciada pelo borbulhamento de gases através do material e influência no tamanho dos poros presentes no carvão. A caracterização da porosidade é definida como, “micro poros na largura <2 nm, que podem ser subdivididos em ultra microporos <0.5 nm e super microporos 1-/2 nm e mesoporos de poro largura 2-/50 nm e macroporos de poro de largura > 50 nm” (WILLIAMS E REED, 2003, p.570).

Araújo e Castro (1996) afirmam que o comportamento térmico das fibras (Tabela 5) tem relação direta com o teor de oxigênio, teor umidade e calor de combustão da fibra.

Tabela 5- Comportamento térmico das fibras

Tipo de Fibra	Índice de oxigênio (%)	Calor de combustão (Kcal/g)	Ponto de fusão (°C)	Temperatura de combustão (°C)
Acrílico	18,2	7,620	235 - 320	565-530
Algodão	18,4	3,910	Não funde	255
Polipropileno	18,6	11,1	164-170	570
Viscose	19,7	3,920	Não funde	420
Poliamida	20,1	7,620	160-260	485-575
Poliéster	20,6	5,670	252-292	485-560
Lã	25,2	4,920	Não funde	570-600

Fonte: Araújo e Castro (1996)

Todos os autores citados neste tópico concordam que a natureza e as características da matéria-prima são fundamentais para definir os parâmetros cinéticos de um sistema de conversão termoquímica, e por isso torna-se desafiador o tratamento de resíduos que não apresentam uniformidade de composição, como é o caso dos resíduos têxteis, uma vez que, as fibras naturais de origem vegetal e animal, não se fundem e apresentam os menores valores de calor de combustão.

Mas, o comportamento térmico das fibras pode ser intensificado pelo tipo de manufatura a qual a fibra foi submetida (torção das fibras e filamentos, estrutura têxtil), dessa forma, tecidos que tenham superfície pilosa, relevo, sejam porosos ou tenham densidade baixa ardem mais facilmente se comparados a tecidos lisos, raspados, com grande densidade. Além disso, a velocidade de combustão é inversamente proporcional a massa/m² e os tecidos pesados e densos ardem mais lentamente.

No ambiente inerte do processo de pirólise, teores de C, H, O, N são de suma importância para definir o potencial de reciclabilidade térmica do material. A Tabela 6, resume o resultado da análise elementar e do poder calorífico de algumas fibras.

Tabela 6- Análise elementar e poder calorífico das fibras têxteis

Tipo de Fibra	Análise elementar (%)				Poder calorífico MJ/Kg ⁻¹
	C	H	O	N	
Celulose ¹	43,0	6,3	50,7	0,8	-
Polietileno ²	85,3	14,7	-	-	43,011
Pneu ²	83,5	7,8	-	0,39	35.5878
Poliéster (PES) ²	62,6	4,6	-	0,40	17.124012
Algodão (CO) ³	41,69	5,94	51,80	0,57	16,91
Acrílico (PAC) ⁴	66,2	6	4,9	22,9	23,09
Acrílico (PAC)	65,13	6,21	4,83	23,83	29,19
Cânhamo ⁵	41,2	6,5	52,2	-	16,4
Linho ⁵	43,3	6,5	50,2	-	17,2
Poliéster (PES) ⁶	62,57	3,84	-	0,70	23,09
Lã (WO) ⁶	64,40	5,46	-	22,22	28,96
Algodão (CO) ⁶	48,96	4,02	-	0,81	17,23
Rami ⁷	45,91	6,14	47,50	0,42	-
Juta ⁸	49,79	6,02	41,37	0,19	19,07
Resíduo de PES ⁹	58,91	4,99	27,88	8,96	-
Viscose (CV) ³	39,58	6,85	53,28	0,29	16,38
50% PES 50%CO ³	51,66	5,35	42,55	0,44	19,93
66,5% CO 33,5% PES ³	48,56	5,40	45,71	0,33	19,45
66,5% PES 33,5% CO ³	50,26	5,47	43,87	0,40	19,45
50% PAC 50% WO ³	64,84	6,12	5,82	23,22	28,89
50% PAC 50% PES ³	63,02	5,10	19,69	12,19	25,79
50% PAC 50% CV ³	55,77	6,02	23,81	14,40	23,88
Tecido CO colorido ¹⁰	53,60	7,28	38,80	0,30	22,600
Tecido CO Branco ¹⁰	45,50	6,60	47,50	0,30	17,110
Resíduo descaroçamento do CO ¹¹	41,23	5,03	34	2,63	15,780
Mistura: 95% CO 5% PES ¹²	43,3	6,2	46,4	-	16,00

Fonte: 1- Lin et al. (2009); 2- Conesa et al. (2009); 3- Hanoğlu; Çay e Yandk (2019); 4- Nahil e Williams (2012); 5- Williams e Reed (2003); 6- Wu et al. (2017); 7- Zhu et al. (2014); 8- Poddar et al. (2015); 9- Yuan et al. (2018); 10- Miranda et al. (2007); 11- Zabaniotou, Roussos e Koroneos (2000); 12- Ryu et al. (2007).

Em alguns casos, o mesmo tipo de fibra apresentou valores distintos, como por exemplo, o algodão. Essa discrepância é justificada pelas várias espécies de algodão existentes e ao tipo de química usado no processo de manufatura têxtil. Da mesma forma, a proporção da densidade, carbono fixo, voláteis e cinza, também colabora para compreender o comportamento térmico do material e seu rendimento, sendo assim, a Tabela 7 representa os valores desses parâmetros segundo alguns autores.

Tabela 7- Análise imediata de materiais têxteis

Material	Umidade (%)	Volátil (%)	Carbono Fixo (%)	Cinza (%)
Cânhamo ¹	7,7	74,9	15,8	1,6
Linho ¹	7,4	75,2	15,6	1,8
Poliéster ²	2,17	88,94	6,61	2,28
Algodão ²	0,59	88,97	9,33	1,11
Lã ²	1,88	88,94	7,67	1,51
Celulose ³	-	94,8	5,1	0,1
Coco ⁴	7,6	81,5	8,92	1,98

Fonte: 1-Williams e Reed (2003); 2-Wen et al. (2016); 3-Lin et al. (2009); 4-Paz (2017).

Paz (2017) afirma que o poder calorífico de um material é a quantidade de energia que ele libera ao entrar em combustão, por isso está diretamente relacionado a seu teor de umidade. Quanto maior o teor de umidade, menor o poder de combustão devido ao processo de evaporação da umidade que absorve a energia de combustão. Já a fração volátil possui estreita relação com a ignição térmica. Quanto maior o teor do material volátil, maior a reatividade e ignição.

Para fins de reciclagem energética proveniente do sólido gerado no processo de pirólise Miranda et al. (2007) estudaram o comportamento térmico dos resíduos têxteis de algodão de cores variadas comparado com algodão cru. Os resíduos foram triturados (0,5 cm por 0,5 cm) e homogeneizados. A pirólise foi conduzida em reator de leito fixo com fluxo de nitrogênio 100 ml/min em temperaturas de 600 e 700°C com taxa de aquecimento de 10°C/min⁻¹. Os resultados demonstraram que a decomposição aconteceu em 3 faixas de temperatura e a perda de peso ocorreu com o aumento da temperatura. A primeira de 135 a 309 graus Celsius com pico a 264°C, o segundo estágio ocorreu entre 276 e 394°C com pico a 374°C e o terceiro estágio variou de 374 a 500°C com um pico a 433°C. A energia de ativação para cada reação aparente foi constatada em 40, 200 e 186 kJ / mol.

Majanny et al. (2010), estudaram o comportamento térmico de sete diferentes tipos de resíduos têxteis independente da composição (tecelagem, vestuário, elástico, faixa elástica industrial, fios, fibras e resíduos de carpetes) e seu comportamento de combustão no processo de pirólise. Os estudos foram conduzidos em reator de leito fixo, em atmosfera de nitrogênio com taxa de aquecimento de $20\text{k}/\text{min}^{-1}$ em temperatura de 875°C . Os resultados mostraram três estágios de perda de peso, sendo que a maior perda foi entre 255°C e 400°C (41,11% de peso) impulsionada pelo resíduo de carpete, cuja decomposição chegou a (83,5%) e a menor decomposição foi na tecelagem (60,2%).

Para Majanny et al. (2010), a diferença de decomposição está associada ao tipo de fibra de contida nos resíduos têxteis. Em sua pesquisa, a velocidade de reação dos resíduos têxteis foi sete vezes mais rápida quando comparada ao resíduo de madeira, apresentando potencialidade do uso dos resíduos têxteis para fins energéticos.

Diante do exposto, Barişçi e Öncel (2013) pesquisaram sobre a pirólise de resíduo têxtil composto por 53% algodão, 17% acrílico, 16% poliéster, 4% nylon, 1% elastano e 3% viscose, cortados em tiras com 20 cm de comprimento e 2 cm de largura. A pirólise foi executada em reator de leito fixo em temperaturas de 450, 500, 550, e 600°C , sob a taxa de aquecimento de $5^{\circ}\text{C}/\text{min}^{-1}$, com tempo de permanência de 60 min. Os experimentos foram executados com e sem catalisador para fins de comparação. Os resultados apontaram que a temperatura considerada ótima para produção de líquido foi de 550°C , de sólido a 450°C e de gás a 500°C . Com o uso de catalisadores (carbonato de cálcio (Na_2CO_3 e CaCO_3)) a melhor temperatura para produção de líquido foi identificada em 550°C e de gás foi de 450°C , enquanto que para o sólido, a temperatura usando o catalisador Na_2CO_3 foi em 550°C , mas usando o catalisador CaCO_3 a temperatura ideal foi de 450°C . Em comparação entre os dois processos (com e sem catalisador), o uso do catalisador potencializou a produção de sólido e reduziu a produção de gás em todas as temperaturas e elevou a produção de líquido em quase todas as temperaturas, exceto a 600°C . O líquido adquirido na temperatura ótima foi caracterizado com 28,18% de furanos, 25% de cetonas, 13,15% aldeídos, 7,01% de ácidos carboxílicos e 7,05% de hidrocarbonetos com poder calorífico de 11,49 MJ/kg. Já o poder calorífico do carvão foi determinado em 31,73 MJ/kg e o teor de cinzas foi diagnosticado em 2,57%. Diante dos números,

os pesquisadores identificaram grande potencial energético no resíduo têxtil estudado.

Em atenção a composição heterogênea dos resíduos têxteis e sua influência na qualidade dos subprodutos gerados, Rago, Surroop e Mohee (2018), submetem os resíduos têxteis (70% algodão, 10% viscose, 10% poliamida, e 10% poliéster) ao processo de pirólise em leito fixo em atmosfera inerte, com taxa de aquecimento de $15^{\circ}\text{C}/\text{min}^{-1}$ em temperaturas de 200 a 300°C com tempo de residência de 1 e 3 horas. Nos resultados, a massa, e densidade aparente dos resíduos têxteis reduziu após a pirólise, entretanto a elevação da temperatura aumentou a degradação, a porosidade e, conseqüentemente sua densidade e sua capacidade de peletização. O tempo de permanência também influenciou perda da massa dos resíduos têxteis. Em contrapartida, o aumento do tempo e temperatura reduziu a umidade e o teor de cinzas, elevou o teor de carbono fixo, potencializando o poder energético em mais 45%. O valor energético dos resíduos pirolisados foram de 23,91 MJ / kg e 24,72 MJ / kg para permanência de 1 e 3 horas respectivamente, esse valor é compatível ao valor energético do carvão betuminoso (26.25 MJ / kg).

Situação semelhante também foi percebida por Hanoğlu; Çay e Yandk (2019) pesquisaram o comportamento das fibras mais consumidas no mercado (algodão (CO), viscose (CV), acrílicas (PAC) e suas misturas com poliéster (PES) e lã (WO), para a produção de biocarvão. Os experimentos foram conduzidos em reator de leito fixo com fluxo de nitrogênio a 25 mL min^{-1} , em temperaturas de 600 e 800°C para os resíduos de composição (CO, PAC e CO/PES) e em 300, 350 e 400°C para os demais resíduos, com taxa de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}/\text{min}^{-1}$ e permanência de 60 min.

Os resultados identificaram que a proporção de carvão variou conforme o tipo de fibra e reduziu na medida que a temperatura aumentou, exceto nas fibras 100% poliéster (PE) que não viabilizaram a produção de biocarvão devido à sua alta estabilidade térmica. Quanto os teores de cinza e enxofre, estes foram considerados insignificantes. Já o potencial energético teve maior concentração de carbono e energia nas fibras celulósicas, seguida das misturas com PES e das fibras acrílicas. Por meio da análise elementar identificou-se que a composição de C, N, H do biocarvão das fibras acrílicas foi compatíveis com o carvão betuminoso, enquanto que os biocarvões celulósicos de algodão/poliéster apresentavam uma estrutura similar ao carvão lignite. Assim, os autores concluíram que a pirólise é um processo

promissor para a produção de um combustível sólido a partir de tecidos de algodão e algodão / poliéster (HANOĞLU; ÇAY; YANĐK, 2019).

Para fins de produção de carvão, Williams e Reed (2003) estudaram os parâmetros cinéticos sobre os resíduos têxteis de linho e cânhamo. Para ser pirolisado e assumir um estado físico favorável a filtração. Os resíduos foram feltrados e submetidos ao processo de pirólise em reator de leito fixo em temperaturas que variaram de 350°C a 900°C, cuja taxa de aquecimento foi direcionada para 2°C/min⁻¹ com características passíveis de ativação. Os resultados apresentaram concentração de carbono à medida que a temperatura da pirólise aumentava, assim, com uma diminuição correspondente no teor de oxigênio e nitrogênio do hidrogênio dos caracteres (voláteis). Dessa forma, a temperatura crescente produziu uma estrutura de carbono mais aromática representada por uma diminuição na relação hidrogênio/ carbono.

Com relação análise de superfície de carbono que mensura e determina o tamanho dos poros do carvão. As áreas de superfície dos carvões de linho e cânhamo aumentam com o aumento das temperaturas de pirólise, alcançando valores de 44 m² g⁻¹ para o carvão vegetal produzido a 900 °C e 76 m² g⁻¹ para o carvão de cânhamo produzido a 750 °C, valores, estes que foram potencializados com a ativação a 800°C por nitrogênio e se mostraram favoráveis a utilização destas fibras para produção de carvão ativado.

Ao longo da revisão bibliográfica foram identificadas várias frentes de pesquisa que buscaram soluções para conciliar o modelo de produção da indústria têxtil com às necessidades do consumidor e as questões ambientais. Entretanto, o uso de misturas de fibras e substâncias químicas durante o processo fabril têm dificultado os processos de triagem e conseqüentemente, a reciclagem dos tecidos ao fim de sua vida útil. Por isso, as tecnologias mais empregadas atualmente na reciclagem ou reaproveitamento de resíduos têxteis, não tem evitado o seu descarte incorreto e milhões de toneladas deste material continuam sendo dispostos de modo incorreto todos os anos.

Diante disso, esta pesquisa analisou exaustivamente publicações nacionais e internacionais (artigos, teses, patentes e livros) sobre a pirólise de resíduo têxtil para compreender a dinâmica termoquímica de diversos tipos de resíduos têxteis, cinéticas experimentais em diferentes reatores. Entretanto nenhuma delas reuniu todas as análises expostas neste estudo para fibras de poliéster e viscose, utilizando

reator cilíndrico de leito fixo sem condução de gás inerte nos parâmetros de tempo, temperatura e taxa de aquecimento propostos nesta pesquisa.

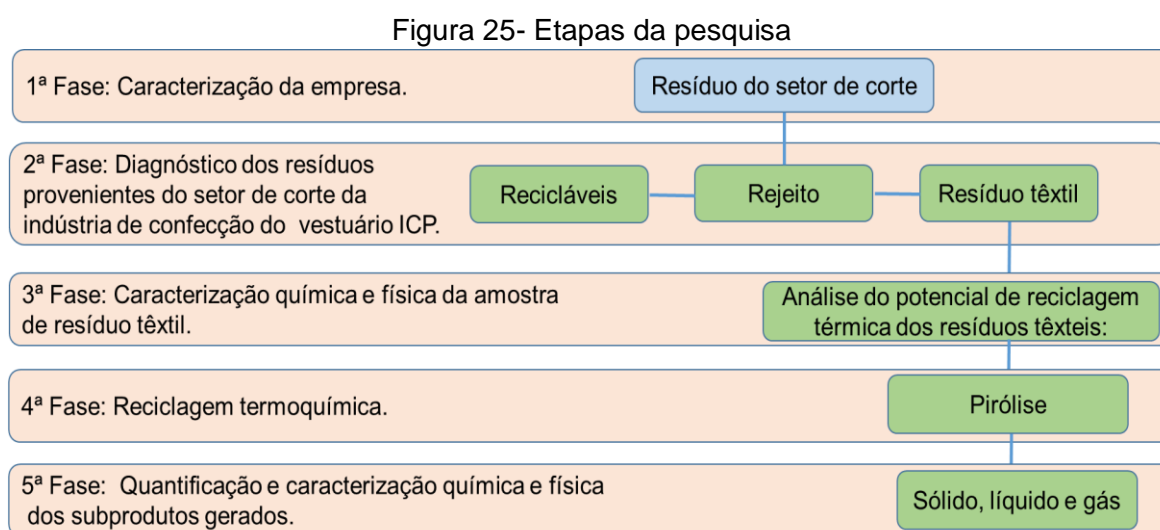
Neste cenário investigativo, a pesquisa buscou elucidar pontos ainda não explorados para somar esforços em apresentar dados que colaborem com um método alternativo para o tratamento dos resíduos têxteis provenientes do setor de corte das indústrias de confecção do vestuário através da tecnologia de pirólise como uma solução para a reciclagem de têxtil de modo mais sustentável.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ETAPAS DA PESQUISA

A pesquisa de natureza aplicada com abordagem quali-quantitativa buscou apurar dados sobre a viabilidade do processo de triagem voltado a reciclagem mecânica de resíduos têxteis, e caracterizar os resíduos têxteis gerados no processo de corte afim conhecer seu potencial para fins de reciclagem térmica.

A primeira fase buscou coletar, triar, quantificar e qualificar os resíduos gerados no processo de corte de uma indústria de confecção por um período de 12 meses para analisar a viabilidade da destinação adequada para fins de reciclagem mecânica (Figura 25).



Fonte: Autora, 2019.

Já a segunda fase, caracterizou e quantificou os resíduos têxteis a fim de verificar a composição de maior incidência para submetê-los ao processo de pirólise, como proposta para a redução do volume de resíduo têxtil através da reciclagem térmica voltada ao reaproveitamento energético, e uso do carvão como absorvente industrial para remoção de poluentes.

O delineamento da pesquisa foi construído considerando o perfil das indústrias de confecção do vestuário no Brasil com relação segmentação de mercado, gestão, produção e gerenciamento de resíduo praticado. Sendo assim, buscou parceria com uma empresa de confecção do vestuário localizada no polo de confecção de Passos MG, com mesmo perfil.

4.2 DIAGNÓSTICO DO VOLUME DE RESÍDUO TÊXTIL GERADO PELA INDÚSTRIA DE CONFECÇÃO DO VESTUÁRIO ICP.

4.2.1 O Perfil da Indústria de Confecção Participante da Pesquisa

Para evitar a exposição da marca da indústria de confecção, a mesma foi tratada como empresa Indústria de Confecção Pesquisada (ICP).

Para caracterizar o perfil da indústria de confecção ICP e seu processo produtivo foi aplicado um formulário estruturado (Apêndice A) para obter as seguintes informações: porte da empresa; número de funcionários destinados a cada setor; número de profissionais com qualificação comprovada (curso técnico, curso superior, mestrado ou doutorado); volume de produção por coleção; tipo de tecnologia empregada no setor de criação, modelagem e corte; conhecimento sobre modelagem e informática pelo responsável do mapeamento de corte; forma de construção e tipos de tecido utilizados no enfiesto, média de desperdício registrada no corte.

4.2.2 Triagem dos Resíduos Coletados no Setor de Corte da Empresa ICP

A primeira fase da pesquisa aplicada se ateve em coletar e triar todo o resíduo gerado no processo de corte da indústria de confecção do vestuário de pequeno porte, denominada nesta pesquisa como (ICP), por um período de 12 meses, com o objetivo de reunir informações de ordem gerencial capazes de colaborar com a adoção de estratégias viáveis para o gerenciamento de resíduos têxteis, além de quantificar e qualificar os resíduos gerados segundo suas composições para delinear a amostra da fase da pesquisa experimental.

Este período foi definido para mensurar a média de geração de resíduo de uma confecção considerando o ciclo de coleções (primavera/verão, outono/inverno) e suas variedades de modelagens, cores, formas, texturas e gramaturas de tecidos que influenciam na geração de resíduo da indústria de confecção do vestuário. Os resíduos foram triados como resíduo têxtil, recicláveis e rejeitos.

A princípio, foi realizada uma palestra para apresentar os objetivos da pesquisa e orientar os colaboradores da empresa ICP, locados no setor de corte, modelagem

e pilotagem a armazenar todo resíduo gerado em seus respectivos setores em sacos plásticos ou tecido, separadamente do lixo orgânico.

A partir do dia 20 de janeiro de 2017 até 20 de janeiro de 2018, os resíduos têxteis gerados pela empresa confeccionista, passaram a ser separados e acomodados em sacos separados dos resíduos orgânicos e ou perigosos para evitar contaminações. Foram armazenados em local seco dentro das dependências da empresa ICP e semanalmente foram transportados para outro espaço coberto, cedido a esta pesquisa por uma empresa não governamental (ONG). Vale ressaltar que no layout produtivo da empresa ICP, o setor de corte compartilha o mesmo espaço com o setor de estoque e expedição, por isso, todo resíduo gerado por eles foram considerados como resíduo proveniente do setor de corte.

No local da pesquisa, os resíduos foram pesados (Figura 26 a) e acomodados (Figura 26 c) conforme as diretrizes da NBR 11174 (ABNT 1990) por um grupo de artesãs voluntárias, responsáveis pela parte operacional da pesquisa. Para isso, utilizou-se uma balança eletrônica portátil marca WeiHeng com peso máximo de 50 kg (Figura 26 b) presa em suporte de metal com faixas de tecido de 50 mm de largura por 1500 mm de comprimento.

Figura 26- Recepção dos resíduos no espaço de triagem: pesagem dos resíduos (a); balança aferida (b); acomodação do material (c)



a. Pesagem dos resíduos



b. Balança



c. Acomodação de resíduo têxtil após o peso.

Fonte: Autora, 2019.

A balança foi aferida no laboratório de Física do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais Câmpus Passos antes de começar o processo de pesagem.

O peso encontrado em cada saco de resíduo têxtil foi anotado em uma planilha denominada “Planilha de Entrada”, bem como foi marcado na parte externa de cada saco para facilitar o controle de produtividade no processo de triagem que foi realizado de forma intermitente conforme a disponibilidade das artesãs. As artesãs voluntárias realizaram a triagem sobre uma mesa com 1 metro de altura, 3 metros de comprimento e 2 metros de largura, onde os resíduos foram espalhados e triados conforme sua destinação de reciclagem (Figura 27).

Figura 27- Triagem dos resíduos provindos do setor de corte da empresa ICP pelas artesãs voluntárias



Fonte: Autora, 2019.

Os resíduos recicláveis foram identificados como: plástico, papel e papelão foram retirados do local de separação periodicamente (Figura 28). Os rejeitos foram identificados como: poeira de tecido, lixo de varrição, chips, grampo, alfinetes e embalagens não recicláveis (fita crepe, durex, etiqueta colante, embalagens de biscoito metalizadas) foram descartados junto aos resíduos sólidos urbanos.

Os resíduos têxteis foram identificados como sobra de tecido e foram acumulados até o final da pesquisa para mensurar o espaço de armazenamento até formação de um volume viável a destinação adequada. Materiais semelhantes também foram encontrados na pesquisa de (WANG, 2006 e SCHOTT, 2015)

Figura 28- Retirada de material reciclável não têxtil do espaço de triagem



Fonte: Autora, 2019

Ao iniciar o processo de separação dos resíduos têxteis, o valor descrito no saco foi anotado na “Planilha de Produção/ Ponto”, seguido da data, tempo dedicado à separação (registro da hora inicial e final) e número de artesãs dedicadas a separação (Quadro 6). Assim, foi possível fazer a gestão produtiva da pesquisa e verificar o fluxo de entrada e saída do material.

Quadro 6- Planilha para controle de produção e mão de obra utilizada no processo de triagem de resíduos do setor de corte da indústria ICP

Data	Peso do saco (Quilograma)	Número de artesãs Trabalhando (Unidade)	Tempo dedicado a separação	
			Hora inicial (Hora)	Hora final (Hora)

Fonte: Autora, 2019.

Ao final da jornada de trabalho, os resíduos pós-triagem foram caracterizados e quantificados conforme suas especificidades (Quadro 7).

Quadro 7- Planilha para a quantificação dos resíduos pós-triagem

Recicláveis						Têxteis (kg)	Rejeitos (kg)
Plástico Transparente (kg)	Plástico Escuro (kg)	Plástico diverso (kg)	Papel Pardo (kg)	Papel Branco (kg)	Papéis diversos (kg)	Papelão (kg)	

Fonte: Autora, 2019.

Cada tipo de resíduo foi acomodado em sacos plásticos e depositado em locais separados para destinação adequada. Os resíduos destinados a comercialização foram acomodados conforme o tipo, em locais separados até seu volume se tornar viável à venda.

Já o resíduo têxtil foi sendo acomodado em sacos plásticos em local seco, sem iluminação direta até o final da pesquisa (Figura 29), pois, foi necessário acumular o resíduo têxtil até atingir o volume ideal para sustentar a logística de transporte.

Figura 29- Resíduo têxtil acomodado em sacos após o processo de triagem



Fonte: Autora, 2019.

Os resíduos têxteis foram encaminhados a uma empresa de trituração localizada na cidade de Suzano, São Paulo, para fins de reciclagem mecânica, pois, o município de Passos, MG não dispõe de comprador para tal resíduo.

4.2.3 . Viabilidade Técnica da Triagem

A viabilidade foi fundamentada na relação entre produtividade, custo operacional e custo de logística. O fator produtividade foi mensurado a partir da capacidade produtiva de separação e do tempo de trabalho conforme Equação 2.

$$\text{Produtividade} = \text{Produção} / \text{Tempo} \quad (2)$$

No fator custo operacional foi observados o valor da hora de um funcionário e o volume de resíduo separado, conforme Equação 3 e 4.

$$\text{Valor da hora de trabalho} = \text{Salário} / \text{Números de horas trabalhadas no mês} \quad (3)$$

$$\text{Custo operacional} = \text{horas trabalhadas} \times \text{valor da hora de trabalho} \quad (4)$$

A logística foi mensurada segundo o custo do frete, somado ao custo de carregamento do caminhão e teve como base o resíduo têxtil, uma vez que os resíduos recicláveis não têxteis foram retirados pelo comprador no local da pesquisa sem custo adicional.

4.2.4 Caracterização dos Resíduos Têxteis para a Confecção das Amostras

Para caracterização dos resíduos têxteis foi necessário conhecer o volume de produção conforme o tipo de tecido utilizado segundo sua composição. Para isso, a cada processo de corte realizado, foi retirado uma amostra do enfiesto em medidas aproximadas de 100 mm por 100 mm, denominadas de “Corpo de Prova” (Figura 30b) e sobre ele foi registrado o mesmo código do modelo mapeado no enfiesto e descrito na ficha técnica (Figura 30a) que reúne todas as informações pertinentes ao processo produtivo da empresa e a este trabalho, como: descrição do modelo, composição dos tecidos utilizados no mesmo modelo, planejamento do mapa de corte.

Figura 30-Recursos usados para coletar a amostra dos enfiestos: ficha técnica (a); corpo de prova do corte (b)



a. Ficha Técnica

b. Corpo de Prova

Fonte: Autora, 2019.

A delimitação da amostra também considerou: o tipo de trama dos resíduos para viabilizar o processo de trituração; a composição com menor valor de comercialização para fins de reciclagem mecânica e a viabilidade técnica para realização da pirólise.

4.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, QUÍMICA DOS RESÍDUOS TÊXTEIS E DOS SUBPRODUTOS DE PIRÓLISE

Para conhecer o potencial de reciclabilidade térmica dos resíduos têxteis usados nesta pesquisa e as características dos subprodutos gerados, os resíduos foram homogeneizados e em seguida foram feitas análises física e químicas cujas metodologias utilizadas estão resumidas no Quadro 8.

Quadro 8- Metodologia para caracterização do resíduo têxtil e dos subprodutos gerados no processo de pirólise

Tipos de análises	Metodologia	Produtos
Perfil de Secagem	Morais, Rosa e Marconcini (2010); Caneda (2016).	Resíduo Têxtil
Densidade Aparente	Figueiredo (2011)	Resíduo Têxtil
Análise Imediata	ASTM-D 3173-85	Resíduo Têxtil
Umidade		
Cinza	ASTM D 2415-66	Resíduo Têxtil
Material volátil		
Teor de carbono Fixo (CF)	NBR 8299 ABNT (1983)	Resíduo Têxtil
Poder calorífico	ASTM 407-44	Resíduo Têxtil
Análise Termogravimétrica	CAIQ-USP (2019)	Resíduo Têxtil
Espectroscopia de infravermelho FTIR	Frontier FT-IR- da Perkin Elmer CAIQ-USP (2019)	Resíduo Têxtil
Análise elementar	ASTM 5373 (2002) CAIQ-USP (2019)	Resíduo Têxtil e Carvão
Microscopia Eletrônica de Varredura	Central de Análises Químicas (CAQ) da USP-Ribeirão Preto (2019)	Resíduo Têxtil e Carvão
Determinação de carbono orgânico (TOC)	Laboratório de Recursos hídricos UNAERP- TOC-L-SSM-5000 A	Carvão
Cromatografia Gasosa com Espectro de Massas (CG/EM)	CAIQ-USP (2019)	Líquido
Rendimento Gravimétrico	Nicolini (2013)	Sólido, Líquido e Gás

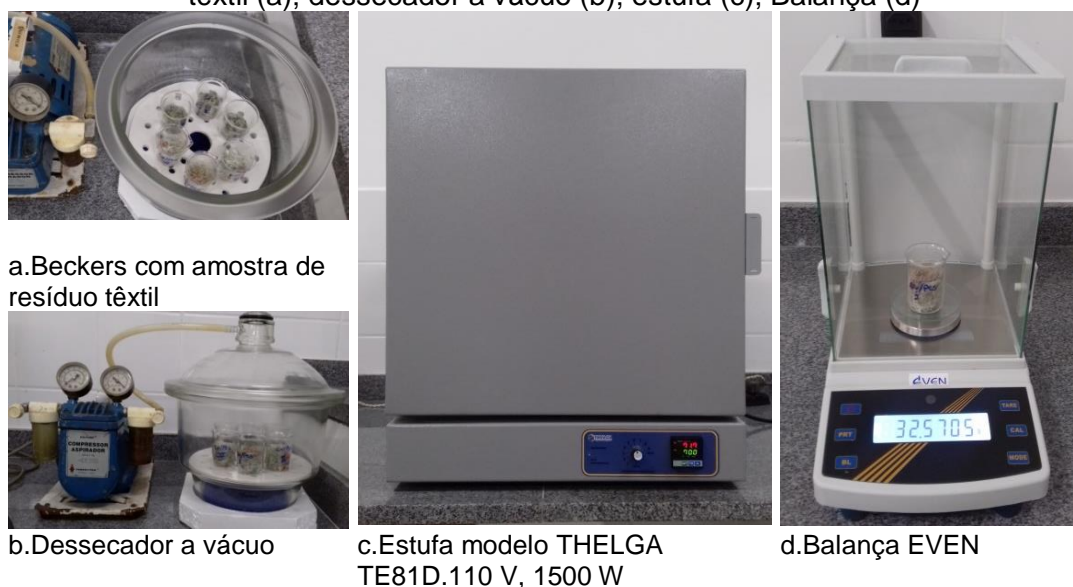
Fonte: Autora, 2019.

4.3.1 Perfil de Secagem

O perfil de secagem foi conduzido nas temperaturas de 60°C e 70°C conforme pesquisado por Caneda (2016), mas seguindo a metodologia apresentada por Paz (2017).

Foi colocado 1 grama de cada amostra do resíduo têxtil 100% CV e 55%CV 45%PES em beckers de 50 ml devidamente identificados (Figura 31 a). Em seguida, os mesmos foram inseridos em estufas com temperaturas de 60°C e 70°C por um período de 60 minutos (Figura 31 c). Depois, os recipientes foram colocados para resfriar por 15 minutos em dessecador a vácuo (Figura 31b). Posteriormente foram pesados em balança de precisão com 4 dígitos após a vírgula (Figura 31d).

Figura 31-Secagem da amostra de resíduo têxtil desfibrada: beckers com amostra de resíduo têxtil (a); dessecador a vácuo (b); estufa (c); Balança (d)



Fonte: Autora, 2019.

O processo foi conduzido em ciclos por 20 horas de secagem. Os valores encontrados foram tabulados, considerando a perda da umidade em função do tempo através da Equação 5.

$$U = (P_i - P_f) \times 100 \quad (5)$$

Onde

U umidade

P_i peso inicial

P_f peso final

O processo foi conduzido em triplicata para validação de reprodutibilidade.

4.3.2 Densidade Aparente

A densidade aparente refere-se à relação entre massa (porosa) da amostra pelo volume (g/m^3). Os procedimentos seguiram a metodologia definida por Figueiredo (2011), onde foi usada uma proveta de 100 ml e uma balança analítica de com 4 dígitos após a vírgula. A tara da proveta foi retirada e o composto fibroso do resíduo têxtil foi adicionado na proveta nos respectivos volumes 20 ml, 40 ml, 60 ml, 80, ml e 100 ml. Os valores foram submetidos a Equação 6.

$$D = \frac{m}{V} \quad (6)$$

Onde

D densidade aparente;

m massa da amostra;

V volume da amostra.

4.3.3 Análise Imediata

A análise imediata abrange os parâmetros: frações, umidade, cinza, volátil e carbono fixo de qualquer combustível sólido.

4.3.3.1 Teor de umidade

O teor de umidade das amostras de resíduo têxtil foi diagnosticado conforme a norma American Society for Testing and Materials (ASTM)-D 3173-85, cujo procedimento consiste em: retirar a tara de um cadinho de porcelana; adicionar 1 g da biomassa ao cadinho; secar a amostra durante 1 hora na temperatura de 110 °C; retirar a amostra e resfriá-la em dessecador por 15 min e pesar a amostra (seca) novamente. O cálculo do teor de umidade foi encontrado através da Equação 7.

$$Tu\% = \left[\frac{(P_i + P_{af}) - A_i}{P_{af}} \right] \times 100 \quad (7)$$

Onde:

$Tu\%$ % de umidade;

P_i peso do cadinho vazio (g);

P_{af} peso do cadinho + amostra final (g);

A_i peso inicial da amostra (g).

4.3.3.2 Teor de cinzas

A análise seguiu o método ASTM D 2415-66 que determina: pesar um cadinho de porcelana vazio; acrescentar uma quantidade de massa (1g); secar a massa em um forno mufla na temperatura de 900°C e taxa de aquecimento de 20°C/min por 2 horas; retirar a massa da mufla e colocar em estufa a 110°C para secar; resfriar a massa em dessecador por 20 min; pesar a amostra final. O teor de cinza foi determinado pela Equação 8.

$$T_{cz}\% = \frac{(P_{cz} - P_v)}{A_i} \times 100 \quad (8)$$

Onde:

- $T_{cz}\%$ teor de cinzas;
- P_{cz} peso do cadinho + cinza (g);
- P_v peso do cadinho vazio (g);
- A_i peso inicial da amostra (g).

4.3.3.3 Material volátil

O material volátil foi calculado por meio da norma ASTM D 2415-66, detalhada por Sánchez et al. (2009). O peso do cadinho de porcelana vazio foi anotado. Acrescentou 1 g de amostra ao cadinho, que foi aquecido em mufla a uma temperatura de 900°C na ausência de oxigênio por um período de 20 minutos. O cadinho com a amostra calcinada foi pesado. O teor de material volátil foi determinado por meio da Equação 9

$$M_v\% = \left[\frac{(P_v + A_i) - P_{af}}{A_i} \right] \times 100 \quad (9)$$

Onde:

- $M_v\%$ % material volátil;
- P_v peso do cadinho vazio (g);
- A_i peso inicial da amostra (g).
- P_{af} peso do cadinho + amostra final (g);

4.3.3.4 Teor de carbono fixo (CF)

A determinação do Teor de Carbono Fixo (C_f) foi obtida de modo indireto, obtido através da norma NBR 8299 (ABNT 1983) conforme a Equação 10.

$$Cf = \%U + \%Cz + \%Mv \quad (10)$$

Onde:

- Cf carbono Fixo;
- $\%U$ porcentagem de umidade;
- $\%Cz$ porcentagem de cinzas;
- $\%Mv$ porcentagem de material volátil

4.3.4 Análise Termogravimétrica

As análises termogravimétricas foram realizadas no equipamento Thermo Gravimetric Analyser (TGA) Q500, marca TA Instruments, pela Central Analítica do Instituto de Química da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP (CAIQ-USP). Foram usados ~2 mg de resíduos têxteis em cadinho de platina e taxa de aquecimento de 70°C/ min com temperatura máxima de 950°C em atmosfera inerte de N₂ a 60 ml/min.

As amostras foram coletadas nos intervalos de 156,81°C, 154,16°C, 370,92°C e 356,86°C.

4.3.5 Espectroscopia no Infravermelho-Transformada de Fourier (FTIR)

A análise por Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) conduzida no CAIQ-USP utilizou um espectrômetro Frontier FT-IR- da Perkin Elmer (Figura 32).

Figura 32- Espectrômetro Frontier FT-IR- da Perkin Elmer



Fonte: CAIQ -USP (2019).

Para identificar a presença de estruturas moleculares na amostra de resíduo têxtil através da interação de moléculas ou átomos com a radiação eletromagnética, os resultados foram registrados na forma de bandas de absorção da radiação no infravermelho que passaram através da amostra, sendo comparadas com as transmitidas na ausência de amostra. Os espectros foram coletados na faixa de 4000 a 400 cm^{-1} com resolução de 4 cm^{-1} e uma taxa de aquisição de 20 varreduras min^{-1} .

4.3.6 Análise Elementar

A análise elementar utilizada para determinar as porcentagens de carbono (C), nitrogênio (N), hidrogênio (H), oxigênio (O) e enxofre (S) foi conduzida em duplicata na CAIQ-USP conforme a metodologia de ASTM 5373/2002 através do Analisador Elementar Perkin Elmer 2400 series ii. Seu funcionamento está baseado no método de Pregl-Dumas, onde as amostras são sujeitas à combustão em uma atmosfera de oxigênio puro, e os gases resultantes dessa combustão são quantificados em um detector de condutividade térmica.

4.3.7 Poder Calorífico

Por se tratar de um material heterogêneo com misturas de fibras e substâncias químicas provindas do processo de beneficiamento, a análise de Poder Calorífico Superior (PCS) e inferior (PCI) foi determinada por meio de bomba calorimétrica modelo FTech- ISO5660 no laboratório Laboprime situado na cidade de Timbó-SC através da metodologia ASTM 407-44. Foram utilizadas 300 g de amostra seca de resíduos têxteis 100% CV e 55%CV 45%PES.

4.3.8 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

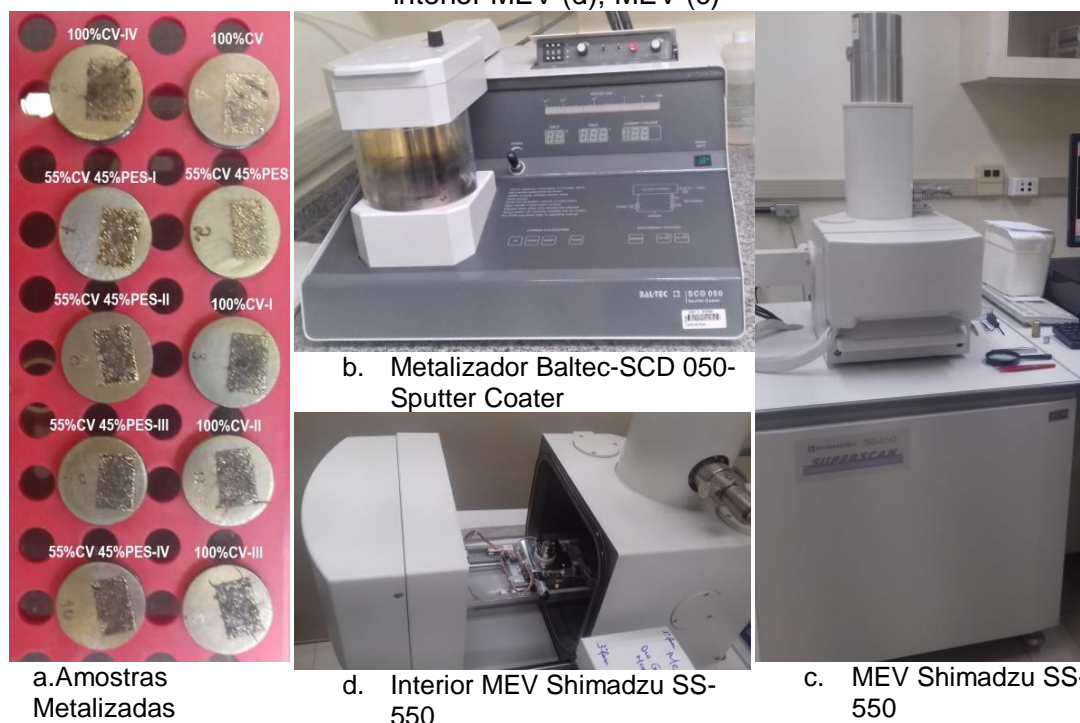
Para analisar a morfologia das fibras têxteis e dos carvões derivados do processo de pirólise em tempos e temperaturas variados, as análises foram submetidas a MEV na Central de Análises Químicas (CAQ) da USP-Ribeirão Preto.

Por se tratar de material de baixa condutividade, amostras foram preparadas com vapor de carbono e metalizadas a ouro (Figura 33.a) no metalizador Baltec-

SCD 050-Sputter Coater (Figura 33.b) e colocadas no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) Shimadzu SS-550 (Figura 33.c; d).

As amostras foram registradas na amplitude de 300, 1000 e 5000 vezes com 20.000 W de potência.

Figura 33- Microscopia Eletrônica de Varredura: amostras metalizadas (a); metalizador (b); interior MEV (d); MEV (c)



Fonte: Autora, 2019.

Durante as análises foi observado que o feixe de luz emitido nas amplitudes maiores que 5000X provocavam deterioração da fibra, impedindo seu registro. Por isso, foi determinado o limite máximo de 5000X para ampliação em todas as amostras.

4.3.9 Determinação de Carbono Orgânico Total (TOC)

A determinação de TOC no subproduto sólido foi conduzida em cromatógrafo, marca Shimadzu, modelo TOC-L-SSM-5000 A, no laboratório de Recursos Hídricos da UNAERP realizada através do método de oxidação por combustão catalítica na temperatura de 900°C.

O carbono presente na amostra foi oxidado e convertido a óxido de carbono (CO_2) e detectado no detector de infravermelho não dispersivo.

4.3.10 Cromatografia Gasosa com Espectro de Massas (CG/EM)

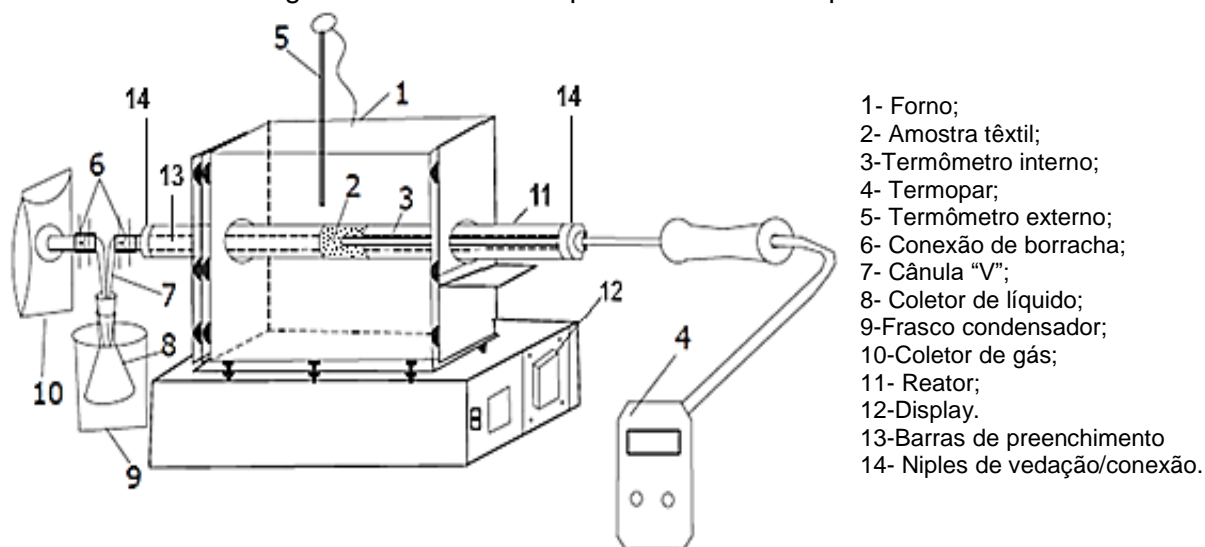
Para caracterizar as moléculas por meio da determinação da relação massa/carga (m/z) de íons foi utilizada a Cromatografia Gasosa com Espectro de Massas (CG/EM) QP2010 Ultra SHIMADZU. As análises foram conduzidas com no laboratório da CAIQ-USP, São Paulo.

4.4 SISTEMA DE PIRÓLISE PARA RESÍDUOS TÊXTEIS

4.4.1 Aspecto Físico do Reator Pirolítico e seus Componentes

A proposta da pesquisa foi desenvolver a reciclagem termoquímica dos resíduos têxteis mais consumidos na indústria de confecção estudada em escala de bancada, usando um reator de leito fixo, sem fluxo de gás inerte, com sistema para coleta de gás e líquido acoplado, instalado no Bloco B, Laboratório 03 na Universidade de Ribeirão Preto, com ajustes pertinentes ao material desta pesquisa. O layout do aparato para a execução da pirólise, após os ajustes necessários a esta pesquisa está retratado na Figura 34.

Figura 34- Desenho esquemático do reator pirolítico

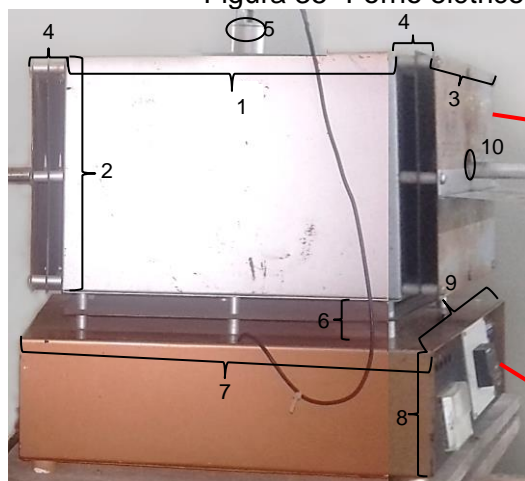


Fonte: Autora, 2019.

O aquecimento do reator foi induzido por um forno elétrico de acomodação tubular, com potência de 600 W, com display Contemp, modelo CTM44 sem mecanismos para controle da taxa de aquecimento (Figura 35). Este mecanismo tem

por finalidade executar o processo de pirólise para observar o comportamento térmico dos resíduos e armazenar os subprodutos gerados no estado sólido, líquido e gasoso

Figura 35- Forno elétrico com display Contemp modelo CTM44



- 1-Comprimento Forno- 37 cm
- 2-Altura do forno- 25,3 cm
- 3-Largura do forno-25 cm
- 4-Largura da grelha -3,8 cm
- 5-Circunferência do termômetro externo 3 cm
- 6-Altura entre a base e o forno- 5 cm
- 7-Comprimento da base display- 45,2 cm
- 8-Altura da base display-13,3 cm
- 9-Largura da base display- 35,3 cm
- 10-Circunferência do da base para inserção do reator- 4,5 cm

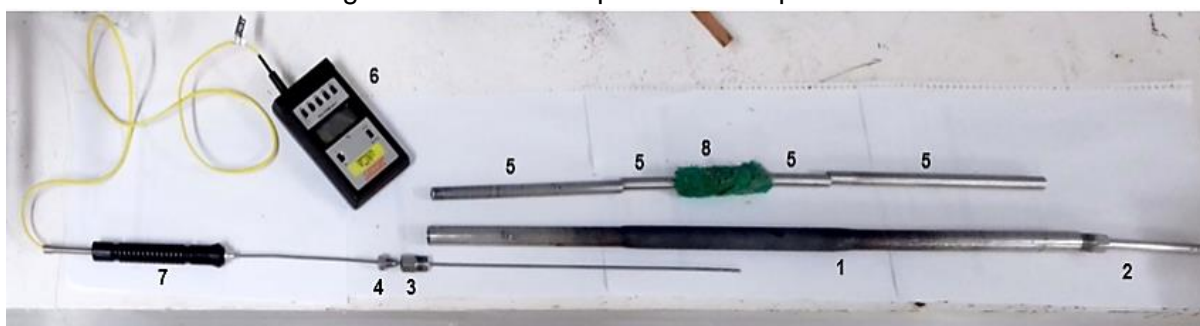
Forno.

Display para programação de temperatura.

Fonte: Autora, 2019.

A Figura 36 apresenta de forma detalhada o reator de pirólise e todos os seus componentes. O item 1 indicado na Figura 36 corresponde a um o reator cilíndrico e horizontal de leito fixo sem fluxo de gás construído em escala de bancada nas medidas de 600 mm de comprimento, 25 mm de diâmetro interno 3 mm de diâmetro externo e com rosca interna nas duas extremidades.

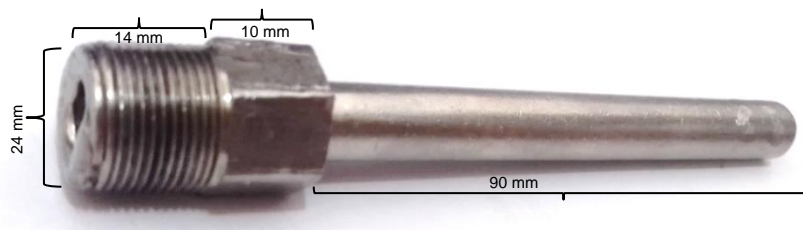
Figura 36- Reator de pirólise e componentes



Fonte: Autora, 2019.

O componente 2 refere-se ao Niple direito (Figura 37) feito nas medidas de 10 mm, que conecta à rosca externa com medidas de 14 mm de comprimento e 24 mm de diâmetro a uma barra perfurada de 90 mm de comprimento por 7 mm de diâmetro interno e usado para conectar o reator aos componentes para coleta de gás e líquido.

Figura 37- Niple direito para vedação do lado direito do reator



Fonte: Autora. 2019.

O componente 3 refere-se ao Niple esquerdo feito com 50 mm de comprimento, 24 mm de diâmetro com rosca externa na extremidade direita e 15 mm de diâmetro com rosca interna do lado esquerdo (Figura 38 a) usado para vedar o lado esquerdo do reator.

Já a Contra Porca (componente 4) feita nas medidas com 11 mm de comprimento, 14 mm de diâmetro externo com rosca de pressão externa tipo “K” (Figura 38 b) é utilizada para vedar o Niple esquerdo, prender e vedar a haste do sensor interno de temperatura.

Figura 38- Componentes utilizados para vedação do reator: Niple esquerdo do reator (a); contra porca de vedação do Niple esquerdo (b)



a.Niple esquerdo

b.Contra porca

Fonte: Autora, 2019.

Para ocupar as lacunas vazias dentro do reator e reduzir o volume de oxigênio, foram usadas barras de preenchimento (componente 5) (Figura 39) feitas com 190 mm e 60 mm de comprimento, 24 mm de diâmetro externo e 5 mm de diâmetro interno usado para acoplar o sensor de temperatura do lado esquerdo do reator, e do lado direito, permitir a percolação do líquido para o sistema de coleta de líquido e gás durante o processo pirolítico.

Para suportar altas temperaturas os itens 1,2,3,4,5, foram construídos em aço inoxidável.

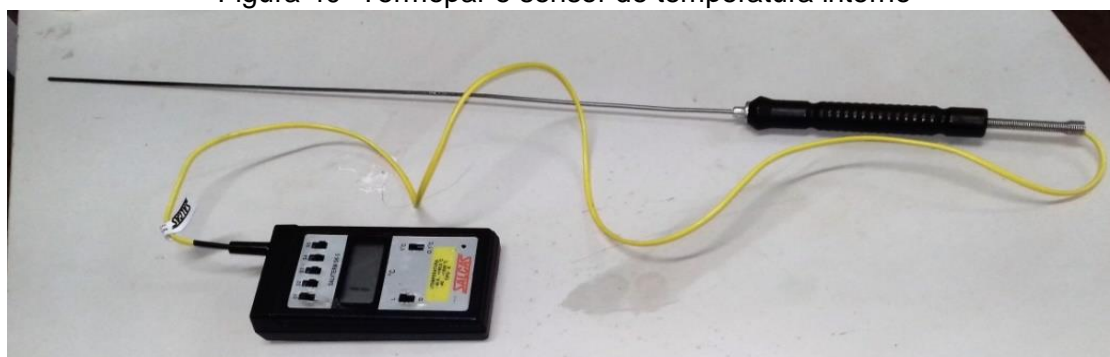
Figura 39- Barras de preenchimento interno do reator



Fonte: Autora, 2019.

Para aferir a temperatura interna foi utilizado um Termopar digital marca Salca-Salvterm, modelo SK-5 (componente 6) acoplado a um sensor de temperatura interno tipo K (componente 7) com haste de 500 mm de comprimento e 3 mm de diâmetro (Figura 40).

Figura 40- Termopar e sensor de temperatura interno



...Fonte: Autor, 2019.

O componente 8 refere-se a amostra de resíduo têxtil desfibrada (Figura 41) e seca posicionada no centro do reator, entre os dois conjuntos de barras de preenchimento.

Figura 41- Resíduo têxtil desfibrado

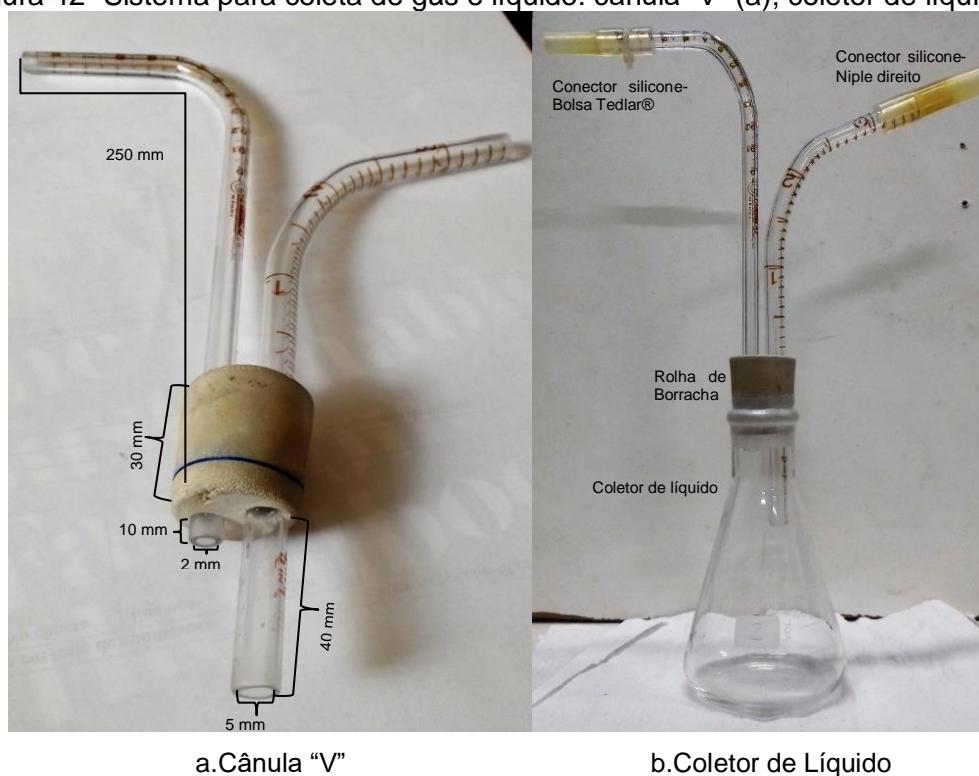


Fonte: Autora, 2019.

4.4.1.1 Sistema para coleta de gás e líquido

Após observação de pré-testes o sistema para coleta de material foi desenvolvido com uma cânula “V” (Figura 42 a), formada por pipetas de vidro de 5 mm e de 7 mm, ambas com 250 mm, aquecidas para serem moldadas em bico de Bunsen a uma temperatura de 600°C.

Figura 42- Sistema para coleta de gás e líquido: cânula “V” (a); coletor de líquido (b)



a. Cânula “V”

b. Coletor de Líquido

Fonte: Autora, 2019.

A pipeta de 5 mm foi posicionada a um ângulo de 90°, já a pipeta de 7 mm foi colocada em ângulo de 60°. Ambas foram inseridas em rolha de cortiça de 30 mm de comprimento por 20 mm de diâmetro. A pipeta de 7 mm foi inserida com 40 mm e a pipeta de 5 mm foi inserida com 10 mm.

O coletor de líquido foi desenvolvido com um erlenmeyer de 250 ml com abertura de 20 mm de diâmetro (Figura 42 b), para proporcionar um perfeito encaixe com a rolha de conexão da cânula “V” e evitar o vazamento de gás e a entrada de oxigênio. Para conexão, da cânula “V” ao niple direito foi usado mangueiras de silicone com espessura de 2 mm e 5 mm de diâmetro interno. Para conectar a cânula “V” ao coletor de Gás marca Tedlar® Bags feito em fluoreto de polivinil

(Tedlar®), com capacidade de um litro e válvula de fechamento (Figura 43) foi usado uma mangueira de silicone com espessura 2 mm e 2 mm de diâmetro interno.

Figura 43- Coletor de gás em fluoreto de polivinil, marca Tedlar®Bags de 1litro.



Fonte: Autora, 2019.

4.4.1.2 Acessórios para manuseio da amostra

As amostras de fibra selecionadas na primeira etapa, foram submetidas a pré-testes de pirólise para adequação dos acessórios do reator, tempo e temperatura.

Para evitar formação do campo magnético provocado pela movimentação de vai e vem, necessária para a compactação do resíduo dentro do reator e, para preservar a ponta do sensor de temperatura, foi desenvolvida uma haste em madeira de 500 mm por 10 mm (Figura 44).

Figura 44- Haste de madeira para compactação da amostra no reator



Fonte: Autora, 2019.

Para evitar o desperdício de amostra (já pesada) e a obtenção de umidade no momento da inserção do material no reator e a alteração significativa de massa, foi acoplado um funil plástico a ponta do reator e usado uma pinça metálica para facilitar a inserção e evitar o contato com a amostra após sua secagem (Figura 45).

Figura 45- Funil plástico e pinça metálica para inserção da amostra no reator



Fonte: Autora, 2019.

Para separar gás e líquido de modo eficiente, foi utilizada a cânula “V” (Figura 42a). Neste sistema, gás e líquido seguiram o mesmo percurso até chegar ao recipiente de líquido, imerso em gelo (Figura 46).

Figura 46- Sistema para coleta de gás e líquido



Fonte: Autora, 2019.

O gás, composto por substâncias de elevado peso molecular em contato com a atmosfera fria, foi condensado, formando o alcatrão, que ficou armazenado junto com a fração líquida em um mesmo recipiente, enquanto o gás leve seguiu para o coletor de gás.

4.4.1.3 Limpeza e higienização do mecanismo

Ao longo dos pré-testes foi observado que o estado líquido das fibras, sobretudo as de origem sintética, assumiu forma oleosa, espessa e de difícil remoção, sendo necessário usar uma mistura de solvente, água e sabão associado ao uso de lixas, palha de aço e hastes de rosca sem fim com uma broca soldada em uma das extremidades para efetuar a limpeza interna do reator (Figura 47).

Figura 47- Haste para limpeza do reator e componentes



Fonte: Autora, 2019.

Diante das especificidades do reator e da amostra têxtil, toda metodologia foi desenvolvida para o processo pirolítico dos resíduos têxteis 100%Viscose (100%CV) e 55%Viscose 45%Poliéster (55%CV 45%PES).

4.4.2 Planejamento Experimental

O delineamento experimental observou as particularidades das fibras envolvidas e do mecanismo utilizado na reciclagem termoquímica para estabelecer pontos comuns entre tempo e temperatura. Nestas condições os experimentos foram desenvolvidos nas temperaturas de 500 e 700°C, no tempo de 30 e 60 min, conforme apresentado no Tabela 8.

Tabela 8-Planejamento Experimental

Tempo (min)	Temperatura (°C)	
	700	500
60	I	II
30	III	IV

Fonte: Autora, 2019.

A taxa de aquecimento não pôde ser controlada devido a configuração do forno. As análises foram realizadas em triplicata para cada amostra, para validação dos resultados.

4.4.3 Padronização e Secagem da Amostra de Resíduo Têxtil

A primeira fase para execução da pirólise de resíduo têxtil refere-se à homogeneização da amostra para evitar a dissipação de calor irregular durante os experimentos. Para isso, os resíduos têxteis de tecido plano foram fatiados no

sentido diagonal da trama com máquina de costura reta Refiladeira Marca Sun Especial Modelo CG 6170 na largura de 5 mm e comprimento variados entre 30 mm e 70 mm conforme apresentado na Figura 48.

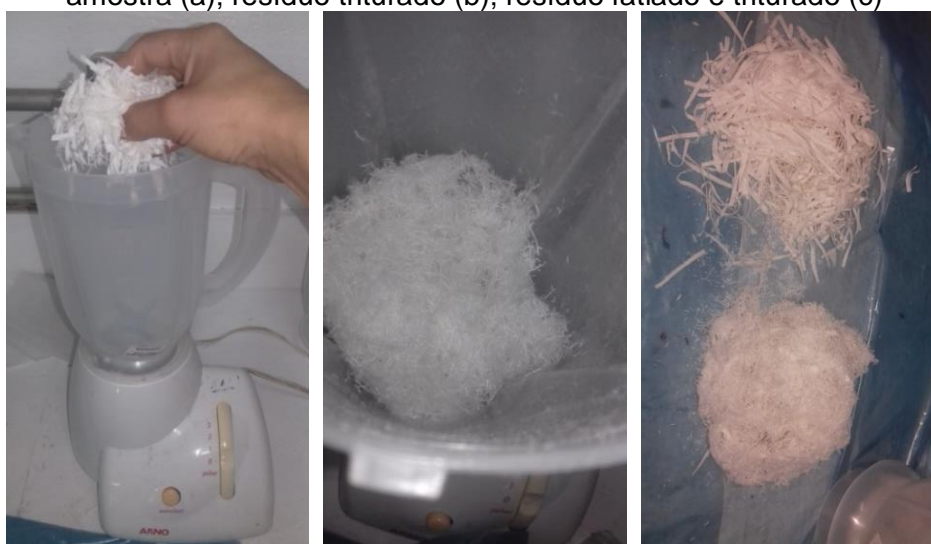
Figura 48- Fatiamento do resíduo têxtil proveniente do setor de corte da empresa ICP na máquina de costura refiladeira



Fonte: Autora, 2019

Em seguida, os resíduos fatiados foram triturados em liquidificador marca Arno, modelo MagicClean com capacidade de 1,5 litros (Figura 49a).

Figura 49- Processo de trituração do resíduo têxtil fatiado na máquina refiladeira: inserção da amostra (a); resíduo triturado (b); resíduo fatiado e triturado (c)



a. Inserção da amostra

b. Resíduo têxtil triturado

c. Resíduo fatiado/ Resíduo triturado

Fonte: Autora, 2019.

Para isso, uma pequena fração (aproximadamente 15 gramas) do resíduo têxtil foi acomodada dentro do liquidificador para ser triturado. A pequena quantidade acomodada dentro do liquidificador foi determinada para elevar sua potência de trituração sobre o tecido, evitar o enroscamento e o superaquecimento em sua faca, uma vez que o material foi triturado a seco.

O processo foi executado em etapas de 15 segundos com intensa rotação e intervalados de aproximadamente um minuto para resfriamento da faca do liquidificador, até a amostra adquirir forma de composto fibroso homogêneo com espessura de ~1 mm e comprimento ≥ 40 mm (Figura 49b).

Para secagem da amostra, o composto fibroso de resíduo têxtil foi acomodado em um Béquer com capacidade para 50 ml e inserido na estufa da marca FANEM modelo 315 - SE com capacidade de aquecimento até 300°C, a temperatura de 100°C por 60 minutos (Figura 50a).

Figura 50- Equipamentos usados na secagem: estufa (a); dessecador (b)



a.Estufa

b.Dessecador

Fonte: Autora,2019.

Em seguida o béquer foi colocado no dessecador Marca Agatec (Figura 50b) para resfriar por 30 minutos. A secagem da amostra ocorreu em ciclos até a atingir massa constante

4.4.4 Experimentos de Pirólise nos Resíduos Têxteis

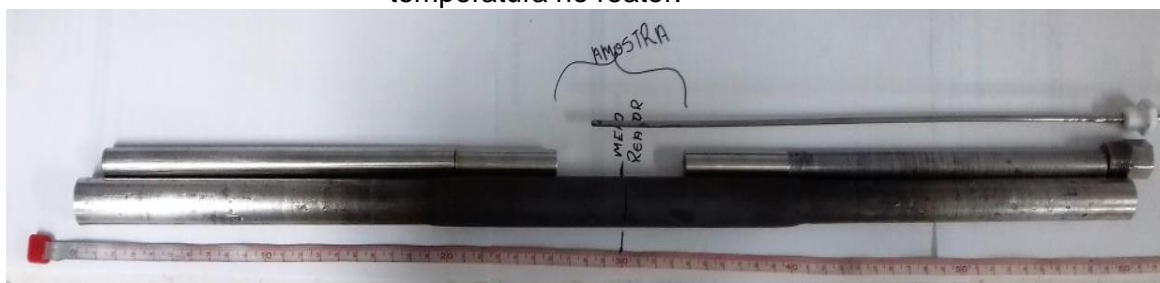
A segunda etapa no processo de pirólise é a montagem do reator. Por se tratar de um reator sem mecanismo para a inserção de gás inerte de arraste, foram usados preenchedores para completar todo o espaço vazio e reduzir drasticamente a presença de oxigênio dentro do reator.

Para garantir o devido registro de temperatura no momento da pirólise, a amostra de resíduo têxtil foi gabaritada no centro do reator, entre preenchedores

internos de mesmo tamanho (250 mm para lado esquerdo e direito da amostra) e, da haste do sensor de temperatura (Figura 51).

O tamanho ótimo da amostra foi determinado em 10 gramas, cujo espaço ocupado dentro do reator após a compactação foi de 80 mm.

Figura 51- Padronização dos preenchedores, tamanho da amostra e posição do sensor de temperatura no reator.



Fonte: Autora, 2019.

A montagem do reator foi iniciada pelo lado esquerdo. A Rosca “K” foi vedada e inserida na haste do sensor de temperatura juntamente com o Niple esquerdo, que foi enroscado a rosca “K”. Em seguida, foram inseridas as barras de preenchimento (primeiro a barra menor, depois a maior) e o Niple esquerdo foi vedado.

Em seguida, o reator (com todas as partes do lado esquerdo já montada) foi pesado juntamente com os componentes do lado direito (Niple direito vedado, barras lado direito e uma fita (07 cm) de para filme sem a proteção de papel) e o peso foi anotado para fins de balanço de massa como “Massa do Reator Inicial (MRI) ”.

Em seguida, o reator foi preso em um torno em ângulo de aproximadamente 45° e um funil plástico foi anexado a sua ponta. Foram inseridas no reator 10 g de amostra com uma pinça e compactada com uma haste de madeira. Na sequência, foram adicionadas as barras de preenchimento do lado direito e o reator foi fechado com o Niple esquerdo e vedado com o Para Filme (pesado, anteriormente junto com o reator vazio).

O reator com todos os componentes (direito e esquerdo e amostra) foram pesados e o valor foi anotado no campo “Massa do reator + resíduo têxtil (MRrt) ”.

O reator foi colocado dentro do forno, a cânula “V”, já encaixada e vedada ao erlenmeyer, foi pesada (MCvi), encaixada e lacrada com braçadeira de silicone ao niple direito e ao coletor de gás. O erlenmeyer foi inserido dentro de um recipiente com gelo, e por fim, o sensor de temperatura foi conectado ao termopar.

4.4.5 Rampa de Aquecimento

O forno foi ligado e configurado para temperatura determinada no planejamento experimental. Os valores da temperatura, registrados no termopar, foram anotados a cada 30 segundos, e simultaneamente, foi realizado o monitoramento de vazamento de gás nas conexões do reator.

Os dados coletados foram usados para calcular a rampa de aquecimento, uma vez que o forno não oferece opções de controle para tal parâmetro. A rampa de aquecimento foi encontrada através da Equação 11 sugerida por Nicolini (2013):

$$Ra = \left(\frac{Tf - Ti}{Hf - Hi} \right) \quad (11)$$

Onde:

Ra rampa de aquecimento;
Tf temperatura final;
Ti temperatura inicial;
Hi tempo inicial;
Hf tempo final.

Quando o tempo pré-determinado no planejamento experimental foi alcançado, o forno foi desligado e seu resfriamento foi otimizado com o auxílio de um fluxo de ar frio emitido por um secador de cabelo. Ao atingir a temperatura entre 160°C e 150°C, o reator foi aberto.

4.5 COLETA DE MATERIAIS E RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO

Após atingir a temperatura de segurança (entre 160°C a 150°C), a válvula do Coletor de gás foi travada e o conector do sensor de temperatura, solto do termopar. As braçadeiras foram rompidas, e a cânula “V” foi desconectada do coletor de gás e do reator. O reator foi retirado do forno e pesado (MRf), assim como a Cânula “V” com líquido pirolisado (MCvf).

Para coletar da fração sólida, o reator foi preso no torno e os Niples do lado direito e esquerdo foram soltos. As barras de preenchimento foram retiradas com auxílio da chave de rosca contrária.

Um vasilhame identificado foi acoplado na extremidade do reator e o subproduto sólido da pirólise foi empurrado com um bastão para dentro do

vasilhame, e a fração líquida foi armazenada em tubo de ensaio, devidamente identificado, para futuras análises.

O rendimento gravimétrico dos subprodutos gerados no processo de Pirólise (sólido, líquido e gás) seguiram as orientações da NBR 8112 (ABNT 1986), descritas por Nicolini (2013) e foram quantificados por meio do balanço de massas conforme as equações:

$$M_{rt} = M_{Rrt} - M_{Ri} \quad (12)$$

$$S = M_{Rrt} - M_{Rf} \quad (13)$$

$$L = M_{Cvf} - M_{Cvi} \quad (14)$$

$$G = M_{rt} - (S + L) \quad (15)$$

Onde:

M_{rt} Massa da amostra de Resíduo Têxtil;

M_{Ri} Massa do reator somada aos componentes e fatia de para filme (sem proteção);

M_{Rrt} M_{Ri} somada a amostra de resíduo têxtil;

M_{Rf} Massa do reator com a amostra de resíduo têxtil já pirolisada;

S Massa sólida do subproduto gerado após a pirólise;

M_{Cvi} Massa da Cãnula "V" acoplada ao frasco coletor vedado, as conexões de borracha de silicone;

M_{Cvf} Massa da Cãnula "V" acoplada ao frasco coletor vedado, as conexões de borracha de silicone com o líquido gerado no processo de pirólise;

L Massa da fase líquida;

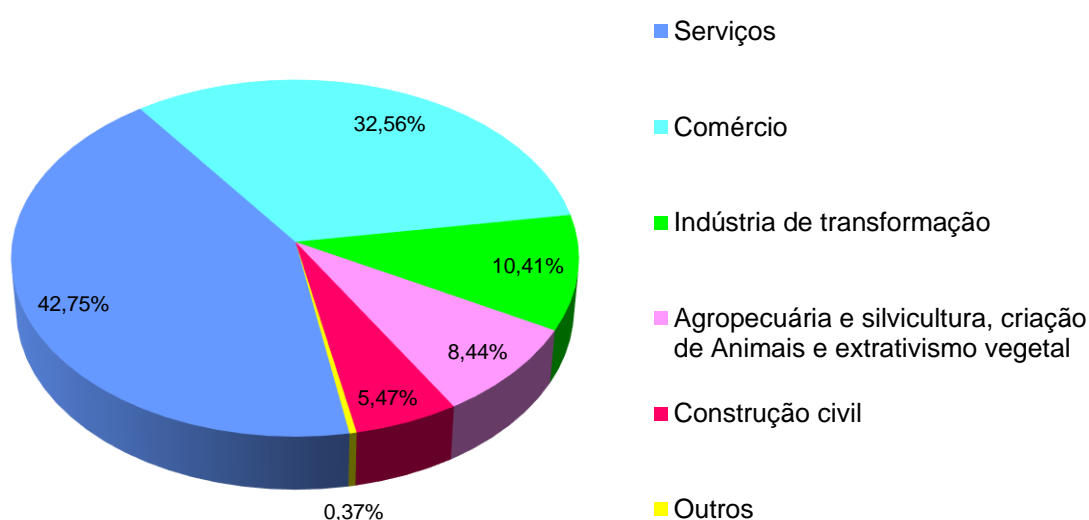
G Massa da fase gasosa.

Ao final de cada processo, os equipamentos foram submetidos ao processo de limpeza e higienização e em seguida, secos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A pesquisa foi conduzida no APL de confecção do município de Passos, MG localizado na Mesorregião do Sul e Sudoeste de Minas cuja população estimada é de 113.998 habitantes distribuídos em uma área total de 1.338.070 km² (IBGE, 2018). Considerada a 4^a maior cidade do Sul/Sudoeste Mineiro e a 25^a do Estado de Minas Gerais (Passos, 2014), sua economia está baseada nos setores de comércio, serviços, indústria de transformação, agropecuária, construção civil e outros, como mostra a Figura 52 (MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO (MTE), 2019).

Figura 52- Setores econômicos do município de Passos, MG



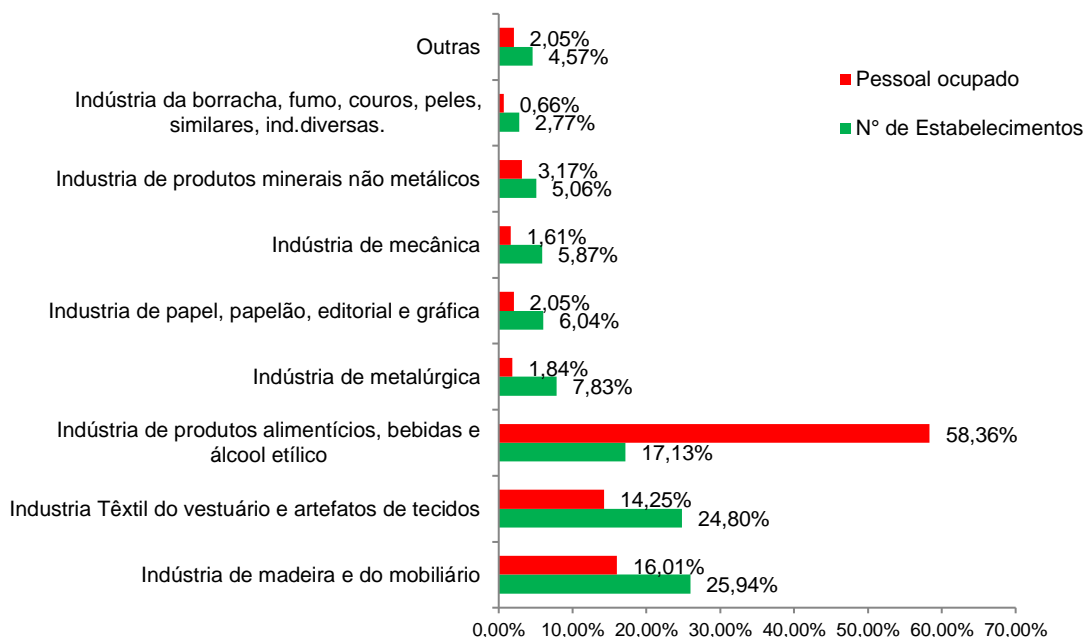
Fonte: MTE, 2019.

Dentro da indústria de transformação, as atividades com maior representatividade no município são as indústrias moveleira (25,94%) de confecção do vestuário (24,80%) e alimentícia (17,13%) (Figura 53). Em termos de empregabilidade a indústria alimentícia possui maior representatividade com (58,36%) seguida da indústria moveleira (16,01%) e da indústria de confecção do vestuário (14,25%). De acordo com a Junta Comercial do Estado de Minas Gerais (JUCEMG) (2017⁶), o município de Passos possuía em novembro de 2017, 8.817

⁶ Dados fornecidos pela JUCEMG, unidade de Passos, MG no dia 26/11/2017.

empresas ativas, destas, 4.481 eram microempreendedores individuais (MEI), 3.487 Média Empresa (ME), 433 Empresa de Pequeno Porte (EPP) e 415 outras.

Figura 53- Estabelecimentos da indústria de transformação no município de Passos, MG



Fonte: MTE, 2019

Os segmentos com maior predominância foram comércio (2.054 empreendimentos), serviços (1.717 empreendimentos) e indústria (564 empreendimentos), sobretudo atividades ligadas ao comércio varejista de artigos do vestuário e acessórios, seguidos da fabricação de móveis em madeira rústica e atividades de transporte rodoviário (JUCEMG, 2017). Apesar dos dados distintos, as duas fontes pesquisadas ressaltaram a indústria de confecção do vestuário como sendo uma das atividades industriais mais importantes do município de Passos, MG.

Quanto ao gerenciamento de resíduos sólidos, o município apenas desfruta de um PMSB desde de 2014, mas não apresenta condições específicas a empresas consideradas como pequeno gerador passível, isso inclui empresas de confecção de pequeno porte, apesar da representatividade do setor no município. De modo geral, o município gera em média de 60 toneladas por dia, sendo que 30% deste montante correspondem aos resíduos de construção civil e 126 Kg/dia aos resíduos de

serviços de saúde, assim, a média de resíduo domiciliar gerado chega a 0,370 kg/hab./dia⁷.

Segundo os estudos gravimétricos conduzidos em 2014, os resíduos domiciliares do município de Passos são compostos por 55% de material orgânico, 3% papel fino, 4% papelão, 11% plástico, 1% metal, 1% vidro branco, 2% vidro colorido, 2% embalagem tetra parck, 3% tecido (trapo), 1% embalagens eletrônicas e baterias, 10% resíduos de banheiro, 1% RDC, 6% outros.

Nesta proporção o descarte de resíduo têxtil por dia chega a 1.256.22 kg/dia, uma média de 37.686,6 kg/mês, sendo que a maior parte deste volume tem como origem as indústrias de confecção do vestuário que descartam os resíduos têxteis em vias públicas sem nenhum tratamento prévio.

Entretanto, o comportamento deste setor empresarial está amparado pelas legislações vigentes no município, as quais afirmam que, os resíduos sólidos caracterizados como domiciliares podem ser disponibilizados para serem coletados e destinados adequadamente pelo poder público municipal (Passos, 2014). Mas, os problemas provocados pelo descarte de resíduo têxteis em aterros configuram em diversos impactos ambientais como retratado no item 3.2 desta pesquisa.

5.1 DIAGNÓSTICO DOS RESÍDUOS GERADOS PELA INDÚSTRIA ICP

5.1.1 Perfil da Indústria ICP

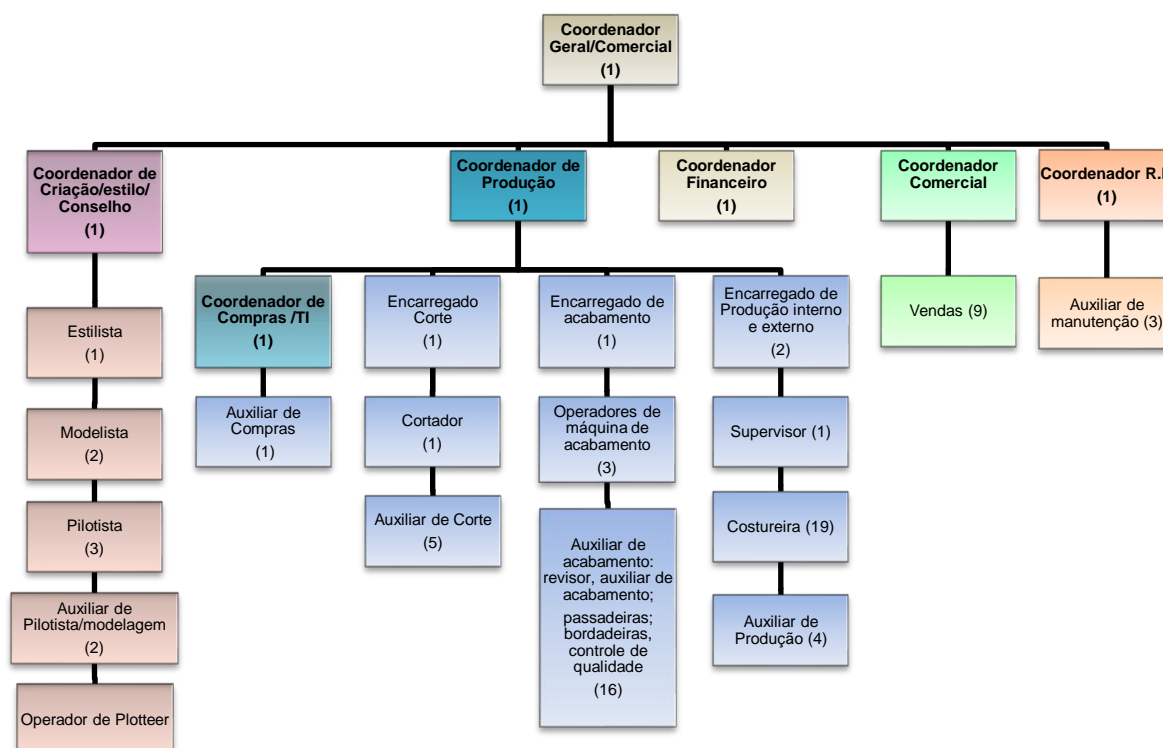
A indústria de confecção do vestuário brasileira é composta por 24.800 unidades produtivas (IEMI, 2018), sendo 96,8% caracterizadas como micro e pequeno porte (ABIT, 2017), com gestão predominantemente familiar ligada ao segmento feminino (52%) e (Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE, 2018) de baixos padrões tecnológicos (UNIETHOS, 2013), organizadas em APLs (ABIT (2015), e em sua maior parte não desenvolvem nenhuma ação direcionada ao gerenciamento dos resíduos têxteis, que são descartados junto aos resíduos domiciliares (TEIXEIRA, 2015).

⁷ Dados fornecidos pela engenheira ambiental Andiana Machado Mendes Miranda, locada na secretaria de obras da prefeitura de Passos, MG em novembro em 2018.

Frente a estas informações, parte da pesquisa foi conduzida no ano de 2017, em uma empresa de confecção do vestuário de pequeno porte e administração familiar voltada ao segmento feminino, sem ações direcionadas ao gerenciamento de seus resíduos, localizada no APL do município de Passos, MG.

A empresa ICP desenvolve diversos modelos observando as tendências de moda, sincronizadas com as estações primavera/verão e outono/inverno. Em 2017, a empresa possuía 81 funcionários distribuídos entre os setores de criação, produção, vendas e gestão (Figura 54), além de uma rede de fábricas espalhadas pelo polo produtivo da cidade de Passos, MG e produziu 86 mil peças de modelos variados (calça, saia, blusa, shorts, vestidos, macacão, camiseta), sendo 35 mil destinados à coleção outono/inverno e 51 mil à coleção primavera/ verão.

Figura 54- Organograma da indústria de confecção ICP



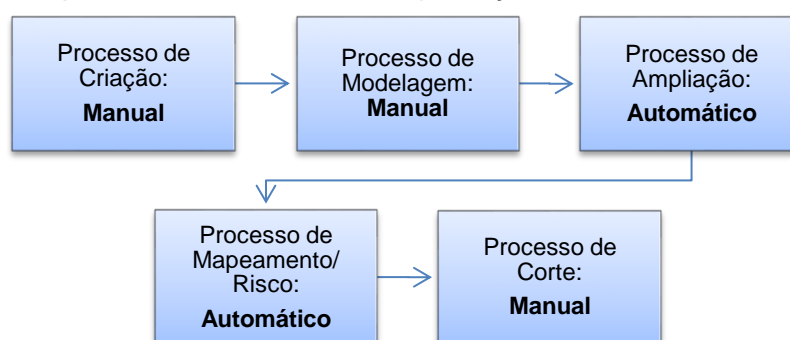
Fonte: Adaptado da empresa ICP

Conforme o organograma apresentado pela empresa ICP, a organização gerencial atua de forma interligada em todos os setores através de seus coordenadores. Esta estrutura favorece circulação de informações e a organização de atividades de forma a promover maior produtividade e competitividade à empresa (BIERMANN, 2007; TEIXEIRA, 2015), além de contribuir para o gerenciamento de resíduos ao longo do processo operacional (GWILT, 2014).

Quanto ao grau de instrução dos colaboradores, os cargos de coordenador e estilista possuem graduação em suas respectivas áreas de atuação. Os demais funcionários possuem ensino médio completo e suas habilidades técnicas foram desenvolvidas por capacitação interna, ou, provenientes de experiências de trabalhos anteriores, exceto o operador do plotter que além do ensino médio e do treinamento interno, também possui cursos de capacitação na área de modelagem e informática. Para Rech (2006), Teixeira (2015) e Corso; Casagrande; Santos (2016) a exploração dos recursos tecnológicos está atrelada aos conhecimentos multivariados do profissional. Quanto maior a formação profissional do colaborador, maior será a capacidade estratégica da empresa para desenvolver atividades voltadas à produtividade com responsabilidade ambiental.

Com relação à tecnologia na área de criação, modelagem e corte (Figura 55), a empresa desenha e modela as peças de forma manual. Fotografava os moldes em sistema CAD-CAM. Transfere as imagens para o sistema CAD de risco de corte para desenvolver o mapeamento de corte automatizado. Imprime o mapa de corte em papel apropriado, e usa o papel impresso no processo de corte, que é desenvolvido de forma manual. Dessa forma, pode-se dizer que a empresa utiliza um sistema de corte com tecnologia mista, cuja média de desperdício de tecidos se mantém em 15%.

Figura 55- Esquema do sistema misto de produção da indústria de confecção ICP



Fonte: Autora, 2019.

Entretanto, os tecidos adquiridos pela empresa apresentam larguras e composições distintas e o mapa de risco é construído levando em consideração a menor largura dentre tecidos submetidos a um mesmo enfiesto (ALMEIDA, 2014). Com isso, a proporção de desperdício na empresa ICP é maior que os 15%

registrado no sistema CAD. Mas, a empresa não soube informar o valor desta diferença.

Sobre a forma de construção do enfiesto, a empresa afirmou que utiliza tecidos de composições mistas com estampas e larguras distintas (alguns deles importados da China), além de papéis para separar tecidos de mesma cor com tonalidades diferentes. Assim, os resíduos provenientes destes enfiestos são formados por diferentes tecidos com fibras e cores distintas, além da mistura com papéis. Para Sandin e Peters (2018), Amaral (2016), EMF (2017) a mistura de fibras nos tecidos e a mistura de tecidos com outros tipos de material limita o uso do resíduo têxtil em processos de reciclagem, já que toda a tecnologia voltada ao seu tratamento está atrelada ao tipo de fibra presente no material.

Quanto à gestão de seus resíduos, a representante da empresa declarou que apesar de compreender a importância das questões ambientais, faltam informações suficientes para remodelar sua conduta frente a este tema. Além disso, a concorrência de produtos importados tem reduzido à lucratividade da empresa levando-a contingenciar investimentos com retorno de longo prazo.

Esta conduta confere com as afirmações de Redmond; Walker; Wang (2008); Carvalho (2016) e Araújo e Fontana (2017) sobre a dificuldade dos gestores de confecção em incluir a gestão de resíduos em suas estratégias gerenciais. Desse modo, os resíduos têxteis gerados no setor de corte são acomodados e disponibilizados em vias públicas para ser coletados pelo poder público, como recomendado pelo PGRS do município (Passos, 2014).

A empresa ainda relata que não há cobrança, fiscal ou financeira para descartar seus resíduos em vias públicas, e que qualquer outra ação ligada a esta finalidade acarretará em despesas. Segundo Teixeira (2015), a falta de políticas públicas e fiscalização direcionada a indústria de confecção do vestuário incentiva os empresários deste setor a serem omissos quanto as suas obrigações ambientais, seja por negligência ou por imperícia.

5.1.2 Quantificação e Caracterização dos Resíduos Gerados no Processo de Corte

Segundo a empresa ICP sua taxa de desperdício foi de 15%. Esta proporção está entre uma das melhores taxas para o aproveitamento de tecidos, entretanto, quanto menor a taxa de desperdício, melhor o encaixe das partes da modelagem e

mais fragmentado são os resíduos gerados (KASEMSET et al., 2015). Para, EMF (2017), os padrões produtivos atuais da indústria têxtil e de confecção não favorece a reciclagem de seus produtos e afirma que a mudança para uma moda circular precisa acontecer em toda cadeia produtiva.

Ao final de 12 meses, os resíduos somaram 11.345,78kg de resíduo (média de 0,132kg/peça) distribuídos em 781 sacos com peso médio de 14,82 kg/saco. Uma média de 15 sacos/semana equivalente a 222,72 kg/semana (Tabela 9).

Tabela 9. Descrição dos resíduos gerados pela empresa ICP conforme peso e valor

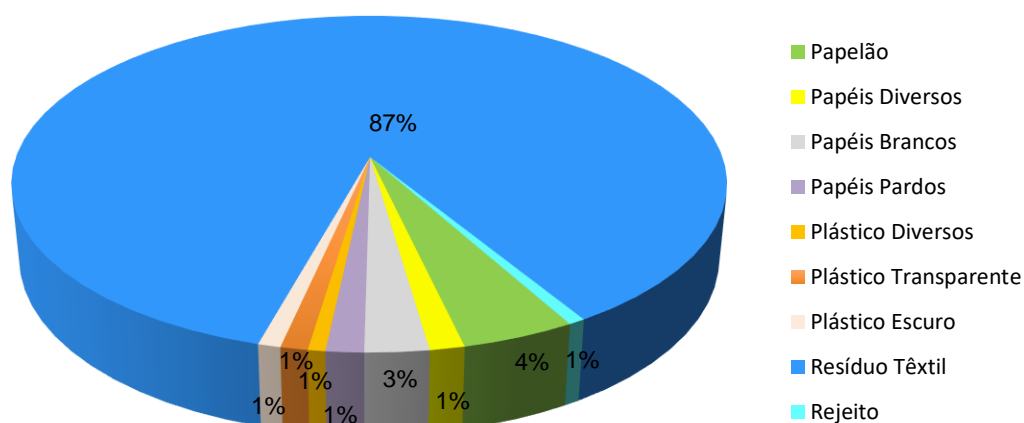
Resíduos	Peso (Kg)	Porcentagem (%)	Valor/kg * (R\$)	Valor total (R\$)
Papelão	503,579	4,44	0,10	50,36
Papéis Diversos	153,31	1,35	0,10	15,33
Papéis Brancos	282,463	2,49	0,15	42,37
Papéis Pardos	166,669	1,47	0,20	33,33
Plástico Diversos	76,875	0,68	0,10	7,69
Plástico Transparente	120,104	1,06	0,40	48,04
Plástico Escuro	99,845	0,88	0,40	39,94
Resíduo Têxtil	9868,05	86,98	0,16	1.578,89
Rejeito	74,885	0,66	-	-
Total	11345,78	100,00	-	1.815,95

Fonte: Autora, 2019.

*Valor pago pelas empresas de reciclagem na região de Passos, MG no período de 01/2017 a 01/2018.

Deste montante 86,98% são de resíduos têxteis; 12,36% são de materiais recicláveis e 0,66% são rejeitos (Figura 56).

Figura 56- Proporção de resíduos gerados pela empresa ICP no período de 12 meses



Fonte: Autora, 2019.

O espaço ocupado pelo resíduo têxtil foi mensurado, e as medidas encontradas foram de: 1,80m de altura; 6,30m de comprimento; 5,40m de largura. As medidas foram submetidas a Equação 12 destinada ao cálculo de volume.

$$V = a \times b \times c \quad (12)$$

E a Equação 13 destinada ao cálculo de área.

$$A = b \times a \quad (13)$$

Onde:

V representa o volume;

a o comprimento;

b a largura;

c a altura;

A a área

O resíduo têxtil acumulado apresentou um volume encontrado de 61,236 m³ e ocupou uma área de 34,02 m². Entretanto, a maior parte das indústrias de confecção de micro e pequeno porte não dispõem de espaço físico suficiente para destinar à esta finalidade (ARAUJO; FONTANA, 2017).

O tempo dedicado ao processo de separação foi contabilizado em 44 dias, com carga horária de 8 horas. E a média da capacidade produtiva de separação foi diagnosticada em 128,79 Kg/colaborador/dia. Uma média relativamente baixa, quando comparada com a média de produtividade citada pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) (2011), que é de 200 kg/dia/pessoa.

Considerando a especificidade do material triado e a infraestrutura utilizada na pesquisa, a média de produtividade pode ser considerada satisfatória, principalmente porque a capacidade produtiva de um colaborador consegue separar em 14 horas todo resíduo gerado em uma semana, uma média de dois dias de trabalho. Dainte dos resultados, a contratação de um colaborador somente para esta finalidade não é justificada, mas é interessante o consórcio de empresas para estruturação de uma empresa de triagem.

Esta estratégia de gerenciamento está prevista no Plano de Gerenciamento de Resíduo Sólidos descrito na seção V do art. 21, inciso IV da Lei 12305/2010, quando cita a “identificação das soluções consorciadas ou compartilhadas com outros geradores” (BRASIL, 2010b), contudo esta estratégia está sujeita a análise de viabilidade econômica.

Amaral (2016) descreve que em uma empresa de triagem, com infraestrutura adequada (empilhadeira, prensa hidráulica, balança industrial, mesa de separação)

e mão de obra capacitada, a quantidade de resíduo separado em 8 horas pode variar de 900 kg a 1200 kg, por isso, sugere que o espaço, número de equipamentos e a mão-de-obra devem ser calculados conforme o volume de resíduos têxteis e o tipo de separação executada (se misturados ou separados) para operar uma central de triagem.

Outro ponto analisado foi o valor de mercado dos resíduos conforme sua especificidade. Entre os resíduos não têxteis identificados na Tabela 9 o plástico possui o melhor valor de comercialização, seguido do papel pardo. Porém, foi percebido que o valor praticado para os resíduos é diferente do valor de mercado (NOGUEIRA, 2016). Este fato pode ser justificado, pois os resíduos desta pesquisa foram repassados a uma empresa mediadora instalada no município, responsável pela retirada do material.

Esta estratégia foi adotada para evitar custos de transporte. Barberena e Schulte (2012) afirmam que o atravessador retém parte dos lucros que poderiam ser destinados aos envolvidos no processo de triagem. Já Nogueira (2010) contrapõe afirmando ser uma estratégia viável para vendas de recicláveis.

Dentre as recicladoras têxteis mais próximas do local da pesquisa, somente uma transforma resíduos têxteis em produtos finais destinados a diversos mercados (cobertores, isolamento acústico, feltros, etc.), entretanto, esta empresa não compra resíduo têxtil sem intermédio de uma empresa desfibriladora que tem a responsabilidade de separar o material têxtil dos demais, sobretudo metal, triturá-los e revendê-los as empresas recicladoras finais.

Dessa forma, a negociação foi feita com uma empresa desfibriladora na cidade de Suzano, localizada a 433 km do local da pesquisa, a um preço de R\$ 0,16. Este valor está entre os menores praticados neste mercado, pois existe grande oferta de resíduos têxteis de cor e fibra mista (GREEBLUE, 2017), assim o valor total deste material foi contabilizado em R\$ 1.578,89.

Para o transporte dos resíduos foi selecionado um caminhão Truck, com tara máxima de 14500 kg, o valor do frete foi acordado em R\$1200,00. Amaral (2016) considera a distância como impeditivo para reciclagem de resíduo têxtil, já que as indústrias recicladoras não estão presentes em todo território nacional. Assim é necessário criar estratégias compartilhadas entre a indústria de confecção do vestuário e as recicladoras de resíduo têxtil do país.

A despesa registrada nesta pesquisa foi de R\$1200,00, referente ao serviço de transporte. Por se tratar de uma pesquisa, despesas administrativas como: pagamento de colaboradores, serviços de água, luz, telefone, aluguel não foram contabilizadas, pois a pesquisa ocorreu em parceria com voluntários, ONG e prefeitura.

As receitas com o resíduo têxtil comercializado somaram R\$ 1.815,95 conforme mostra a Tabela 9, sendo, R\$ 1.578,89 referente a venda de resíduos têxteis, e R\$ 237,06 referente a venda de resíduos recicláveis não têxteis. Assim, o lucro bruto foi de R\$ 615,95. Este saldo é positivo para esta pesquisa, isenta de despesa fixa ou variável (honorários trabalhistas, água, luz ou aluguel), mas não suficiente para cobrir as despesas num setor de triagem.

5.1.3 Caracterização dos Resíduos Têxteis Gerados com Maior Incidência no Processo de Corte para o Delineamento da Amostra

A empresa ICP trabalhou com 137 tipos de composição distribuídas em 801 tipos de tecidos com gramatura, cor, estampa ou trama diferentes (Apêndice B). Foram executados 1.320 enfiados para produzir 85.000 peças, sendo 51.000 voltadas à coleção verão e 35.000 a coleção inverno.

Dentre as dez composições mais usadas no processo de corte, os tecidos 100% poliéster foram os mais consumidos, seguido dos tecidos de composição 96% poliéster 4% elastano e dos tecidos 100% viscose (Tabela 10).

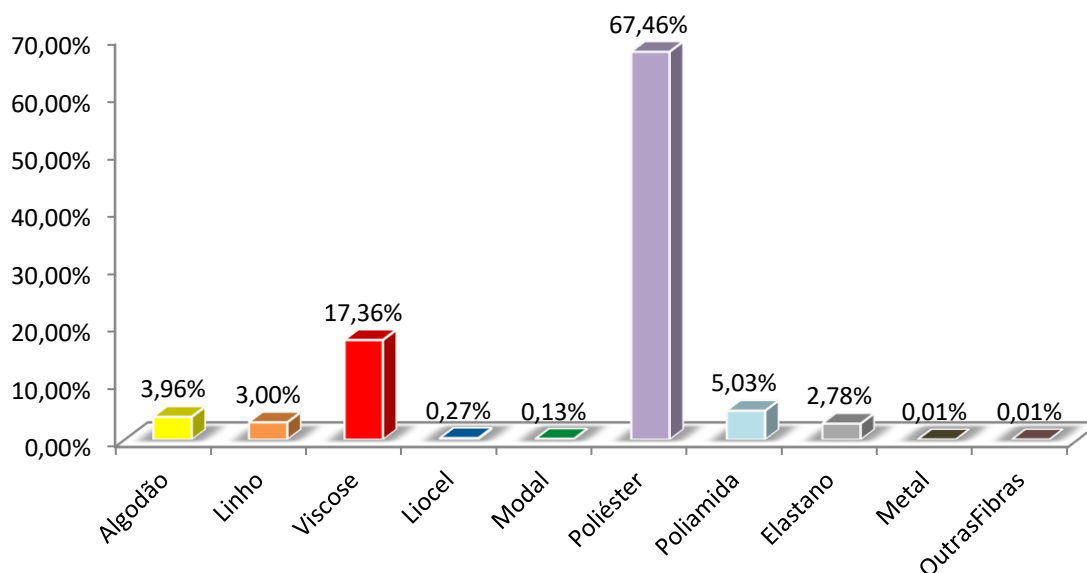
Tabela 10- Ranking das 10 composições de tecidos mais utilizados pela empresa ICP no ano de 2017

Ranking	Composição	Número de Tecidos (unidade)	Porcentagem (%)
1	100% poliéster	230	28,7%
2	96% poliéster 4% elastano	118	14,7%
3	100% viscose	57	7,1%
4	97% poliéster 3% elastano	49	6,1%
5	95% poliéster 5% elastano	45	5,6%
6	94% poliéster 6% elastano	36	4,5%
7	90% poliéster 10% elastano	15	1,9%
8	55% viscose 45% poliéster	10	1,2%
9	70% viscose 30% linho	10	1,2%
10	100% algodão	9	1,1%
Total Geral	-	801	100%

Fonte: Autora, 2019.

Ao somar a proporção de fibras usadas em todos os tecidos usados no processo de corte ao longo dos 12 meses, foi percebido que a fibra de poliéster esteve presente na maior parte dos tecidos de composição mista, sendo, portanto, a mais consumida (67,46%) seguida da fibra de viscose (17,36%) (Figura 57).

Figura 57- Porcentagem de fibras mais presentes nos tecidos utilizados pela empresa ICP no ano de 2017



Fonte: Autora, 2019.

Ao organizar os dados do Apêndice B (Tabela 11), foi possível identificar que os tecidos feitos com fibras puras naturais (1,4%) foram menos usados, seguido dos tecidos feitos com fibra artificial (7,4%) e fibra sintética (29,1%), enquanto que, os tecidos de fibras mistas detiveram maior volume (62,2%).

Tabela 11- Frequência de tecidos utilizados pela empresa ICP segundo a origem da fibra

Origem da fibra	Frequência	%
Fibras Puras		
Naturais	11	1,4%
Artificial	59	7,4%
Sintética	233	29,1%
Misturas de fibras		
Sintéticas	335	41,8%
Natural	2	0,2%
Artificial+ sintética	65	8,1%
Artificial+ natural	41	5,1%
Natural + sintética	27	3,4%
Natural+Artificial+Sintética	28	3,5%
Total	801	100,0%

Fonte: Autora, 2019.

De acordo com a PNRS, a reciclagem térmica deve ser usada quando os resíduos gerados não apresentam grau de reciclabilidade (BRASIL, 2010b). Nesta proposta, o resíduo têxtil é considerado um resíduo reciclável, contudo as tecnologias de tratamento disponíveis estão voltadas para a reciclagem de fibras puras e mistas separadamente, sendo que as fibras puras (em menor quantidade) tem maior valor de mercado, e por isso, tornam-se mais viáveis ao gerenciamento. Diferente das fibras mistas, que correspondem a maior parte dos resíduos têxteis, cujo valor de mercado é baixo (AMARAL, 2016).

Neste contexto, o termo reciclabilidade envolve além das características propícias a transformação do resíduo, a sustentabilidade nos seus pilares sociais, ambientais e econômicos.

Contudo, o resíduo têxtil apresenta inúmeras combinações de fibras resultantes dos tecidos construídos para se adequar as exigências técnicas e mercadológicas. Assim, foi necessário selecionar dentre o universo de tecidos usados pela empresa ICP, aquele com maior viabilidade técnica para a pesquisa.

5.2 VIABILIDADE TÉRMICA DOS RESÍDUOS TÊXTEIS COMPOSTOS POR VISCOSE E POLIÉSTER.

5.2.1 Delineamento da Amostra: pré-testes

Em atenção à viabilidade técnica, antes de iniciar o processo de pirólise foram realizados alguns pré-testes com os três resíduos têxteis cujas composições foram mais frequentes 100%viscose (7,1%); 96% poliéster 4% elastano (14,7%) e 100% poliéster (28,7%) em temperaturas de 350°C, 500°C e 700°C.

Nos resíduos de composição sintética, foi diagnosticado que as barras de preenchimento e o Niple direito ficaram obstruídas e não permitiram a passagem de gás e líquido.

Em temperaturas abaixo de 500°C, o líquido gerado durante a pirólise dos resíduos de composição sintética permaneceu em grandes quantidades dentro do reator e provocou a obstrução dos acessórios (Figura 58).

Figura 58- Barras de preenchimento impregnadas com líquido pirolisado de fibras sintéticas



Fonte: Autora, 2019.

Em temperaturas acima de 700°C, o líquido solidificou dentro do canal dos preenchedores e provocou a obstrução da passagem de líquido e gás. (Figura 59). Parte desta obstrução pode estar relacionada a alta taxa de aquecimento usada no processo de pirólise e a baixa espessura dos canais de saída dos subprodutos.

Figura 59- Barras de preenchimento com líquido de fibras sintéticas solidificado



Fonte: Autora, 2019.

Todavia, o equipamento usado não possui mecanismo para controlar esta variável, assim, os resultados mostraram impossibilidade na continuidade da pesquisa para resíduos de composição sintéticas. Já os experimentos realizados com os resíduos compostos por 100% viscose apresentaram viabilidade técnica para serem pirolisados formando gás, líquido e sólido coletáveis, mas, a maior incidência de tecidos continha misturas de fibras, dessa forma, o próximo teste foi buscar tecidos com composição sintética e artificial.

Diante deste novo parâmetro, os próximos resíduos de tecidos com maior incidência foram os de composição 55% viscose 45% poliéster. Os resultados revelaram subprodutos similares aos mencionados nas pesquisas de Zabaniotou, Roussos e Koroneos (2000); Martini (2009); Miranda et al. (2007); Ryu et al. (2007); Nahil e Williams (2012); Zhu et al. (2014), Balcik-Canbolat et al. (2016); Wen et al. (2016); Chen (2017) demonstrando o potencial de reciclagem térmica dentro da

tecnologia utilizada na pesquisa. Assim, todos os estudos foram conduzidos para analisar o potencial termoquímico dos resíduos compostos por fibras 100% viscose e 55% viscose 45% poliéster.

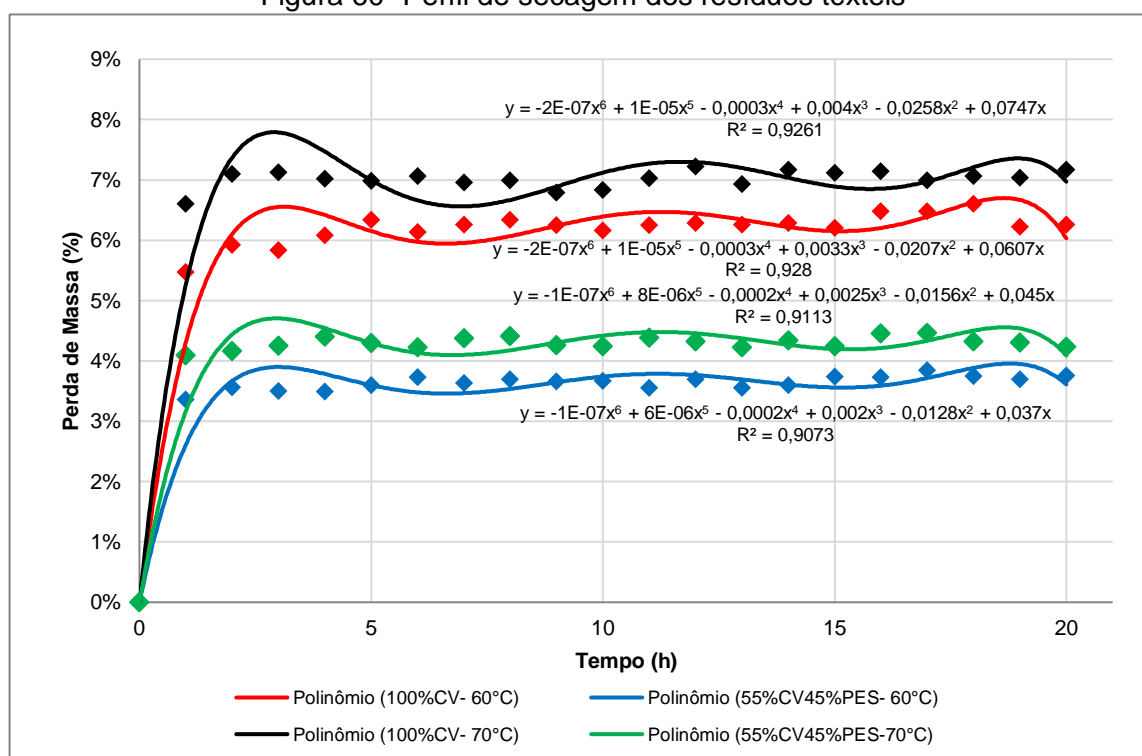
5.2.2 Perfil de Secagem

Segundo Martini (2009), a secagem da amostra é necessária para retirar a umidade natural do material a ser pirolisado, responsável por absorver mais energia durante o processo de pirólise.

O mecanismo de secagem está diretamente ligado a estrutura de cada material e as condições de operações. Segundo Caneda (2016), o líquido pode ser encontrado na parte externa e interna do material e à medida que o tempo de secagem avança sob taxa de aquecimento constante, o líquido presente na superfície evapora, seguido do líquido interno, neste ponto, termina o processo de secagem e atinge a umidade de equilíbrio, onde, a atividade de água interior do material é igual à do ambiente.

A Figura 60 mostra as curvas de secagem dos resíduos de fibra 100% CV e 55%CV 45%PES em função do tempo nas temperaturas de 60° e 70°C.

Figura 60- Perfil de secagem dos resíduos têxteis



Fonte: Autora, 2019.

Em ambas as amostras foi identificado que a maior perda de umidade ocorreu na primeira hora (7%). No resíduo têxtil 100%CV a umidade de equilíbrio (estabilização) ocorreu em 3 horas de secagem a 70°C e em 5 horas de secagem a 60°C. Já a umidade do resíduo com fibra 55%CV 45%PES foi menor (4%), contudo sua estabilização foi mais tardia, cerca de 4 horas de secagem com temperatura de 70°C e 6 horas com temperatura de 60°C. Estes resultados estão intimamente ligados à estrutura do material (CANEDA, 2016).

Com relação à viscose, a fibra é considerada higroscópica e porosa, constituída por folículos de pequenos diâmetros, enquanto a fibra de poliéster não é higroscópica e nem porosa.

Contudo, em ambas as amostras a umidade superficial foi perdida na primeira hora. Os poros presentes na fibra de viscose, elevaram a taxa de umidade presente na fibra e reduziram o tempo para sua estabilização, enquanto a baixa porosidade do poliéster reduziu a taxa de umidade interna e cristalinidade dificultou sua estabilização. Além do mais, é importante elucidar que os resíduos desta pesquisa são sobras de tecidos construídos de maneira industrial e, portanto, já passaram por todo os processos para alterar a estrutura natural da fibra.

Com relação a pirólise, Paz (2017) afirma que o processo de evaporação da umidade absorve a energia de combustão e interfere no poder calorífico do material, neste sentido, o resíduo têxtil envolto apresenta potencial energético frente a baixa umidade apresentada.

Erhardt et al (1975a) afirma que em ambiente de 20°C e umidade relativa do ar de 65%, a umidade ou “regain” da fibra de viscose está entre 11,5% a 12,5%, já a fibra de poliéster está entre 0,3 a 0,4%. No caso desta pesquisa, a cinética de secagem foi conduzida a 24°C e umidade relativa do ar, abaixo de 50%.

5.2.3 Análise Imediata

De acordo com Avelar (2013), o Teor de umidade é de suma importância para determinação do teor de água presente no material a ser pirolisado e fornece informações sobre as características higroscópicas do material *in natura*. Já o teor de cinzas indica a quantidade de material inorgânico presente na massa, que permanece após queima do material orgânico presente na massa, em grande concentração pode afetar a transferência de calor, causar perda de energia e reduzir

o poder calorífico, enquanto que o percentual de material volátil está diretamente ligado à quantidade de substâncias orgânicas presentes na biomassa, além de ser diretamente proporcional a reatividade de ignição.

A análise imediata dos teores de cinzas, umidade, materiais voláteis e carbono fixo foram realizadas em triplicata e os resultados estão apresentados na Tabela 12.

Os dados encontrados na análise imediata mostraram que o teor de umidade e o teor de cinzas do resíduo têxtil 100%CV é de 20% e 21,16%, respectivamente maior em relação ao resíduo têxtil 55%CV 45%PES, indicando que o poder calorífico do resíduo têxtil 100% CV tende a ser menor que o resíduo 55%CV 45%PES.

Tabela 12- Análise imediata dos resíduos têxteis

Amostra	Umidade (%)	Cinza (%)	Material Volátil (%)	Carbono Fixo (%)
100% CV	10	1,89	87,80	0,31
55%CV 45%PES	8	1,49	87,97	3,54

Fonte: Autora, 2019.

Para Sousa (2009), o teor de cinzas é diretamente proporcional ao volume de minerais presentes na amostra e inversamente proporcional ao poder calorífico. Além de ser responsável por incrustações, corrosão e erosão devido a presença de alguns elementos químicos como metais pesados tóxicos, sais solúveis e outros compostos perigosos. Contudo, a presença de cinzas pode interferir no sistema de combustão quando sua proporção está acima de 6% (RAGO; SURROOP; MOHEE, 2018), o que não é o caso nesta pesquisa.

Assim com as cinzas, a umidade também influencia diretamente no poder energético do material, sendo que, quanto maior o teor de umidade, menor será a capacidade de combustão (PAZ, 2017).

Com relação ao material volátil, ambos resíduos apresentaram valores acima de 87,70%, com uma pequena vantagem (0,19%) para o resíduo composto. Segundo Rago; Surroop e Mohee (2018) porcentagens de voláteis entre 75 e 90% torna o material mais inflamável em comparação com os combustíveis fósseis.

Em contrapartida, o carbono fixo apresentou baixo teor em comparação com os materiais voláteis e grande diferença entre os materiais pesquisados, cuja diferença foi de 91,24% para o resíduo têxtil 55%CV 45%PES, o que conferiu ao material maior potencial de combustão (SOUSA, 2009). Sendo assim, o resultado se torna positivo, pois, grande parte dos resíduos têxteis são compostos por misturas de fibras, sobretudo com a presença da fibra de poliéster.

5.2.4 Densidade Aparente

De acordo com os dados coletados na pesquisa (Tabela 13), a média da densidade dos resíduos 100% CV e 55%CV 45%PES foi de 0,098 g/ml e 0,101 g/ml respectivamente. Em ambos resíduos, a densidade foi baixa, sobretudo para os resíduos de composição 100% CV, cuja porosidade foi maior devido ao formato da fibra e os espaços vazios presentes no composto fibroso.

Tabela 13- Densidade aparente dos resíduos têxteis

Volume (ml)	100%CV		55%CV 45%PES	
	Massa (g)	Densidade (g/mL)	Massa (g)	Densidade (g/mL)
20	1,6093	0,080465	1,7245	0,086225
40	4,1055	0,102638	4,0784	0,10196
60	6,3578	0,105963	6,4857	0,108095
80	8,2108	0,102635	8,4747	0,105934
100	10,0102	0,100102	10,7276	0,107276
Média		0,098361		0,101898
Desvio padrão relativo		0,01021822		0,009072786
R de Pearson		0,997302066		0,999492926

Fonte: Autora, 2019.

Segundo Figueiredo (2011), a porosidade colabora para a temperatura de ignição que depende da circulação de oxigênio por entre os poros do material, mas compromete seu uso para formação da densidade no carvão, já que a alta porosidade pode provocar o esfrelamento do carvão. O desvio Padrão relativo abaixo de 0 mostra a confiabilidade dos dados, e o R de Pearson reitera a correlação entre volume e massa.

5.2.5 Análise Elementar

Os teores de C, H, N e O/S são de suma importância para conferir o poder calorífico dos materiais. Neste sentido, os teores de carbono e hidrogênio atuam como propulsores de calor, enquanto o teor de oxigênio atua de maneira inversa. Já o nitrogênio, em contato com o carbono se torna o principal agente para formação de chuva ácida, responsável por danos ambientais e à saúde humana (PAZ, 2017).

Na Tabela 14 estão retratados os teores de C, H, N, O/S da pesquisa em questão e de outras pesquisas. Em comparação com as bibliografias, os teores referentes a fibra da viscose foram aproximados, entretanto para os resíduos de

fibras mistas não foi possível uma comparação mais precisa com a bibliografia devido à falta de pesquisas com esta proporção de mistura.

Tabela 14- Análise elementar dos resíduos têxteis

Amostra	Carbono (%)	Hidrogênio (%)	Nitrogênio (%)	Oxigênio + Enxofre (%) ¹	Fonte
100% CV	40,38	6,72	0,07	52,84	Pesquisa
55%CV 45%PES	49,80	4,96	0,10	45,15	Pesquisa
Poliéster	58,91	4,99	8,96	27,88	Yuan et al. (2018)
Algodão	41,69	5,94	0,57	51,8	
Viscose	39,58	6,85	0,29	53,28	Hanoğlu; Çay e Yandk (2019)
50%CO50%PES	51,66	5,35	0,41	42,55	

Fonte: Autora, 2019. ¹ calculo por diferença.

Para fins de reciclagem térmica os teores de C e H encontrados para os resíduos têxteis 100% CV e 55%CV 45%PES foram de 47,10% e 54,76%, conferindo ao material grande potencial para fins energéticos (ERHARDT et al, 1975a).

5.2.6 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos Resíduos Têxteis

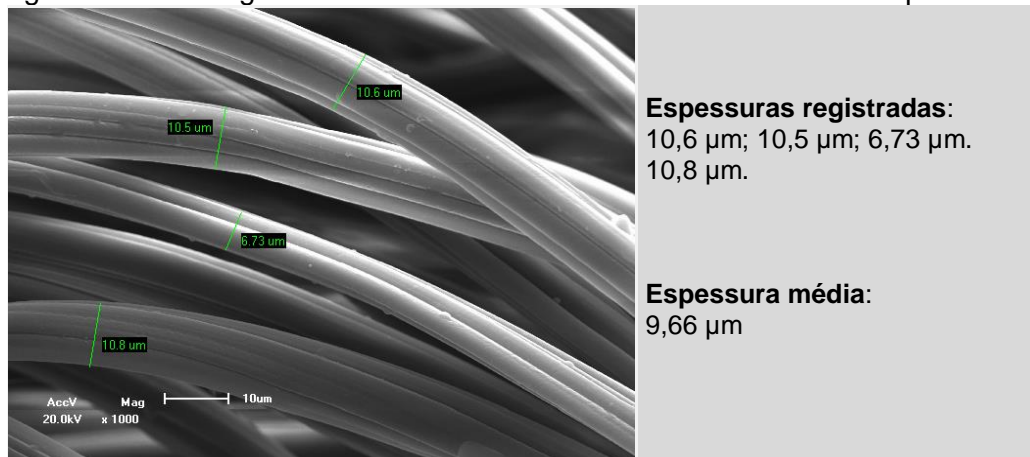
Segundo Erhardt et al, (1975b), as fibras sintéticas artificiais ou químicas são constituídas moléculas que podem estar alinhadas ou não. As moléculas desordenadas e não retificadas formam as regiões amorfas. A medida que estas moléculas vão sendo alinhadas e retificadas, as fibras se tornam mais cristalinas, menos porosas, menos flexíveis, mais resistentes e com menor capacidade de adsorção. As Figuras 61,62 e 63 mostram os aspectos morfológicos dos resíduos têxteis compostos por 100%CV.

Figura 61-Morfologia da biomassa de resíduo têxtil 100%CV 20kv-50µm-300X



Fonte: Autora,2019.

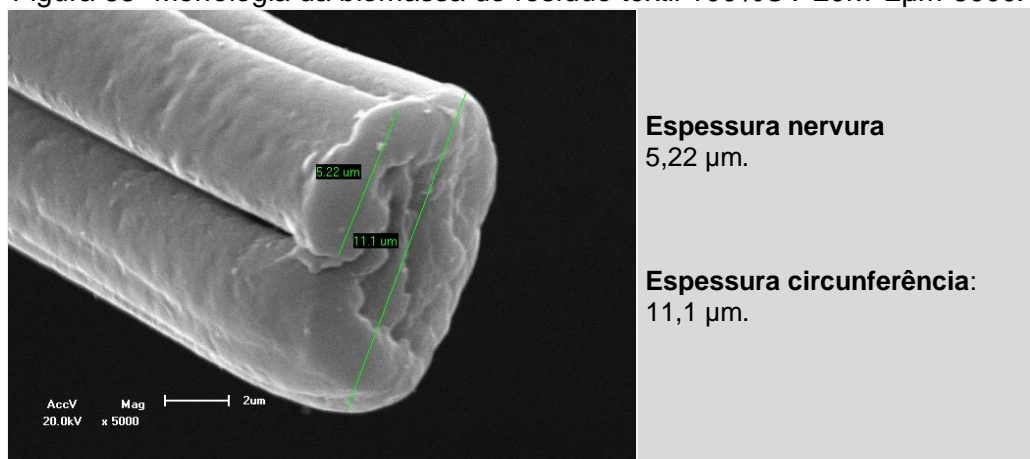
Figura 62- Morfologia da biomassa de resíduo têxtil 100%CV 20kv-10 μ m -1000X



Fonte: Autora,2019.

De acordo com as informações apresentadas na Figura 61 e 62 a média de espessura das fibras 100% CV foi de 9,86 μ m e 9,66 μ m, respectivamente, enquanto na Figura 63 a espessura da maior circunferência foi de 11.1 μ m.

Figura 63- Morfologia da biomassa de resíduo têxtil 100%CV 20kv-2 μ m-5000X

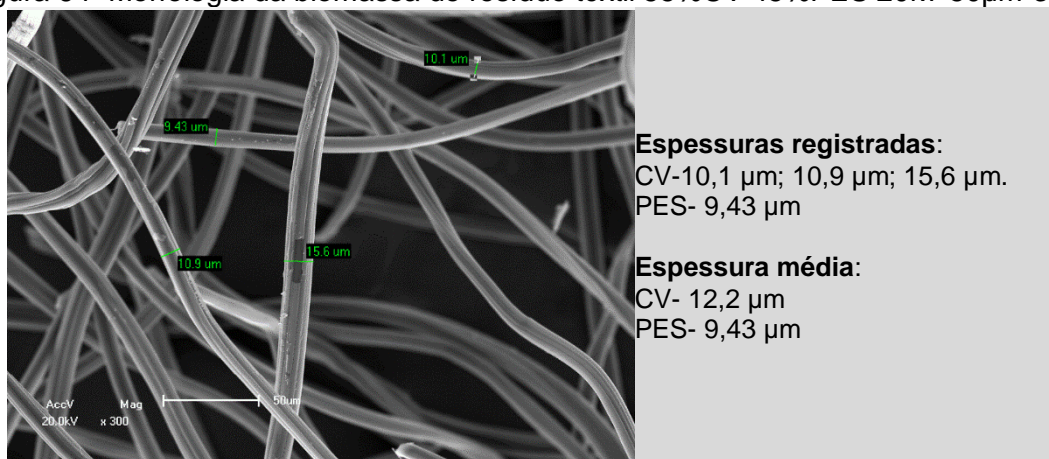


Fonte: Autora,2019.

Já as espessuras da fibra apresentadas nas Figuras 64 mostraram que a fibra de poliéster é menor (9.43 μ m) quando comparada as fibras de viscose (10.1 μ m, 10.9 μ m e 15.5 μ m), deixando claro a diferença entre as fibras CV e PES nos compostos fibrosos de composição 55%CV 45%PES.

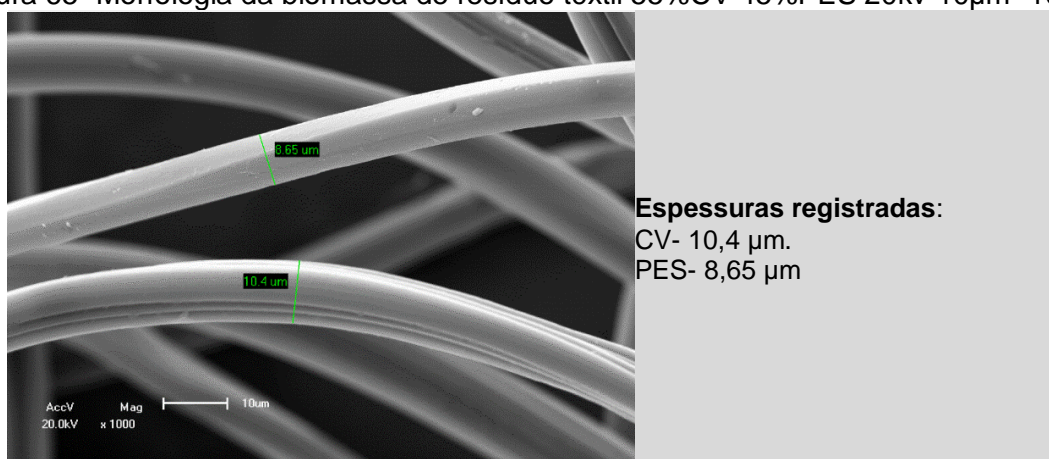
Situação semelhante pode ser observada na Figura 65, onde as fibras avaliadas apresentaram medidas de 8,65 μ m e 10,4 μ m referente as fibras de poliéster e viscose.

Figura 64- Morfologia da biomassa de resíduo têxtil 55%CV 45%PES 20kv-50µm-300X



Fonte: Autora,2019.

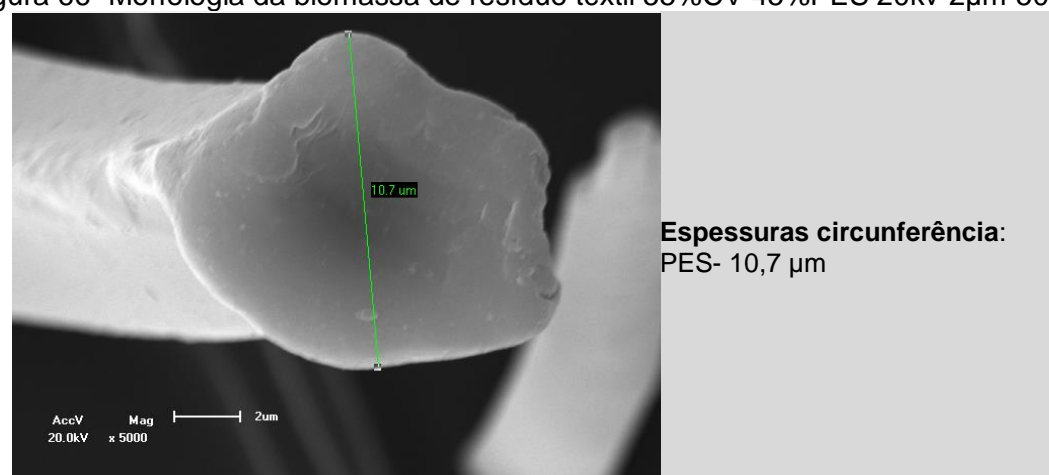
Figura 65- Morfologia da biomassa de resíduo têxtil 55%CV 45%PES 20kv-10µm -1000X



Fonte: Autora,2019.

A espessura da fibra de poliéster, registrada na Figura 66, foi relativamente menor (10.7 µm) se comparada a fibra de viscose (11.1 µm) registrada na Figura 61.

Figura 66- Morfologia da biomassa de resíduo têxtil 55%CV 45%PES 20kv-2µm-5000X



Fonte: Autora,2019

Ao comparar a morfologia estrutural entre os resíduos CV e CV/PES foi possível perceber que a fibra de viscose é mais espessa, mais porosa e menos cristalina e, portanto, com mais capacidade de adsorção se comparada a fibra de poliéster. Em termos de reciclagem térmica, a porosidade é responsável pelo acúmulo de oxigênio e umidade retido nas fibras, que por sua vez, interfere diretamente na propagação de calor e na capacidade térmica da fibra. Para Paz (2017) a porosidade e o formato estrutural da fibra podem influenciar na capacidade de adsorção e na transferência de calor.

5.2.7 Espectroscopia no Infravermelho com Transformada em Fourier (FTIR)

A espectroscopia de infravermelho é uma técnica analítica para identificar a presença de estruturas moleculares ou grupos funcionais presentes nos materiais que contenham ligações covalentes orgânicos ou inorgânicos, sendo que cada molécula compõe um conjunto de espectro diferente (PAVIA et al., 2015).

Segundo Silverstein, Webster e Kiemle (2010) e Pavia et al. (2014) o espectro de infravermelho é constituído por seis regiões distintas. A primeira região, com números de onda compreendidos entre 4000 cm^{-1} e 2500 cm^{-1} , está associada ao estiramento de ligações como C-H, N-H ou O-H, onde o C, N e O são átomos constituintes de molécula orgânica de pesos semelhantes.

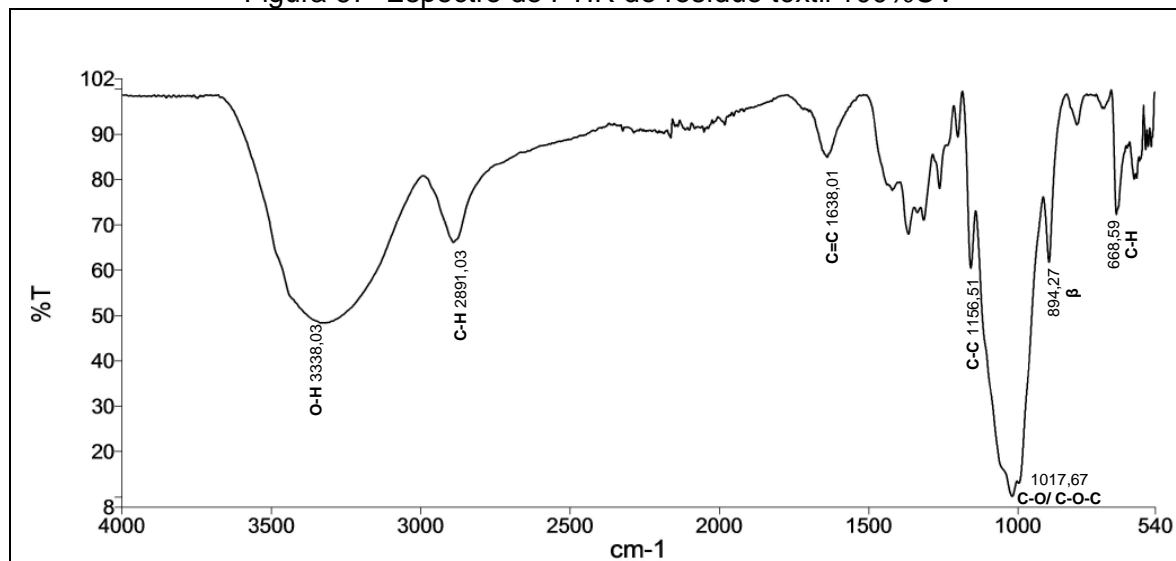
Contudo, o peso do átomo de hidrogénio tem ordem de grandeza inferior e, por isso, domina a frequência de estiramento da ligação. A segunda região localiza-se entre os 2500 cm^{-1} e os 2000 cm^{-1} e corresponde às ligações covalentes triplas $\text{C}\equiv\text{C}$, $\text{C}\equiv\text{N}$ ou $\text{X}=\text{C}=\text{Y}$ (onde X e Y podem ser substituídos por C, O, N ou S).

A terceira região entre 2000 cm^{-1} e 1800 cm^{-1} ocorrem poucas reações. A quarta região entre 1800 cm^{-1} e 1650 cm^{-1} corresponde a ligação dupla $\text{C}=\text{O}$. A quinta região entre 1650 cm^{-1} e 1550 cm^{-1} corresponde a ligações duplas $\text{C}=\text{N}$, $\text{C}=\text{C}$ e $\text{N}=\text{O}$, sendo que esta última, também chamada de zona de impressão digital, pode ser localizada na sexta região entre 1550 cm^{-1} e 650 cm^{-1} , onde encontra-se as ligações covalentes simples (C-Cl, C-O, C-N e C-C).

Neste contexto, a Figura 67 apresenta o espectro dos resíduos têxteis 100%CV, na qual pode ser observado comprimentos de ondas relacionados a cada estrutura. Em observação ao intervalo de frequência, formas e intensidade das bandas apresentadas, o espectro 100%CV apresentou algumas características

típicas da celulose (SCHWANNINGER et al.,2004; SOUZA, 2009; SILVA et al.; 2018).

Figura 67- Espectro de FTIR do resíduo têxtil 100%CV



Fonte: Autora,2019.

O estiramento amplo, com intensidade média na frequência de $3338,03\text{ cm}^{-1}$ está correlacionado aos grupos funcionais O-H (PAVIA et al., 2015) com extensão de ligações de hidrogênio intramoleculares (CARRILLO et al., 2004) relacionado à umidade da lignina e ao alto teor de hidroxilas presente no material.

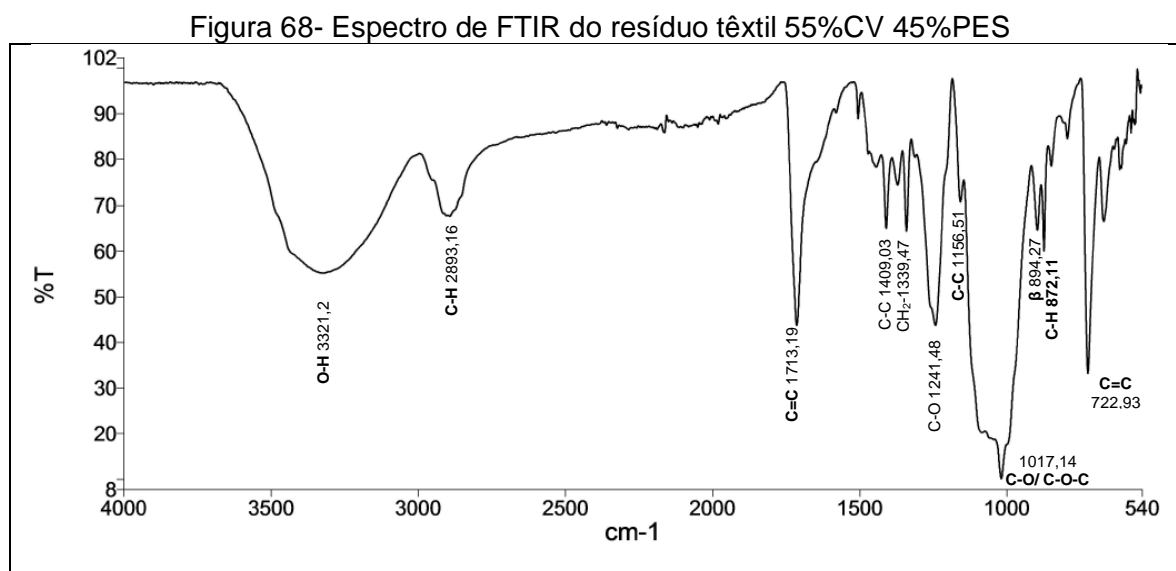
Para Schwanninger et al. (2004); Silva et al. (2018) e Comnea-stancu et al. (2016), esta região espectral está associada à formação de pontes de hidrogênio entre água e grupos hidroxila de celulose ou hemicelulose.

O espectro na região de $2891,03\text{ cm}^{-1}$ pertence ao estiramento simétrico da ligação C-H de carbono com hibridização sp^3 de cadeia alifática que indica a aromaticidade do material (SOUZA, 2009) e a presença de ceras (SILVA et al., 2018). O estiramento em $1638,01\text{ cm}^{-1}$ foi atribuído grupo C=O de amida primária, responsável pela curvatura da água absorvida em O-H (ÁGUA, 2015) que evidencia que a viscose é um produto parcialmente desacetilado.

O pico registrado na frequência de $1017,67\text{ cm}^{-1}$ deriva do alongamento C-O em ésteres, antissimétrico e simétrico C-O-C (PAVIA et al., 2015), enquanto o ombro a $1156,51\text{ cm}^{-1}$ correspondente a ligações C-C. Segundo Nascimento et al. (2014), estes estiramentos são atribuídos a presença de celulose, hemicelulose e lignina no material, por isso suas bandas podem ser observadas nos dois espectros apresentados nesta pesquisa. Já a banda fora do plano de impressão digital (PAVIA

et al., 2015) delimitada no pico 894,27 cm^{-1} corresponde a ligações glicosídicas β (1 \rightarrow 4) (SOUZA, 2009 e ÀGUA, 2015), enquanto que a banda delimitada em 668,59 cm^{-1} configura em um $\delta\text{C-OH}$ (SCHWANNINGER et al., 2004).

A Figura 68 apresenta o espectro dos resíduos têxteis 55%CV 45%PES, na qual pode ser observado comprimentos de ondas relacionados a cada estrutura.



Fonte: Autora, 2019.

Ao comparar o espectro 100%CV (Figura 67) com o espectro 55%CV 45%PES (Figura 68) foi encontrado na zona de diagnóstico entre 4000- 1800 cm^{-1} espectros dos grupos O-H e C-H correspondentes às frequências concentradas em 3321,2 e 2893,16 cm^{-1} respectivamente, correlacionadas à celulose presente na viscose, assim como os picos referentes a 1241,48 cm^{-1} e 894,72 cm^{-1} (XU et al., 2018).

Contudo, o conjunto de espectros na zona de impressão digital configuraram alguns picos referentes a fibra de poliéster, dentre eles: 1713,19 cm^{-1} correspondente ao estiramento C=O (carbonila) de grupos ácidos carboxílicos; 1409,03 cm^{-1} estiramento C-C de anéis aromáticos; 1339,47 deformação C-H e C-H₂; 872,11 cm^{-1} que corresponde ao anel benzênico (C-H) fora do plano e por fim, 722,93 cm^{-1} corresponde a flexão das ligações C-H fenílicas. Resultados semelhantes foram encontrados nos estudos de Li; Frey e Browning (2010); Água (2015); Yaman et al. (2009) e Silva et al. (2012).

Para Lengowski (2012), o índice de cristalinidade é diretamente proporcional estabilidade térmica do material, sendo que as ligações de hidrogênio influenciam na proporção entre regiões cristalinas e amorfas. Na espectroscopia FTIR, o grau de

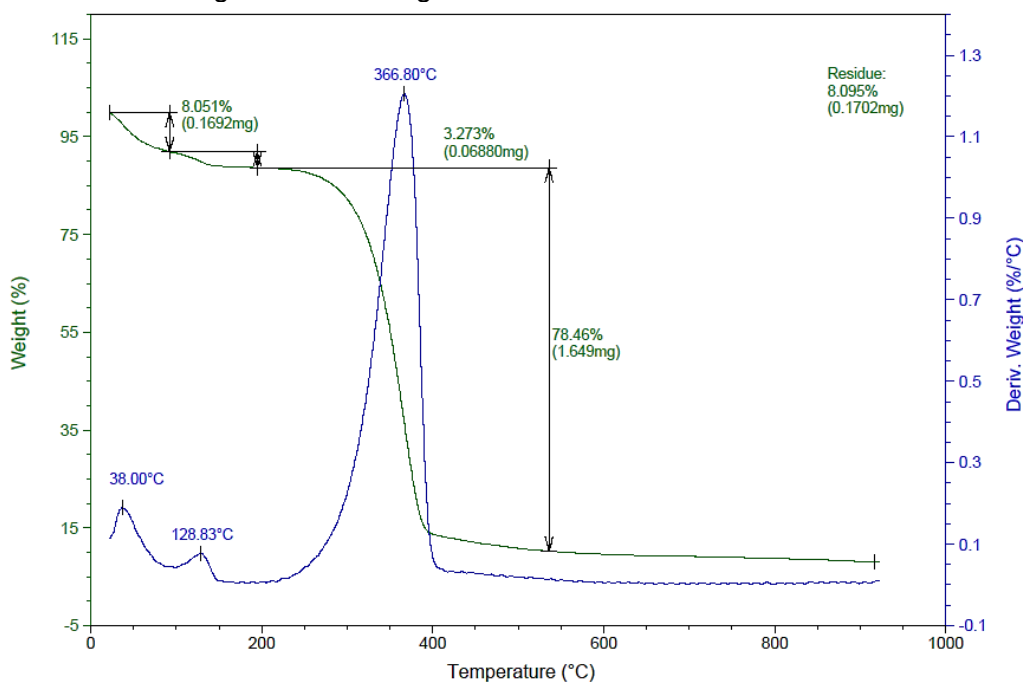
crystalinity altera o perfil espectral através da redução ou aumento da intensidade, desaparecimento ou surgimento de picos característicos das regiões cristalinas nas bandas espectrais das amostras, o que justifica a variação percebida no espectro apresentado na Figura 68.

5.2.8 Análise Termogravimétrica

A análise Termogravimétrica (TGA) fornece a taxa de variação de massa da substância em relação ao aumento da temperatura.

Nas Figuras 69 e 70 é possível conferir o termograma dos materiais têxteis compostos de 100% CV e 55%CV 45%PES respectivamente.

Figura 69- Termograma de resíduo têxtil 100% CV

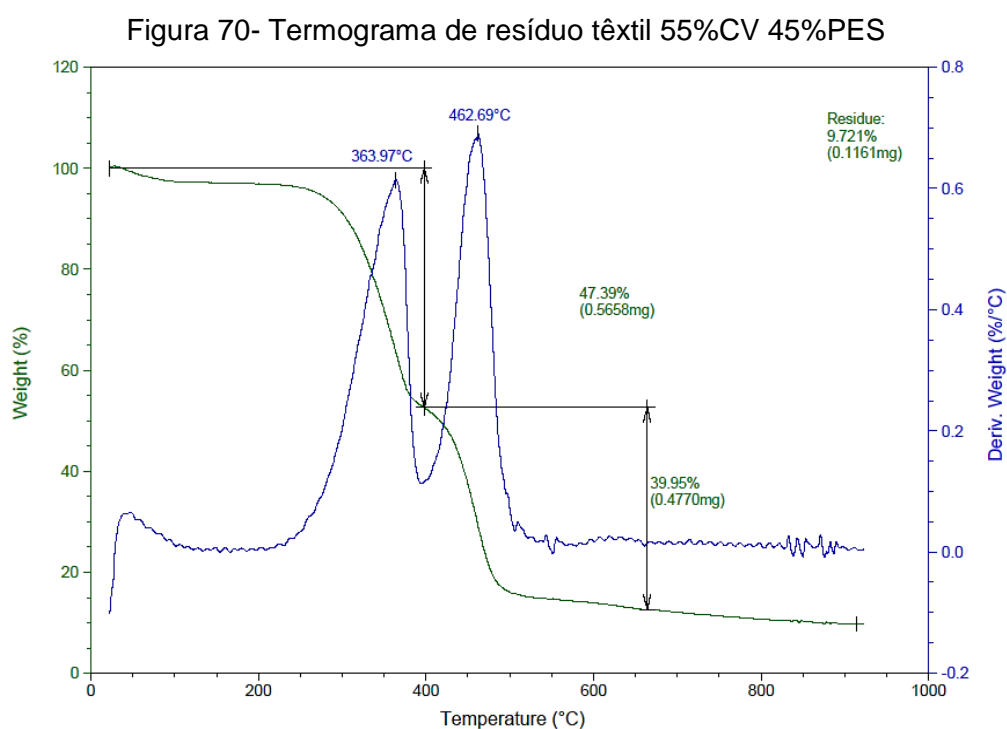


Fonte: Autora, 2019.

A TGA do resíduo 100% CV, apresenta a primeira perda de massas de 8,051% entre as temperaturas de 20°C e 85°C com pico a 38°C referente a dessorção de água da estrutura de polissacarídeo (SOUZA, 2009). A segunda perda de massa de 3,273% ocorreu entre 85°C a 200°C com pico máximo em 128°C correspondente a degradação da hemicelulose e a terceira perda de massa de 78,46% ocorreu entre 200°C e 535°C com pico a 366,80°C corresponde a degradação da lignina (BARIŞÇI; ÖNCEL, 2013; ROJO et al., 2013; ZHU et al., 2014; PLENS, 2018). Os resíduos restantes corresponderam a 8,095%.

Segundo Wang et al. (2014) a perda de peso da fibra de viscose corresponde às reações de desidratação e descarboxilação produzindo gases combustíveis como aldeídos, cetonas e éteres.

Com relação a TGA do resíduo 55%CV 45%PES (Figura 70) o termograma apresenta dois estágios de degradação bem definidos, o primeiro estágio ocorreu entre 20°C e 395°C com pico em 363,97°C e registrou uma perda de 47,39% de massa correspondente a degradação da celulose. Já o segundo estágio decorreu entre as temperaturas de 395°C e 660°C com pico de temperatura a 462,69°C e registrou perda da massa de 39,95% devido a degradação dos compostos presentes no poliéster. Acima desta temperatura, o sólido se manteve relativamente estável.



Fonte: Autora, 2019.

Estes resultados correspondem às análises de FTIR referente a mesma mistura, onde, os picos encontrados entre as frequências de 3600 a 3000 são referentes ao grupo funcional O-H da viscose, pois a poliéster não apresenta características de picos entre as frequências supracitadas (XU et al., 2018).

Segundo Sousa (2009) a atmosfera inerte não propicia a degradação total dos materiais têxteis, e ao confrontar os dois termogramas foi possível identificar o destaque de dois picos nos resíduos têxteis compostos por misturas de fibras, e menor perda de massa de maneira geral, sobretudo em elevadas temperaturas.

Fator que pode estar associado ao grau de cristalinidade dos materiais envolvidos no composto fibroso.

5.2.9 Poder Calorífico

O potencial energético está intimamente ligado as características químicas (C, N, H, S, O) e aos teores de umidade, cinza, material volátil, carbono fixo e densidade. Segundo Sousa (2009), o poder calorífico mensura a quantidade de energia disponível por uma unidade massa em um processo de combustão completa, sendo considerado superior quando considera o vapor de água provocado pela presença de hidrogênio (calor latente) somado ao calor de combustão e poder calorífico inferior quando o calor latente não é considerado.

Os resultados apontam que ambas amostras (Tabela 15) possuem grande potencial energético, sobretudo aos resíduos 100% CV cujo PCS encontrado foi de 7401Kcal/kg. Este resultado pode estar associado a concentração da lignina e a cristalinidade presente no resíduo 100% CV como demonstrado na TGA e no espectro de infravermelho FTIR.

Tabela 15- Poder Calorífico inferior e superior das amostras de resíduo têxtil 100% CV e 55%CV 45% PES

Resíduo têxtil	PCS (Kcal/Kg)	PCI (Kcal/Kg)	Fonte
100% CV	7401	6550	Autora, 2019.
55%CV 45% PES	4.389	4.020	Autora, 2019.
Resíduo de PES	5500	-	Sousa, 2009.
Resíduo CO/PES	4100	-	Sousa, 2009.
Resíduo CO	4000	-	Sousa, 2009.
100%CV	3912,3	-	Hanoğlu; Çay e Yandık (2019).
50%CO50%PES	4760	-	Hanoğlu; Çay e Yandık (2019).
PAC	6971,91	-	Hanoğlu; Çay e Yandık (2019).

Fonte: Autora, 2019.

Por outro lado, a presença de carbono inorgânico e a maior proporção de hidrogênio aponta para uma maior geração de calor latente, além da baixa concentração de nitrogênio associada a concentração de material volátil e a menor densidade corrobora para o resultado. Contudo, a análise termogravimétrica aponta para uma maior estabilidade térmica das fibras mistas 55%CV 45%PES, este resultado pode estar associado a maior densidade e concentração de Carbono na mostra.

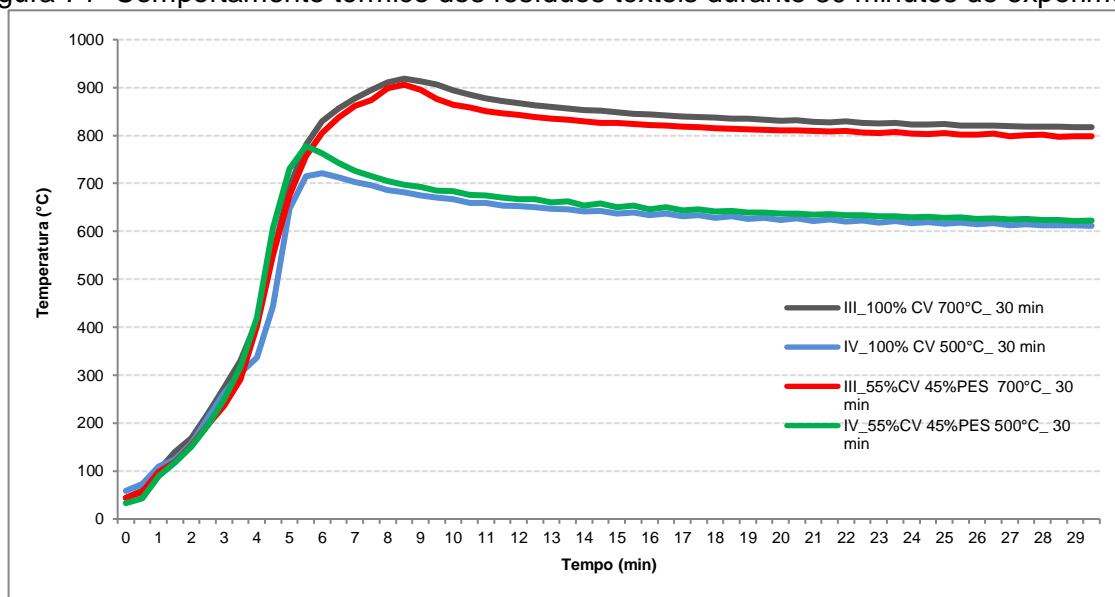
Os resultados encontrados nesta pesquisa foram relativamente superiores aos encontrados na literatura. Tal fato pode estar associado a química aplicada aos tecidos precedentes ao resíduo têxtil durante o processo fabril. Os valores encontrados assemelham ao potencial energético da cana de açúcar (4142 kcal/kg), carvão betuminoso (De 6,900 a 8600 kcal/kg), Coque (de 6200 a 7600 kcal/kg) ou lenhite (5300 a 6100 kcal/kg) (SOUSA, 2009).

5.3 ANÁLISE DA CONVERSÃO TERMOQUÍMICA (PIRÓLISE) DOS RESÍDUOS TÊXTEIS

5.3.1 Análise de Temperatura

O processo de pirólise com os resíduos têxteis 100% CV e 55%CV 45%PES foi executado conforme o planejamento experimental descrito na Tabela 8 em ambiente inerte, sem o uso de gás de arraste. Os comportamentos térmicos dos resíduos têxteis podem ser conferidos nas Figuras 71 e 72 nos tempos de retenção de 30 e 60 minutos respectivamente. Os dados coletados possibilitaram calcular a rampa de aquecimento em $\cong 70^{\circ}\text{C}/\text{min}^{-1}$

Figura 71- Comportamento térmico dos resíduos têxteis durante 30 minutos de experimento



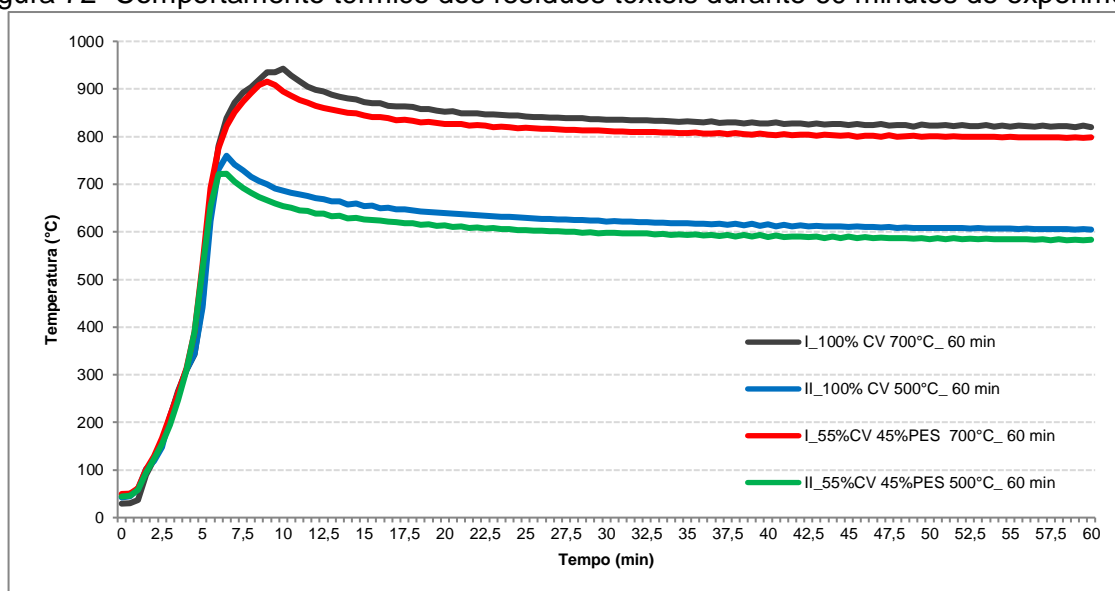
Fonte: Autora, 2019.

O processo pirolítico foi iniciado de maneira endotérmica até a temperatura programada (*setpoint*) de 500°C e 700°C no forno indutor, mantendo-se estabilizada

até o final do experimento. Contudo, a temperatura, dentro do reator, continuou a subir por mais $\cong 230^{\circ}\text{C}$ após a temperatura *setpoint*, em um comportamento exotérmico, devido as características químicas do resíduo têxtil.

As Figuras 71 e 72 mostram que o tempo no processo endotérmico foi de $\cong 5$ min para 500°C , e $\cong 5,5$ min para 700°C , e o tempo de permanência em estado exotérmico até a temperatura máxima do reator foi de $\cong 1,5$ min para temperaturas de 500°C e $\cong 3,5$ min para temperaturas de 700°C .

Figura 72- Comportamento térmico dos resíduos têxteis durante 60 minutos de experimento



Fonte: Autora, 2019.

O comportamento térmico dos resíduos têxteis foi investigado ao longo do processo. Foi identificado que o resíduo 100% CV, na maior parte dos ensaios, atingiu maiores temperaturas em relação ao resíduo 55%CV 45%PES em tempos similares, conforme mostrado na Tabela 16.

Tabela 16- Tempo de permanência no estágio exotérmico até a maior temperatura

Resíduo Têxtil	700°C		500°C	
	60 min	30min	60 min	30min
100%CV	942°C- 10 min	918°C- 9 min	759°C- 6,5 min	721°C- 6,5 min
55%CV 45%PES	915°C- 9 min	906°C- 9 min	722°C- 6,5 min	778°C- 6 min

Fonte: Autora, 2019.

Este resultado está alinhado às características químicas dos resíduos celulósico, cujas regiões menos cristalinas confere ao mesmo, maior capacidade de combustão.

5.3.2 Rendimento Gravimétrico dos Subprodutos Gerados no Processo de Pirólise

Os subprodutos gerados no processo de pirólise de resíduo têxtil são formados pela fração líquida leve (MIRANDA et al., 2007; MAJANNY et al., 2010), fração líquida pesada (ZHU et al., 2014; PODDAR et al., 2015), fração gasosa (WEN et al., 2016; WU et al., 2017); sólida direcionados ao tratamento de água e para fins energéticos (NAHIL; WILLIAMS, 2010, 2012; BARIŞÇI; ÖNCEL, 2013; BALCIK-CANBOLAT et al., 2016; CHEN, 2017; RAGO; SURROOP; MOHEE, 2018; YUAN, 2018; HANOĞLU; ÇAY; YANĐK, 2019).

Entretanto a tecnologia empregada nesta pesquisa buscou acumular toda a fração líquida em um mesmo recipiente (Figura 73) como mostra as figuras 40 e 44 no item 4.4.

Figura 73- Subprodutos gerado no processo de pirólise dos resíduos têxteis



Fonte: Autora, 2019.

Os resultados apresentados na Tabela 17 mostram que o resíduo têxtil composto de 100% CV apresentou maior fração líquida e menor fração sólida independente dos parâmetros pirolítico, sobretudo na temperatura (700°C), onde o resíduo 100% CV atingiu a maior taxa de conversão (79,1%). Resultados similares foram observados no estudo de Hanoğlu; Çay e Yandk (2019) que atribuíram à alta de conversão a estrutura menos cristalina e menos ordenada da viscose (CARRILLO et al., 2004). Já o resíduo têxtil 55%CV 45%PES apresentou maior fração sólida em todos os experimentos, contudo, o tempo maior de permanência somada a temperatura mais alta elevou a fração gasosa e reduziu a fração de líquido e sólido. Este comportamento está associado a quantidade de carbono fixo e

oxigênio presente neste resíduo, assim como sua maior densidade e menor teor de umidade com relação aos resíduos de 100%CV.

Tabela 17- Rendimento das frações sólidas, líquidas e gasosas

Ensaio	Parâmetros			Rendimentos						
	Massa (g)	Tempo (min)	Temperatura (°C)	Líquido (g)	Carvão (g)	Gás (g)	Líquido (%)	Carvão (%)	Gás (%)	
100%CV	I	10,22	60	700	4,66	2,42	3,14	45,6%	23,7%	30,7%
	II	10,17	60	500	4,59	2,46	3,12	45,1%	24,2%	30,7%
	III	10,39	30	700	4,50	2,18	3,71	43,3%	21%	35,7%
	IV	10,41	30	500	4,47	2,68	3,26	42,9%	25,8%	31,3%
55%CV 45%PES	I	10,66	60	700	3,01	3,93	3,72	28,2%	36,9%	34,9%
	II	11,59	60	500	3,21	4,67	3,71	27,7%	40,3%	32,0%
	III	10,95	30	700	3,15	4,79	3,02	28,7%	43,8%	27,5%
	IV	12,44	30	500	3,01	5,83	3,59	24,2%	46,9%	28,9%

Fonte: Autora, 2019.

Entretanto, ao analisar a influência dos parâmetros tempo e temperatura sobre a formação de cada subproduto, foi identificado que a temperatura foi o principal fator para formação de carvão e gás, agindo de forma inversamente proporcional a formação de carvão (independentemente do tipo de resíduo têxtil) e diretamente proporcional a formação de gás, sobretudo para resíduos 100% CV.

No caso da formação de líquido, tanto tempo como temperatura atuaram de modo sincronizado, seguindo a teoria descrita nas pesquisas de Czajczyńska et al. (2017); Paradela (2012); Nicolini (2013) e Chen (2017) quando afirmam que: altas temperaturas em longos períodos de detenção favorecem a formação da fração gasosa; baixas temperaturas e longos tempos de retenção favorecem a formação de sólido; e, tempo e temperaturas moderados favorecem a formação de líquido. Assim pode se dizer que tempo e temperatura são inversamente proporcionais e condizem com os resultados desta pesquisa.

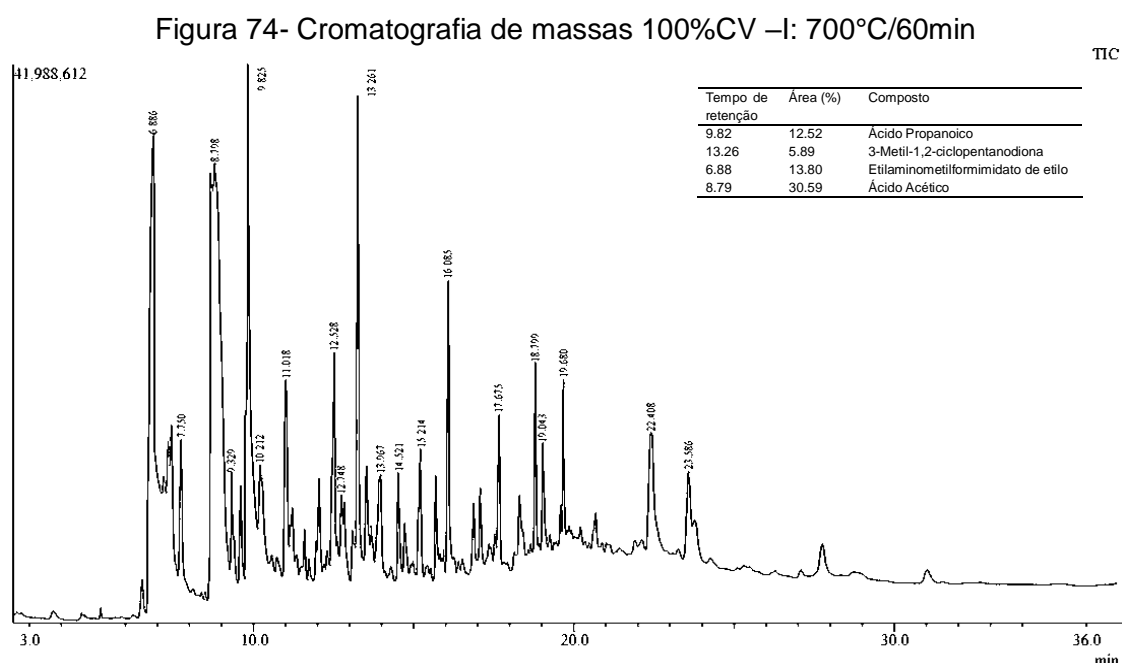
5.4 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS SUBPRODUTOS GERADOS NO PROCESSO DE PIRÓLISE

Além de reduzir o volume de resíduo têxtil, outro principal objetivo da pirólise é dar aos resíduos, finalidades mais nobres como, por exemplo, o aproveitamento energético. Sendo assim, faz se necessário conhecer às características químicas dos subprodutos gerados no processo.

Nesta pesquisa foram avaliadas a composição química da fração líquida por meio do espectro de massas e a composição químico-física da fração sólida por meio da análise elementar e MEV respectivamente.

5.4.1 Cromatografia Gasosa com Espectro de Massas (CG/EM) do Bio-óleo

O cromatograma obtido a partir da análise do líquido do resíduo 100% CV-I a 700°C e tempo de retenção de 60 minutos (Figura 74) apresentou quatro picos de maior intensidade nas ordens 5, 10, 1 e 3, correspondente a etilaminometilformimidato de etila, ácido acético, ácido propanoico e 3-metil-1,2-ciclopentanodiona respectivamente, sendo que o pico de maior intensidade foi direcionado ao ácido propanoico oriundo da degradação da celulose (Santos, 2010). Contudo, a maior área identificada foi referente ao ácido acético.

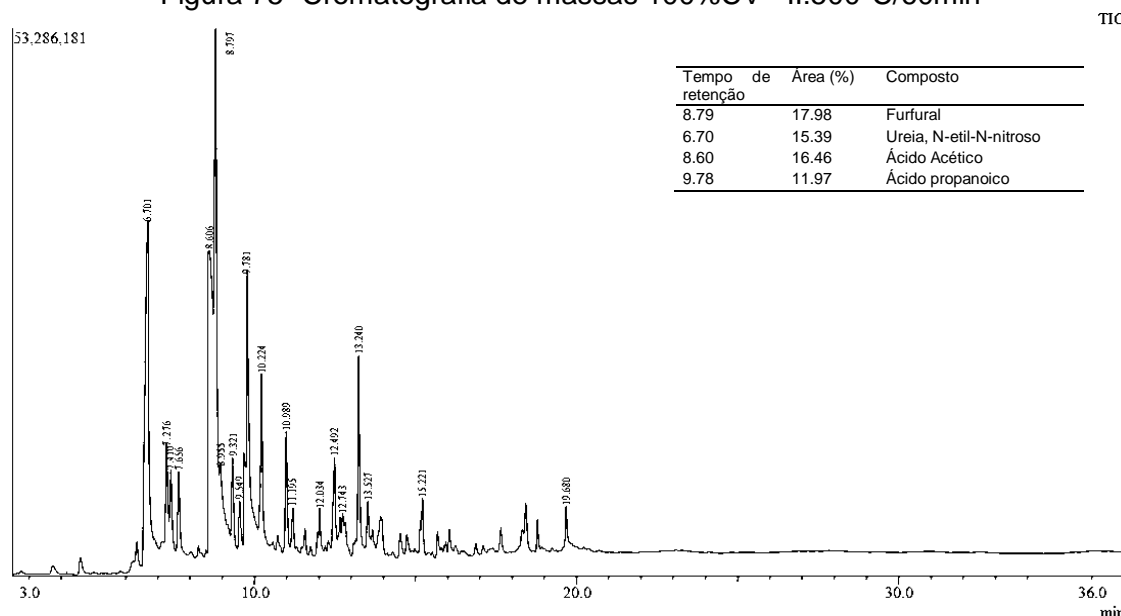


Fonte: Autora, 2019.

Já no cromatograma obtido a partir do líquido do resíduo 100% CV-II a 500°C e tempo de retenção de 60 minutos (Figura 75), o composto etilaminometilformimidato de etila não foi detectado.

Os quatro compostos com maior intensidade foram, sequencialmente, furfural, ureia, N-etil-N-nitroso, ácido acético e ácido propanoico, com tempos de retenção equivalentes a 8.80, 6.70, 8.60, 9.55 min, respectivamente.

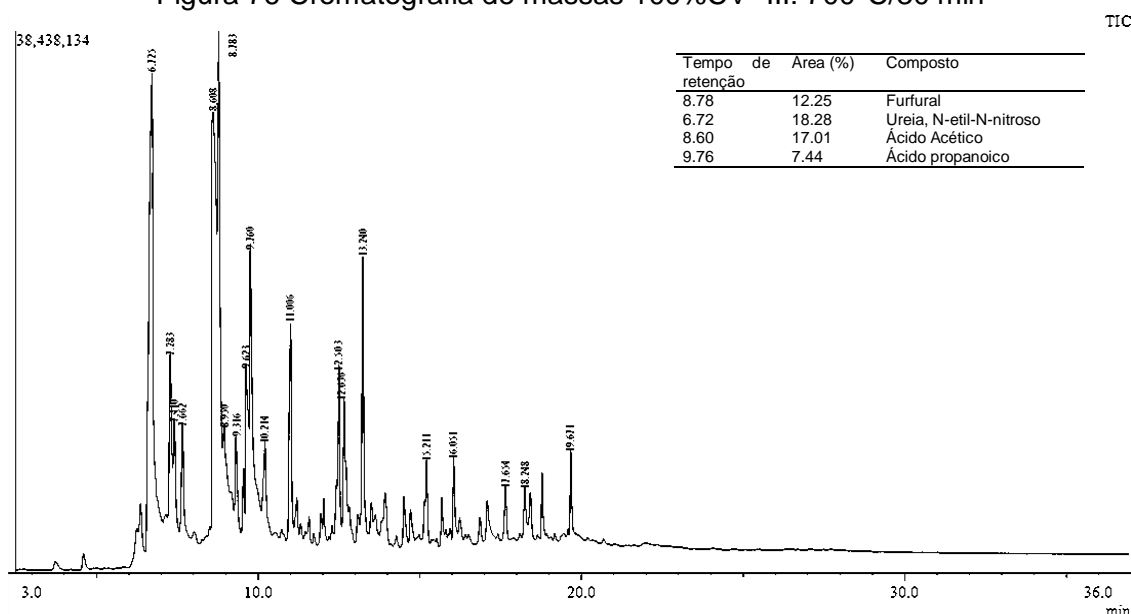
Figura 75- Cromatografia de massas 100%CV –II:500°C/60min



Fonte: Autora, 2019

Situação semelhante foi observada para os cromatogramas referentes aos líquidos do resíduo 100% viscoso com temperatura de 700°C (Figura 76) e 500°C (Figura 77) nos tempos de retenção de 30 minutos.

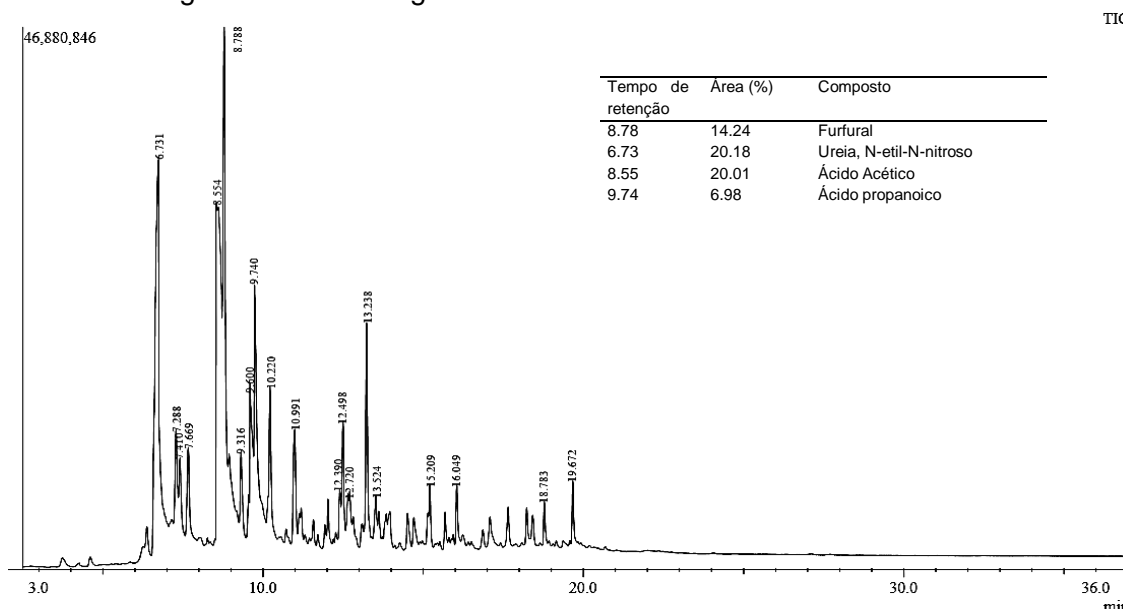
Figura 76 Cromatografia de massas 100%CV -III: 700°C/30 min



Fonte: Autor, 2019.

Entretanto, a porcentagem de área aumentou com a redução do tempo de retenção e registrou maior incidência para os compostos ureia, N-etil-N-nitroso, ácido acético.

Figura 77- Cromatografia de massas 100%CV-IV: 500°C/30 min



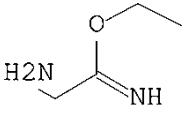
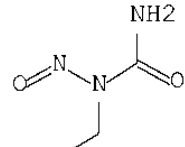
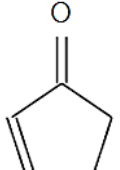
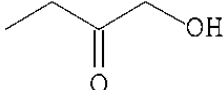
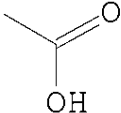
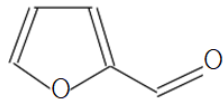
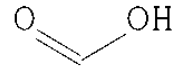
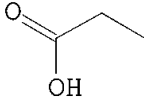
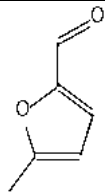
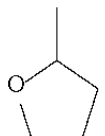
Fonte: Autora, 2019.

O resultado da cromatografia de massas do líquido pirolenhoso do resíduo 100%CV decorrente das quatro condições determinada pelo planejamento experimental foram confrontados na Tabela 18.

Diante das informações foi possível observar que grandes partes dos compostos pertencem aos grupos funcionais de aldeídos, ácidos carboxílicos, cetonas e álcool com destaque para os compostos ácido acético, furfural e ureia, N-etil-N-nitroso. Os compostos ácido acético e propanoico foram identificados em todos os bio-óleos, independente das análises realizadas, sendo que, para o ácido acético, a maior área (%) foi encontrada no maior tempo e temperatura (experimento I), já o ácido propanoico sofreu variação em função do tempo e da temperatura registrando maiores índices no experimento I e menor índice no experimento IV. Os compostos furfural e ureia, N-etil-N-nitroso, não foram constatados no experimento I, referente a maior temperatura e maior tempo de retenção, porém, o composto 5-Hydroxymetilfurfural foi diagnosticado em quantidades acima dos demais experimentos.

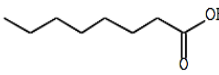
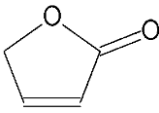
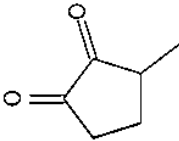
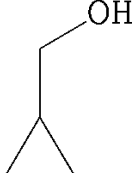
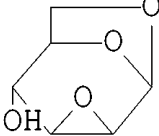
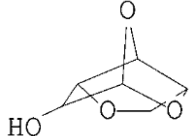
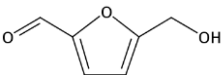
Em contrapartida, o furfural foi identificado como o maior pico dos demais experimentos, sobretudo naqueles com menor tempo de retenção. Com relação ao composto ureia, N-etil-N-nitroso, sua área (%) aumentou com a redução da temperatura e tempo. O ácido fórmico foi identificado nos experimentos com temperatura de 500°C. Ao contrário do ácido propanoico e da 2 (5H)-furanona, que foi registrado maiores rendimentos em alta temperatura e longo tempo de retenção.

Tabela 18- Estudo da cromatografia do líquido 100%CV

Ordem	Tempo de retenção (min)				Função Nome do composto	Fórmula Peso Molecular Pico Base	Estrutura Química
	Área (%)						
Altura do pico							
	700°C/ 60min	500°C/ 60min	700°C/ 30min	500°C/ 30min			
1	-	-	-	-	Éster Etilaminometilformimidato de etilo	$C_4H_{10}N_2O$ 102,14 g/mol 43.85	
-	1 6.70 15.39 *	1 6.72 18.28 ***	1 6.73 20.18 **	1	Composto nitroso Ureia, N-etil-N-nitroso	$C_3H_7N_3O_2$ 117,11 g / mol 51.00	
-	2 7.28 2.71 **	2 7.28 3.62 ***	2 7.28 2.84 *	2	Cetona 2-ciclopenten-1-ona	C_6H_8O 96,13 g / mol 46.00	
2	4 7.75 2.13 ****	4 7.77 2.07 ***	4 7.67 2.16 *	4 7.67 2,57 **	Aldeído + cetona 1-Hidroxi-2-Butanona	$C_4H_8O_2$ 8,11 g/mol 57.00	
3	5 8.78 30,59 ****	5 8.60 16.46 **	5 8.60 17.01 ***	5 8.55 20.01 *	Ácido carboxílico Ácido Acético	$C_2H_4O_2$ 60,05 g / mol 45.00	
-	6 8.80 17.98 *** Mx	6 8.78 12.25 * Mx	6 8.79 14.24 ** Mx	6	Aldeído Furfural	$C_5H_4O_2$ 96,08 g / mol 104	
-	-	9 9.62 4.70 *	8 9.6 5.68 **	8	Ácido Carboxílico Ácido Fórmico	CH_2O_2 46,025 g/mol 45	
5	10 9.83 12.52 **** Mx	10 9.79 11.97 ***	10 9,76 7.44 **	9 9.74 6.98 *	Ácidos Carboxílicos Ácido propanoico	$C_3H_6O_2$ 74,079 g / mol 74	
-	11 10.22 5.05 ***	11 10.21 3.28 *	10 10.22 3.48 **	10	- 2-Furancarboxaldeído, 5-metil-	$C_6H_6O_2$ 110,11 g / mol 78	
-	-	12 11.00 4.71 *	-	-	Aldeído 2-metil tetra-hidrofurano	$C_5H_{10}O$ 86,13 g / mol 80	

(Continua...)

Tabela 18- Estudo da cromatografia do líquido 100%CV (Continuação)

Ordem				Função	Fórmula	Estrutura Química
Tempo de retenção (min)				Nome do composto	Peso Molecular	
Área (%)					Pico Base	
Altura do pico						
I	II	III	VIV			
-	12 10.99 2.99 *	-	-	Ácido Carboxílico Ácido octanóico	$C_8H_{16}O_2$ 144,21 g / mol 85	
8 12.53 3.81 ****	15 12.49 2.66 *	13 12.50 3.35 ***	13 12.50* 2.57 *	Butenólídeos 2 (5H) -Furanona	$C_4H_4O_2$ 84,07 g / mol 55.00	
10 13.26 5.89 ****	17 13.24 3.95 *	15 13.24 4.49 ***	15 13.24 4.91 **	Hidrocarbonetos + Acetona 3-Metil-1,2-ciclopentanodiona	$C_6H_8O_2$ 112,13 g / mol 112.05	
14 16.09 3.57 **	-	17 16.05 1.36 *	-	Álcool Ciclopropil carbinol	C_4H_8O 72,11 g / mol 44.00	
15 17.67 1.74 **	-	18 17.65 1.07 *	-	Composto 2,3-anidro-d-mannosan	$C_6H_8O_4$ 144,12 g / mol 43.00	
16 18.80 2.05 *	-	-	-	Composto Nitroso 1,4:3,6-Dianidro-alfa-d-glucopiranosose	$C_6H_8O_4$ 144,12 g / mol 69.00	
18 19.68 1.41 ****	20 19.67 0.84 *	20 19.67 1.22 **	20 19.67 1.27 ***	Aldeído e Álcool 5- (hidroximetil) furfural	$C_6H_6O_3$ 126,11 g / mol 41.00	

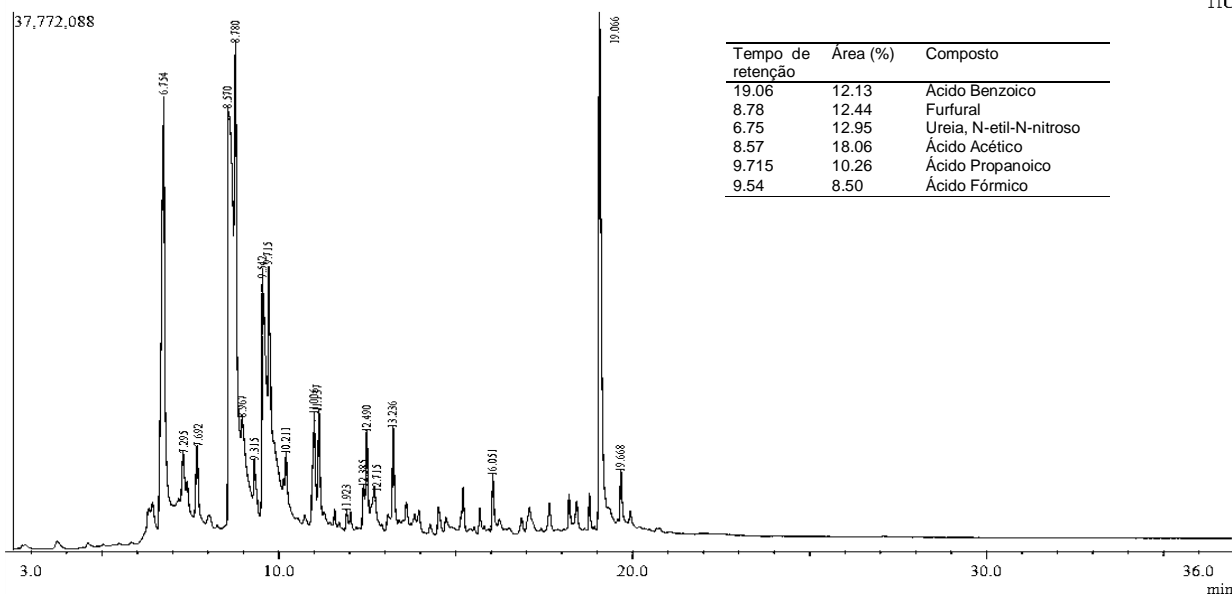
Fonte: Autora, 2019.

As figuras 78, 79 e 80 mostram os cromatogramas referentes aos líquidos pirolenhosos gerados a partir dos resíduos têxteis 55%CV 45%PES.

O cromatograma do líquido pirolenhoso gerado dos resíduos têxteis 55%CV 45%PES, a 700°C e tempo de retenção de 60 minutos (Figura 78) revelou 4 picos principais nos tempos de retenção de 6.75, 8.57, 8.78, 19.06 min, correspondentes a

ureia, N-etil-N-nitroso, ácido acético, furfural, ácido benzóico respectivamente, além do composto ácido fórmico e ácido propanoico.

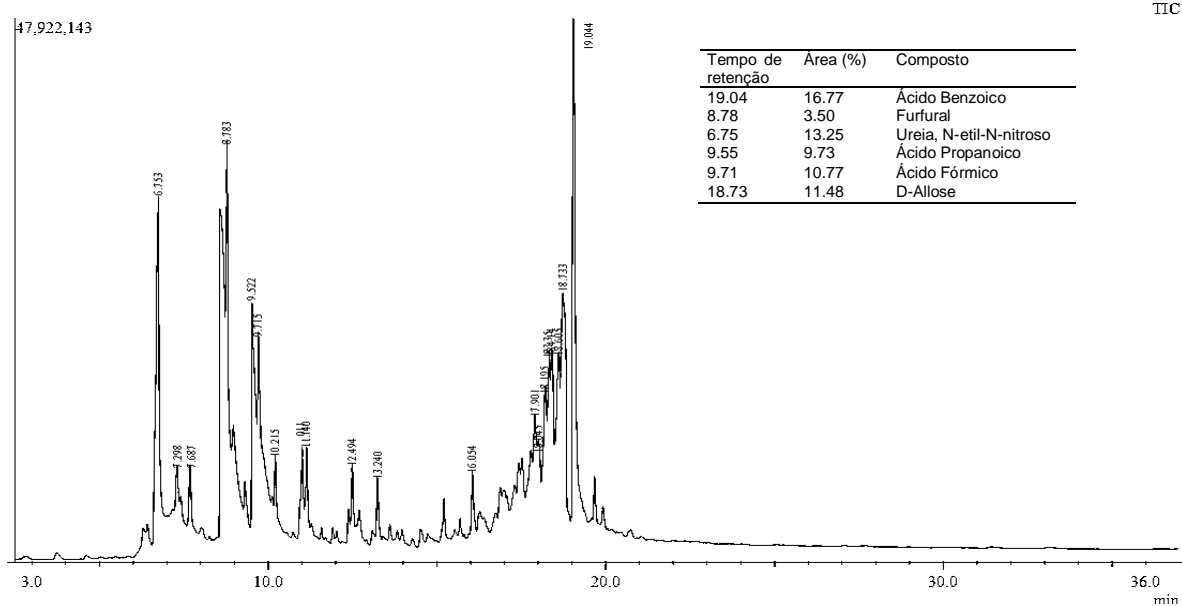
Figura 78- Cromatografia de massas 55%CV 45%PES -I: 700°C/60 min



Fonte: Autora, 2019.

Estes compostos também foram identificados nos líquidos resultantes dos demais experimentos, sobretudo, o ácido benzóico, encontrado em maior intensidade em todos os experimentos como pode ser observado nas Figuras 79 e 80.

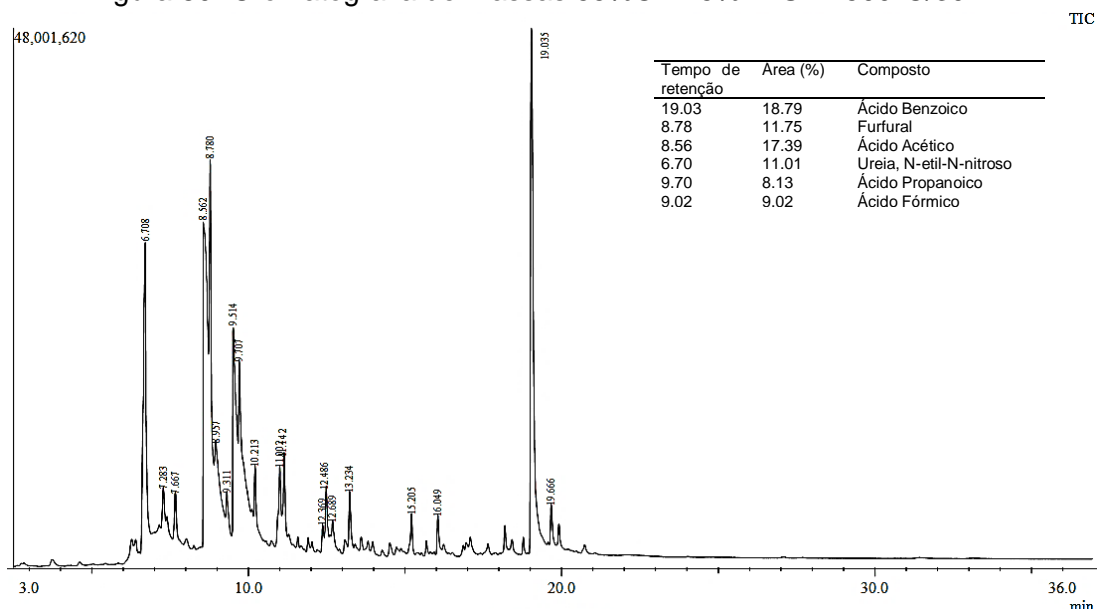
Figura 79- Cromatografia de massas 55%CV 45%PES -II: 500°C/60min



Fonte: Autora, 2019.

No experimento III referente a 500°C e 60 minutos de retenção, apesar de apresentar tempos de retenção familiares aos demais experimentos, não foi possível identificar o pico para cada composto e, portanto, inacessível para ser apresentado nesta pesquisa. Já o cromatograma correspondente ao experimento IV (Figura 80), cuja temperatura foi de 500°C e 30 minutos apresentaram os maiores picos iguais ao ocorrido para o experimento I.

Figura 80- Cromatografia de massas 55%CV 45%PES IV:500°C/30min



Fonte: Autora, 2019.

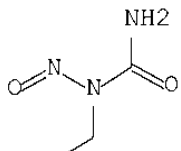
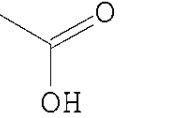
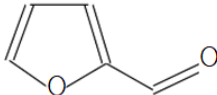
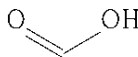
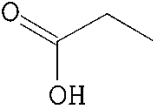
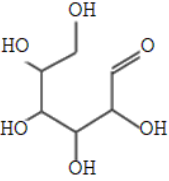
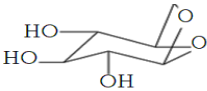
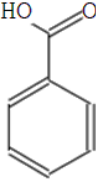
Contudo, a porcentagem de área dos compostos variou conforme cada experimento, como é apresentado na Tabela 19 que mostra os dados referente ao líquido pirolenhoso do resíduo 55%CV 45%PES.

O composto ácido benzoico registrou o maior pico em todos os experimentos, entretanto apresentou maior concentração em menor temperatura.

O composto furfural foi o segundo maior pico registrado, contudo sua área (%) apresentou grande redução nos experimentos com maior temperatura e menor tempo, ou vise versa.

O composto uréia, N-etil-N-nitroso foi o terceiro composto de maior incidência nos experimentos. Seus maiores picos foram registrados nas condições de menor temperatura, mas a área (%) foi maior em maiores temperaturas.

Tabela 19- Estudo espectral do líquido 55%CV 45%PES

Ordem				Função	Fórmula	Estrutura Química
Tempo de retenção (min)				Nome do composto	Peso Molecular	
Área (%)					Pico Base	
Altura do pico						
I	II	III	VIV			
1	1	1	1	Composto nitroso Ureia, N-etil-N-nitroso	$C_3H_7N_3O_2$ 117,11 g / mol 42.95	
6.75 12.95 *	6.75 13.25 **		6.70 11.01 ***			
4	-	-	5	Ácido Carboxílico Ácido Acético	$C_2H_4O_2$ 60,05 g/ mol 60	
8.57 18.06 **			8.56 17.39 *			
5	6		6	Aldeído Furfural	$C_5H_4O_2$ 96,08 g/ mol 96	
8.78 12.44 **	8.78 3.50 *		8.78 11.75 ***			
8	5		8	Ácido Carboxílico Ácido Fórmico	CH_2O_2 46,025 g/mol 45.95	
9.54 8.50 ***	9.52 9.73 **		9.51 9.02 *			
9	10		9	Ácidos Carboxílicos Ácido propanoico	$C_3H_6O_2$ 74,079 g/ mol 74	
9.72 10.26 ***	9.52 10.77 **		9.51 8.13 *			
-	16,18,19 18.33- 18.60- 18.73 27.96* 17 18.41		-	Monossacarídeos D-alose	$C_6H_{12}O_6$ 180.16 g/mol 60	
-	43 4.41 *	-	-	Levoglicosan	$C_6H_{10}O_5$ 162,14 g / mol	
19	20		19	Ácido Carboxílico Ácido Benzoico	$C_7H_6O_2$ 122,12 g / mol 122.05	
19.07 12.13 *Mx	19.04 16.77 **Mx		19.03 18.79 *** Mx			

Fonte: Autora, 2019.

Nota: *Soma da área de todos os monossacarídeos.

Os ácidos, propanoico e fórmico foram o terceiro e o quarto composto, respectivamente, de maior proporção em todos os experimentos, sobretudo

naqueles a 700°C. Já o ácido acético, se fez presente no experimento I e IV, onde os compostos monossacarídeos não foram registrados.

Em suma, os compostos identificados por cromatografia são provindos de resíduos têxteis de viscose e poliéster, cujos principais composições são a celulose e o éster, sendo assim, a maior incidência no líquido pirolenhoso dos resíduos foram: furfural; ureia, N-etil-N-nitroso e os ácidos: acético, propanoico, fórmico e benzoico.

Segundo Wang et al. (2012) a decomposição térmica da celulose ocorre em dois estágios. Na primeira fase ocorre a quebra da ligação 1-4 glicosídica do polímero de celulose, sem perda de massa. Em seguida, a decomposição da celulose por desidratação e aromatização, forma compostos voláteis leves como: 5-hidroximetilfurfural; furfural; hidroxiacetaldeídos; hidroxialdeídos que podem ser convertidos em ácido fórmico e principalmente a monossacarídeos como a levoglucosana, além do mais, o composto furfural pode ser decorrente da degradação de hemicelulose em altas temperaturas (WANG et al., 2012). Para Lv e Wu (2012) a hemicelulose contribui para a formação de ácidos e cetonas devido às suas características estruturais. A celulose contribui para a geração de produtos de furanos e aldeídos de pequenas moléculas e, a lignina contribui principalmente, para produzir fenóis e compostos heterocíclicos. Já o poliéster contribui para a produção de ácido benzoico e fenol nos resíduos de composição mista (GOLTZ et al., 2017).

Mas, os experimentos mostraram presença marcante de ureia, N-etil-N-nitroso, que é usado como solvente para dissolução do acetato na produção de celulose para fabricação da viscose (SOUZA, 2009) e por isso, compôs um dos maiores picos em todas as condições de experimento e tipo de resíduo têxtil.

O ácido acético (com grande incidência nos resultados desta pesquisa) corresponde a fase ácida do composto pirolenhoso e sua concentração pode dificultar o uso do bio-óleo como combustível devido corrosões nas estruturas usadas na queima, por isso necessita de tratamento posterior, o que acaba por elevar o custo do processo. Em contrapartida, tal característica favorece seu uso em processos de beneficiamentos têxteis (ERHARDT et al, 1975b; ARAÚJO; CASTRO, 1986). Já o furfural possui principalmente, efeito tóxico e pode prolongar a fase de retardamento do crescimento dos microrganismos, isto o torna atrativo para indústria química e um problema para produção de etanol, que depende da ação microbiana na fermentação (KANG et al., 2011).

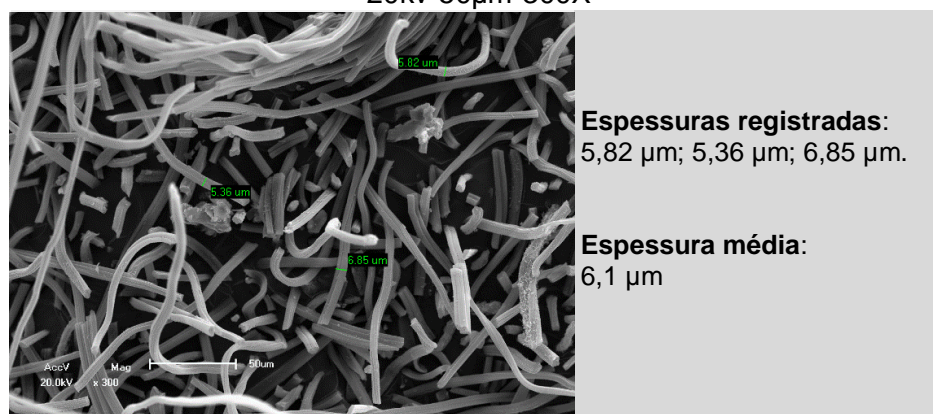
No caso do ácido propanoico, este apresenta grande potencial industrial devido a gama de ácidos carboxílicos que pode formar; podendo produzir como produtos secundários ou intermediários como o ácido acético, ácido succínico, ácido acrílico, ácido fumárico e propanol. O ácido benzoico é usado na produção de fenol, principalmente para produzir caprolactama, usada na produção de poliamida (AMARAL, 2016). Foelkel (2012) afirma que estes compostos podem ser separados em biorrefinarias para uso posterior em indústria de resinas e adesivos, para aromatizantes e sabor na indústria alimentícia, para aditivos na preparação de fertilizantes orgânicos, pela indústria farmacêutica, entre outras. Contudo a opção mais viável para os líquidos pirolenhoso é a co-fusão em usinas existentes uma vez que, usinas de carvão, petróleo ou gás não são afetadas significativamente pela introdução do líquido pirolenhoso, que em contrapartida, apresentam bons rendimentos de combustível e temperatura (BARIŞÇI; ÖNCEL, 2013).

5.4.2 Morfologia dos Carvões

Em observação ao tempo e temperatura usados nos experimentos, a proporção de sólidos resultante do processo de pirólise variou entre 25,8% a 20,9% referente aos resíduos vindos da viscosa, e de 37,2% a 46,9% referente aos resíduos vindos da mistura viscosa/poliéster. Parte destes resultados pode ser justificada através da análise morfológica apresentadas da Figura 81 a 105.

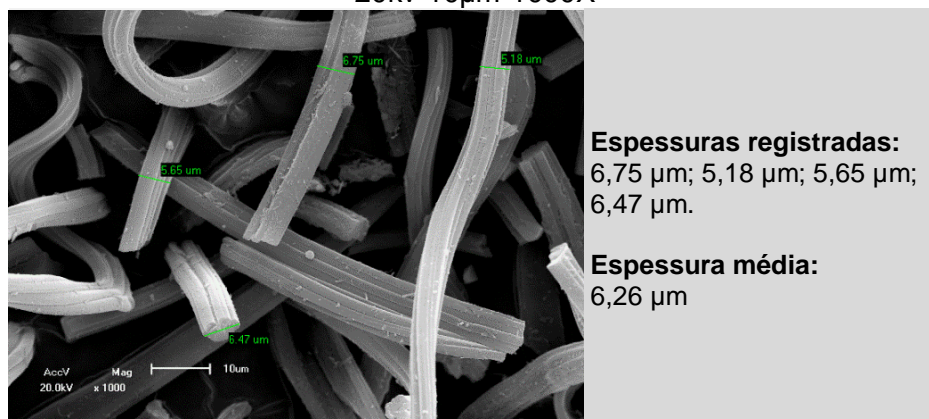
O carvão gerado nas condições experimentais de 700°C/ 60min (Figura 81 e 82) apresentou a espessura média de 6,18 µm, uma redução de 36,62% em comparação com a biomassa (9,76 µm).

Figura 81- Morfologia do carvão 100% CV nas condições experimentais I- 700°C/60min a 20kv-50µm-300X



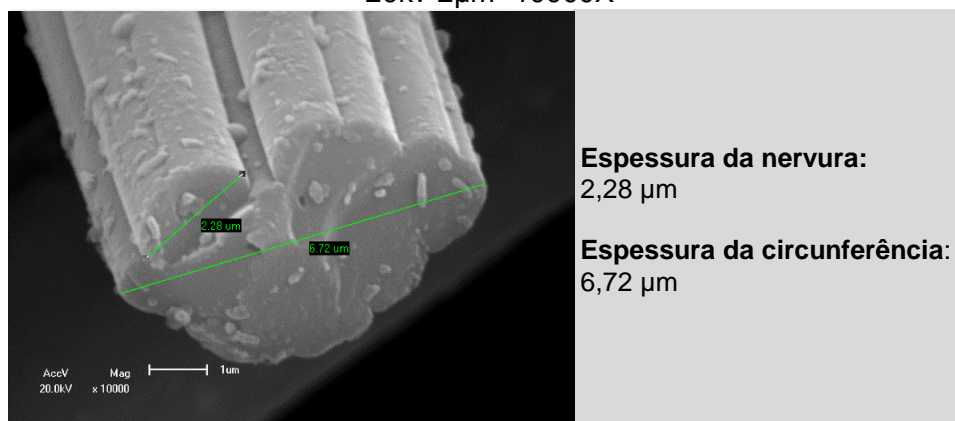
Fonte: Autora, 2019.

Figura 82- Morfologia do carvão 100% CV nas condições experimentais I- 700°C/60min a 20kv-10µm-1000X



Fonte: Autora, 2019.

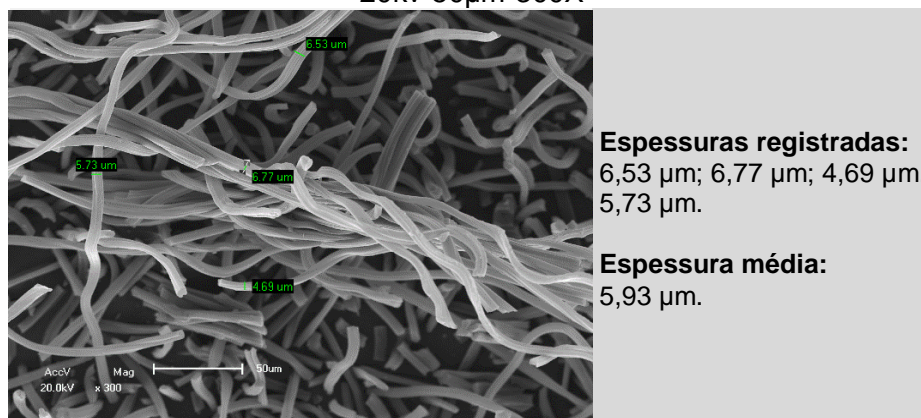
Figura 83- Morfologia do carvão 100% CV nas condições experimentais I- 700°C/60min a 20kv-2µm -10000X



Fonte: Autora, 2019.

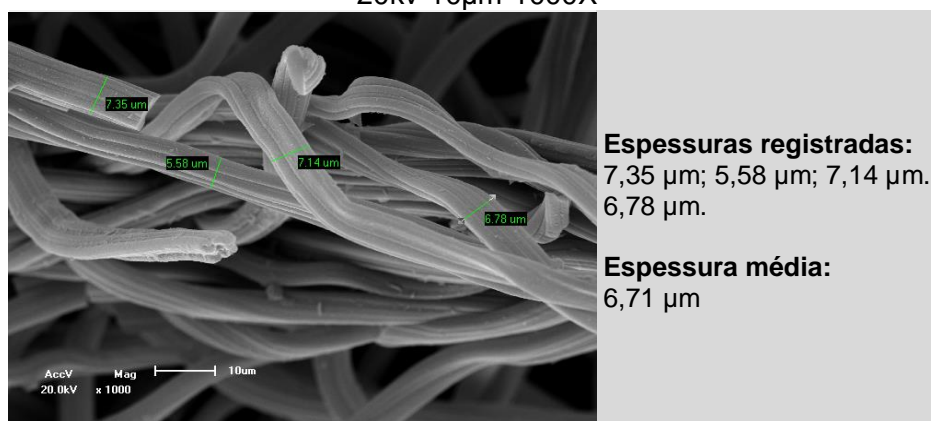
Já o carvão gerado nas condições experimentais de 500°C/60min (Figuras 84, 85) apresentou espessura média de 6,32 µm e redução 35,2% com relação as medidas da biomassa (9,76 µm).

Figura 84- Morfologia do carvão 100% CV nas condições experimentais II- 500°C/60min a 20kv-50µm-300X



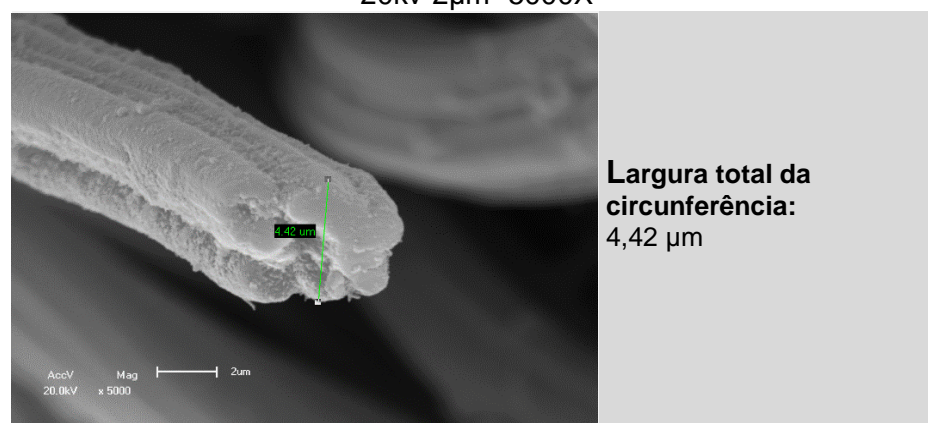
Fonte: Autora, 2019.

Figura 85- Morfologia do carvão 100% CV nas condições experimentais II- 500°C/60min a 20kv-10µm-1000X



Fonte: Autora, 2019.

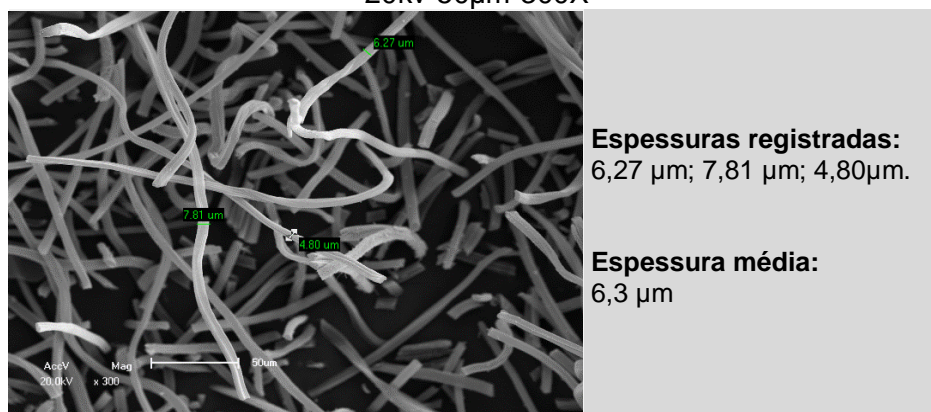
Figura 86- Morfologia do carvão 100% CV nas condições experimentais II- 500°C/60min a 20kv-2µm -5000X



Fonte: Autora, 2019.

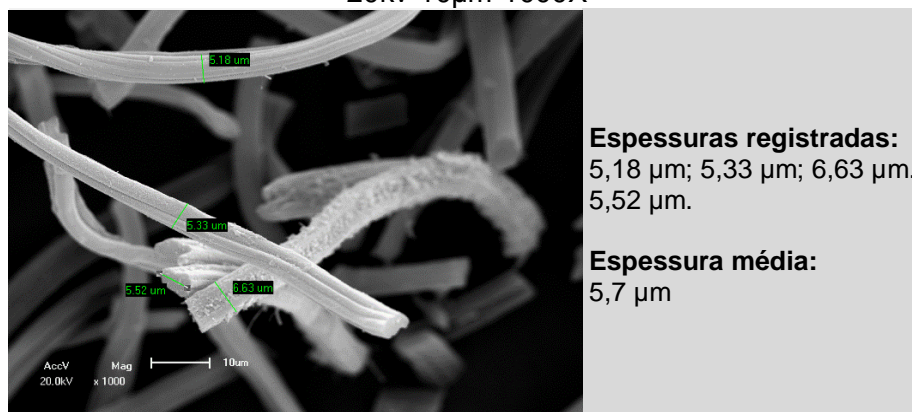
Nas condições experimentais de 700°C/30 min a média de espessura das fibras pirolisadas (Figura 87 e 88) foi de 6 µm. Em comparação com a biomassa (9,76 µm), a redução foi de 38,52%.

Figura 87- Morfologia do carvão 100% CV nas condições experimentais III- 700°C/30min a 20kv-50µm-300X



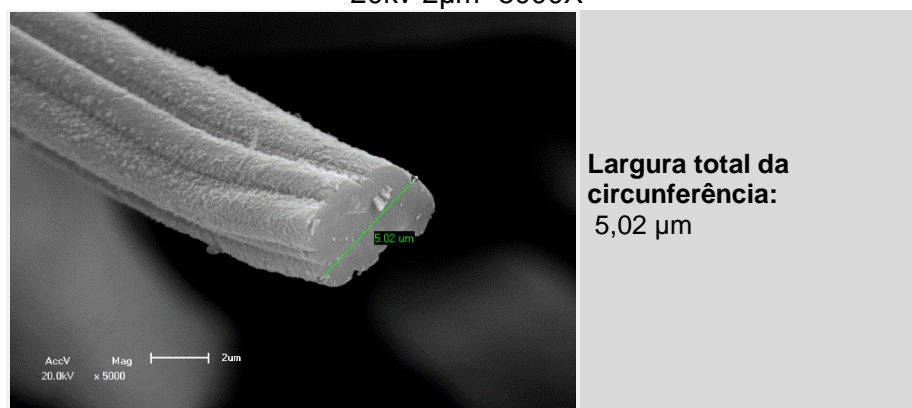
Fonte: Autora, 2019.

Figura 88- Morfologia do carvão 100% CV nas condições experimentais III- 700°C/30min a 20kv-10µm-1000X



Fonte: Autora, 2019.

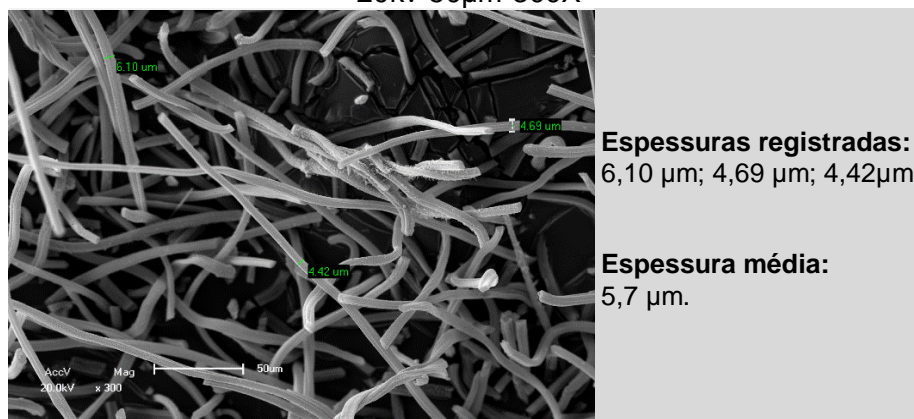
Figura 89- Morfologia do carvão 100% CV nas condições experimentais III- 700°C/30min a 20kv-2µm -5000X



Fonte: Autora, 2019.

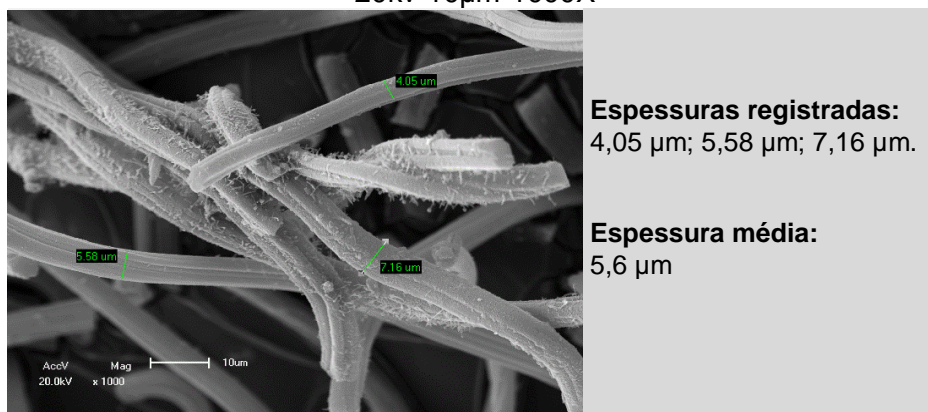
Já nas condições experimentais 500°C/30 min (Figura 90 e 91) a média na espessura das fibras pirolizadas foi de 5,6 µm. Uma redução média de 42,05% em comparação com a biomassa (9,75 µm).

Figura 90- Morfologia do carvão 100% CV nas condições experimentais IV- 500°C/30min a 20kv-50µm-300X



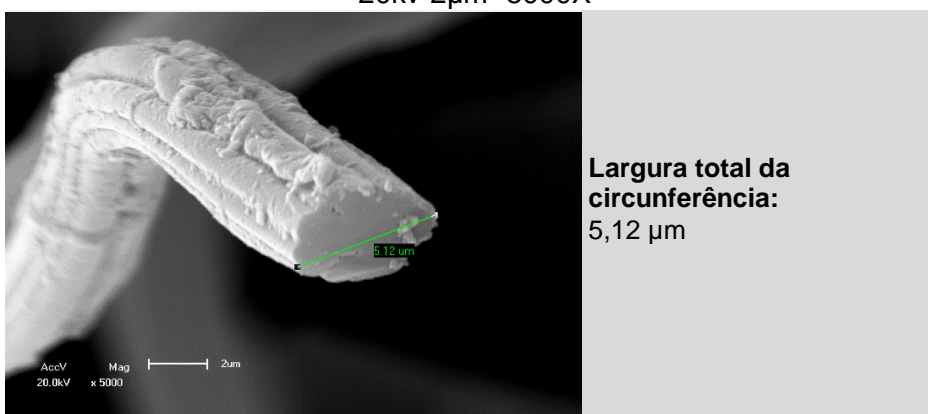
Fonte: Autora, 2019.

Figura 91- Morfologia do carvão 100% CV nas condições experimentais IV- 500°C/30min a 20kv-10µm-1000X



Fonte: Autora, 2019.

Figura 92- Morfologia do carvão 100% CV nas condições experimentais IV- 500°C/30min a 20kv-2µm -5000X



Fonte: Autora, 2019.

Ao comparar as medidas de espessura transversal do carvão proveniente do composto fibroso nas condições experimentais I (6,72 µm) (Figura 83), II (4,42 µm) (Figura 86), III (5,02 µm) (Figura 89), e IV (5,12 µm) Figura (92), foi possível constatar que a média de redução aproximada para os experimentos I, II, III, IV foram de 39,5%, 60,18%, 54,7% e 53,87% respectivamente.

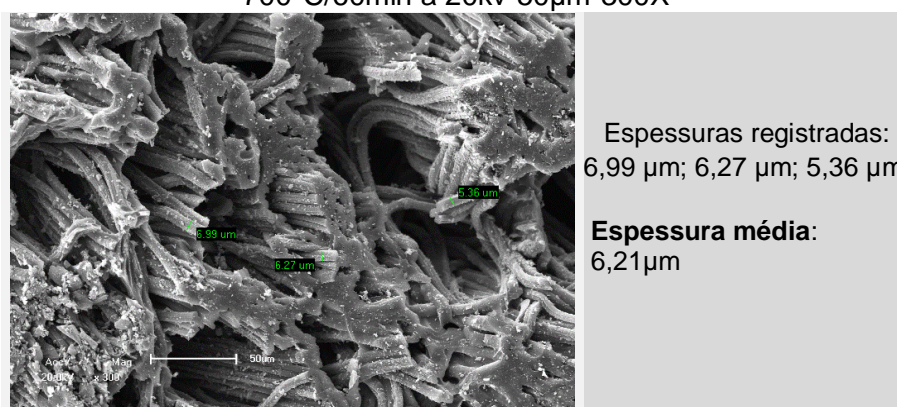
Com relação a aparência da morfologia dos carvões, na resolução de 1000X (Figuras 82, 85, 88 e 91) e 5000X (Figura 83, 86, 89 e 92) nota-se uma camada porosa na superfície do resíduo pirolisados, sobretudo a temperatura de 500°C, provavelmente vindos de produtos sintéticos usados no processo de beneficiamento da fibra que, em menor temperatura não foram volatizados e ficaram cristalizados na superfície. Além disso, os finos de carvão 100%CV apresentam regiões amorfas e cristalinas similares a biomassa (Figuras 61,62 e 63) que seguem características lineares, contudo, a redução no diâmetro, as rupturas no comprimento das fibras

decorrentes da ação termoquímica, a formação ondulada na parede externa do sólido gerado e a ausência de fissuras, mostram indícios de alta porosidade (PLENS, 2018).

Já os resultados da análise morfológica dos carvões gerados a partir do composto fibroso 55%CV 45%PES podem ser conferidos a partir da Figura 93 até a 104, mas os finos de carvão gerados a partir da mistura de fibras 55%CV 45%PES, mostram aparência irregulares com relação a forma, tamanho e diâmetro, pois, as fibras de viscose foram solidificadas junto a fibra de poliéster formando blocos de carvão. Sendo assim, os filamentos apresentados na Figura 64,65 e 66, tornaram blocos com grandes regiões cristalinas indicando baixa porosidade para o material pirolisado. Nestas circunstâncias, as medidas registradas na análise morfológica se mostraram variadas com elevação de espessura quando comparado ao carvão proveniente da fibra 100%CV, como registrado das Figuras 81 a 92

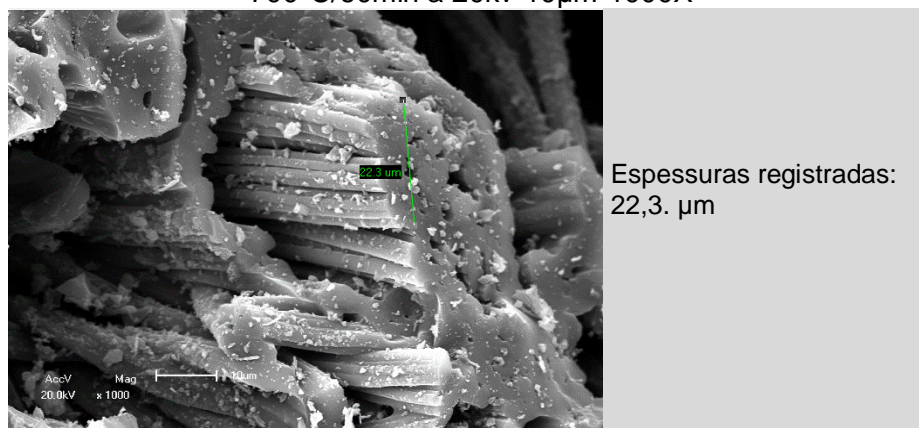
Esta incidência se mostrou mais intensa na temperatura de 700°C/60 min. Como pode ser comprovado nas Figuras 93, 94 e 95. O mesmo comportamento foi observado no experimento de Hanoğlu; Çay e Yanık (2019) entre as fibras de poliéster e algodão. Para os autores, os resultados são decorrentes da combinação da temperatura de fusão do poliéster e da decomposição térmica da celulose. Neste sentido, Erhardt et al (1975b) e Araújo e Castro (1986) afirmam que a temperatura de fusão cristalino do poliéster é de 260°C e um ponto de transição em vítrea de 80°C, enquanto que a temperatura de decomposição da celulose começa entre 180°C e 200°C e só se completa entre 400°C e 450°C. Por isso, no decorrer do processo termoquímico partes do poliéster fundiram e aderiram à superfície do carvão de viscose.

Figura 93- Morfologia do carvão 55%CV 45%PES nas condições experimentais I- 700°C/60min a 20kv-50µm-300X



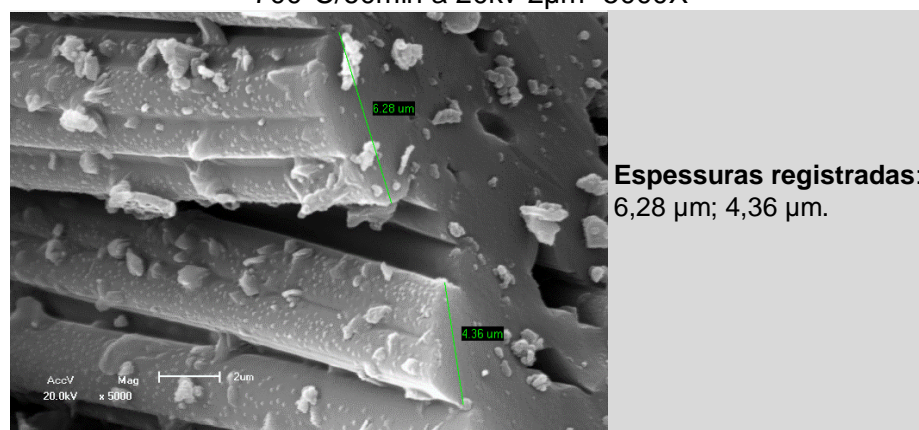
Fonte: Autora, 2019.

Figura 94- Morfologia do carvão 55%CV 45%PES nas condições experimentais I- 700°C/60min a 20kv-10µm-1000X



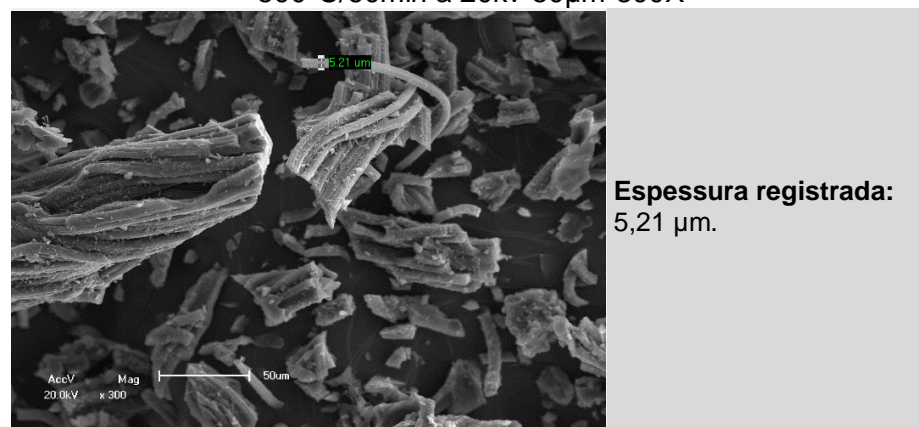
Fonte: Autora, 2019.

Figura 95- Morfologia do carvão 55%CV 45%PES nas condições experimentais I- 700°C/60min a 20kv-2µm -5000X



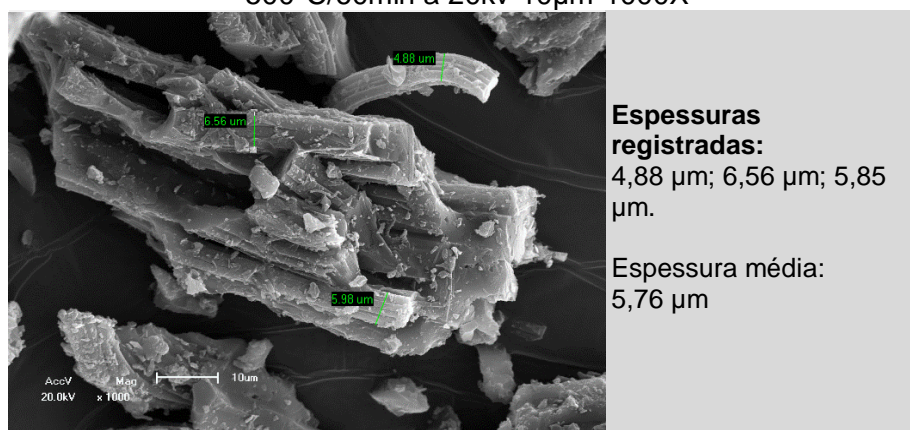
Fonte: Autora, 2019.

Figura 96- Morfologia do carvão 55%CV 45%PES nas condições experimentais II- 500°C/60min a 20kv-50µm-300X



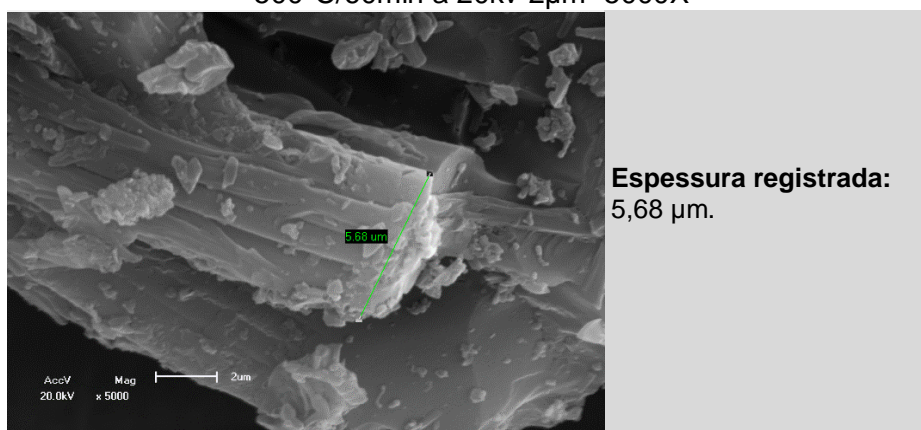
Fonte: Autora, 2019.

Figura 97- Morfologia do carvão 55%CV 45%PES nas condições experimentais II- 500°C/60min a 20kv-10µm-1000X



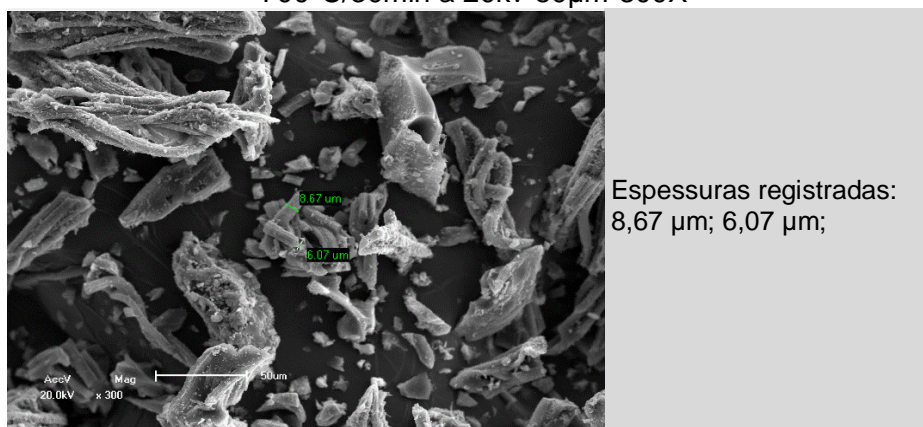
Fonte: Autora, 2019.

Figura 98- Morfologia do carvão 55%CV 45%PES nas condições experimentais II- 500°C/60min a 20kv-2µm -5000X



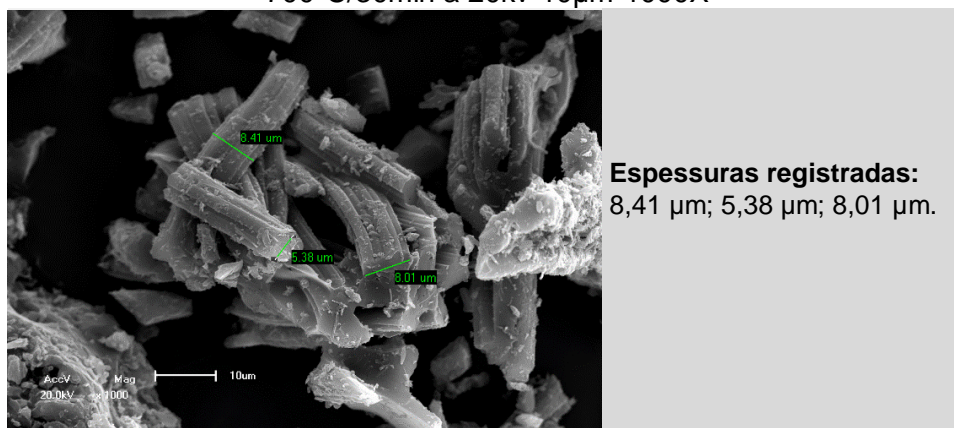
Fonte: Autora, 2019.

Figura 99- Morfologia do carvão 55%CV 45%PES nas condições experimentais III- 700°C/30min a 20kv-50µm-300X



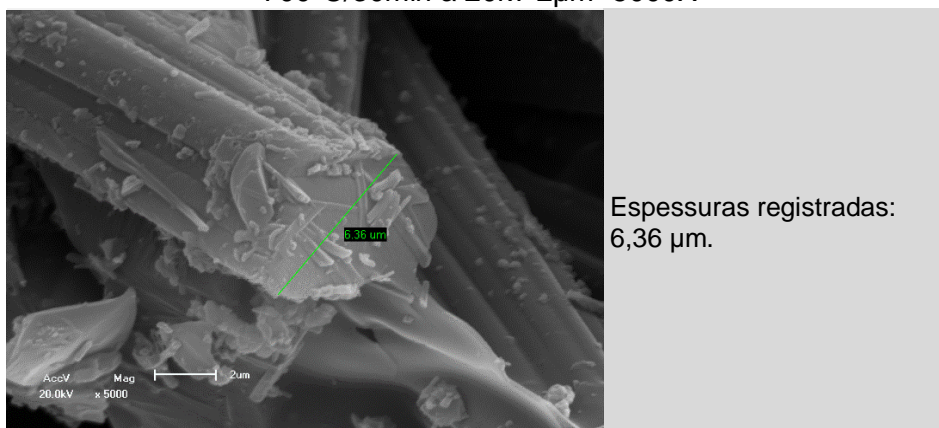
Fonte: Autora, 2019.

Figura 100- Morfologia do carvão 55%CV 45%PES nas condições experimentais III- 700°C/30min a 20kv-10µm-1000X



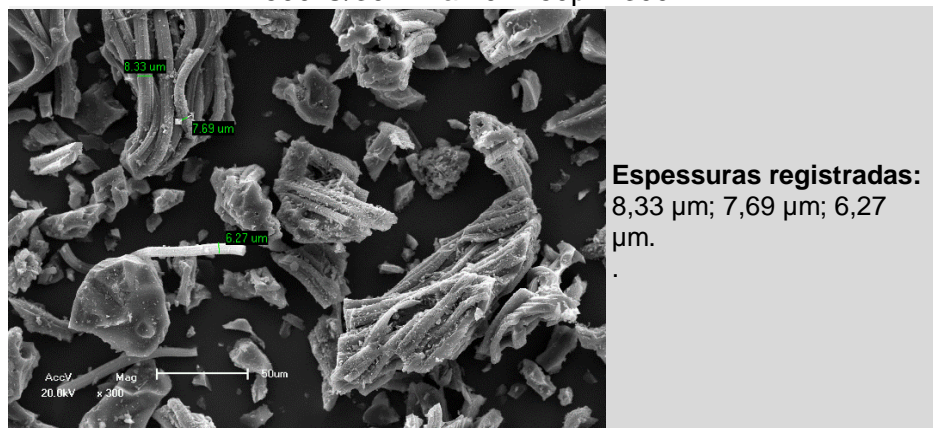
Fonte: Autora, 2019.

Figura 101- Morfologia do carvão 55%CV 45%PES nas condições experimentais III- 700°C/30min a 20kv-2µm -5000X



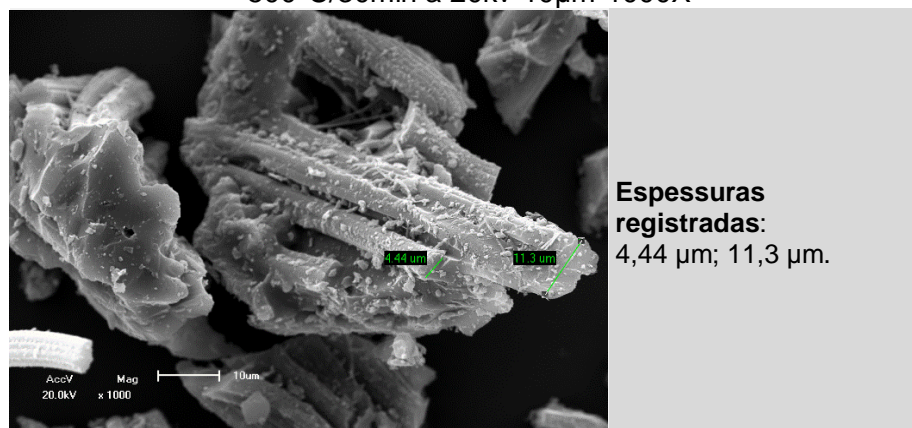
Fonte: Autora, 2019.

Figura 102- Morfologia do carvão 55%CV 45%PES nas condições experimentais IV- 500°C/30min a 20kv-50µm-300X



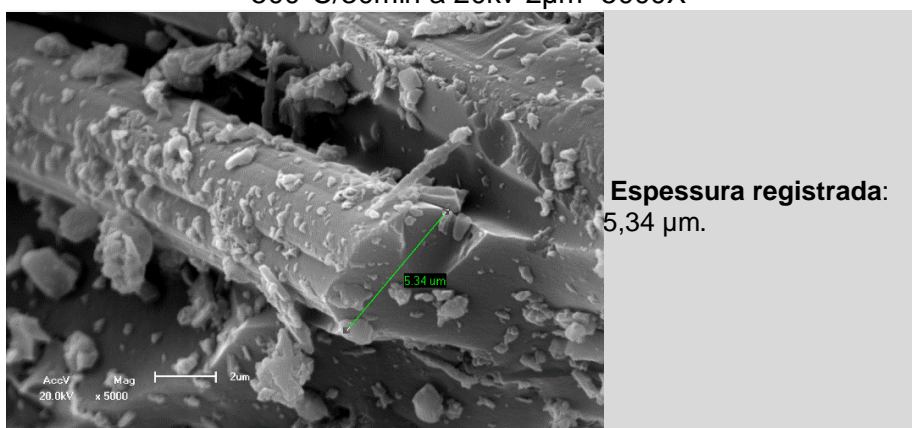
Fonte: Autora, 2019.

Figura 103- Morfologia do carvão 55%CV 45%PES nas condições experimentais IV- 500°C/30min a 20kv-10µm-1000X



Fonte: Autora, 2019.

Figura 104- Morfologia do carvão 55%CV 45%PES nas condições experimentais IV- 500°C/30min a 20kv-2µm -5000X



Fonte: Autora, 2019.

Dessa forma, o carvão de fibra mista apresentou maior rendimento e maior áreas cristalinas devido a fração de poliéster, o que tornou o carvão menos poroso e, portanto, mais estável para fins energéticos e menos promissor para fins de filtração, sobretudo quando comparado ao carvão de fibras 100%CV.

5.4.3 Análise Elementar do Carvão dos Resíduos Têxteis

Os resultados da análise elementar dos resíduos sólidos gerados no processo de pirólise foram apresentados na Tabela 20. Em comparação com resíduo têxtil, o carvão reduziu o teor de oxigênio reduziu em ~72,45% e o teor de carbono foi elevado em ~51,70%. O teor de nitrogênio reduziu em ~92,41% e o de hidrogênio elevou-se em ~95,10% em experimentos com maior tempo de retenção, e em ~97,53% em experimentos com menor tempo de retenção.

Tabela 20- Análise elementar do carvão vindos dos resíduos têxteis pirolisado

Parâmetros	Temperatura (°C)	Tempo (min)	100% Viscose				55% Viscose 45% Poliéster			
			C	N	H	O	C	N	H	O
Biomassa	-	-	40,38	6,72	0,07	52,84	49,80	4,96	0,10	45,15
I	700	60	83,61	0,51	1,43	14,45	82,9	0,05	1,64	15,41
II	500	60	85,64	0,6	2,15	11,61	83,4	0,07	1,95	14,58
III	700	30	83,9	0,48	1,52	14,1	82,86	0,45	1,53	15,16
IV	500	30	84,72	0,4	2,85	12,03	84,82	0,48	1,85	12,85

Fonte: Autora, 2019.

Observa-se que todos os elementos variaram conforme o tempo de retenção e a temperatura, sobretudo os teores de carbono e nitrogênio, que demonstraram ser inversamente proporcionais ao tempo de retenção, enquanto o oxigênio apresentou comportamento inverso. Já a variação do teor de nitrogênio foi associada à temperatura, quando comparada ao tempo, apresentando maiores rendimentos em temperaturas mais elevadas para resíduos celulósicos e menores teores para os resíduos têxteis mistos.

Assim, foi notado que os teores de carbono e hidrogênio foram inversamente proporcionais ao teor de oxigênio (WILLIAMS; REED, 2004). Todavia, nos estudos de Nahil e Williams (2010) e Hanoğlu; Çay e Yandk (2019) foi notado que a temperatura exerceu maior influência se comparada ao tempo, sendo ela, diretamente proporcional a formação do teor de carbono.

Ao comparar os carvões das duas biomassas foi possível verificar que o carvão de resíduo misto apresentou: menor teor de carbono; maior teor de Oxigênio; teor de nitrogênio similar e teor de hidrogênio aproximado em tempos de maior retenção, e relativamente menor em tempos de menor retenção quando comparado ao carvão de viscose puro. Resultados semelhantes foram observados no estudo de Williams e Reed (2004), no qual foi produzido carvão ativado a partir de fibras naturais de linho, cânhamo em temperaturas próximas a este estudo.

Hanoğlu; Çay e Yandk (2019) compararam as propriedades carvão provindo dos resíduos têxteis de fibras acrílicas ao carvão betuminoso, e o carvão de misturas de fibras (algodão/poliéster ao lignite. Neste contexto, os resultados encontrados nesta pesquisa também pode ser compara do ao carvão betuminoso independentemente do tipo de fibra estudado. Este resultado pode estar associado a alta temperatura envolvida no processo de pirólise que reduz o teor de umidade e eleva o teor de carbono.

Em suma, o alto teor de carbono confere ao carvão do material têxtil envolvido nesta pesquisa alta resistência de degradação térmica e maior resistência no interior de fornos destinados a produção de calor ou energia. Assim como a biomassa com alto teor de material volátil representa ótimos combustíveis para o processo de pirólise.

5.4.4 Determinação de Carbono Orgânico Total (COT)

Segundo Paz (2017), o teor de carbono identificado na análise elementar envolve teores de carbono orgânico e inorgânico. Contudo, a qualidade do carvão e seu poder calorífico está diretamente relacionada a fração orgânica do carbono. Sendo assim, a determinação do carbono orgânico total é necessária para verificar o potencial energético do carvão provenientes dos resíduos têxteis que envolve tanto material de origem celulósica como materiais sintéticos, seja na constituição de suas fibras ou durante o processo de beneficiamento (ERHARDT et al, 1975b; ARAÚJO; CASTRO, 1986).

Os resultados das análises conduzidas em triplicata foram expostos na Tabela 21 e mostraram que quanto maior o tempo e a temperatura menor o teor de COT e maior o teor de carbono inorgânico devido a degradação térmica dos compostos orgânicos presentes na biomassa. Dessa forma, os teores de carbono orgânico segundo tempo e temperatura segue as mesmas conclusões dos estudos de Miranda et al. (2007); Majanny et al. (2010); Barişçi e Öncel (2013); Rago, Surroop e Mohee (2018); Yuan (2018); Hanoğlu; Çay e Yandk (2019) e confirmam o potencial energético dos subprodutos sólidos gerados

Tabela 21- Valores de carbono orgânico no carvão do resíduo têxtil 100% viscose

Condições experimentais			Carbono Total (%)	COT (%)	Carbono Inorgânico (%)
	Temperatura (°C)	Tempo (min)			
I	700	30	83,61	52,76	30,85
II	500	60	85,64	56,26	29,38
III	700	30	83,9	54,97	28,93
IV	500	30	84,72	57,13	27,59

Fonte: Autora, 2019.

Para as amostras referentes ao produto sólido da pirólise do tecido composto por 55%CV 45%PES não foi possível determinar a porcentagem de carbono

orgânico total, devido a presença de uma banda interferente equivalente ao carbono inorgânico, o que casou alteração nos resultados obtidos e falta de reprodutibilidade.

Conforme Paradela (2012) o resultado dos subprodutos gerados no processo de pirólise depende de fatores como: composição química do material, temperatura de pirólise e velocidade de aquecimento, tempo de Pirólise, tipo de reator, pressão de operação, aditivos incorporados, fase líquida ou gasosa do material, presença de gases reativos como oxigênio (ar) e hidrogênio e uso de catalisador. Nas condições experimentais conduzidas nesta pesquisa toda a massa pirolisada foi separada em líquido, sólido e gás. A fração de cada subproduto variou conforme as características químicas e físicas do material, e conforme as condições empregadas de tempo e temperatura. Sendo assim, a Tabela 22 mostra os padrões operacionais nas condições de tempo e temperatura que poderão induzir maiores rendimentos em sólidos, líquidos ou gás para cada tipo de material têxtil estudado.

Tabela 22- Melhores condições experimentais para formação de sólido, líquido e gás

Parâmetros experimentais		Maior fração de Subprodutos		
Temperatura (°C)	Tempo (min)	Sólido	Líquido	Gasoso
500	30	100% CV	-	-
500	30	55% CV 45%PES	-	-
700	30	-	-	100% CV
700	60	-	-	55% CV 45%PES
700	60	-	100% CV	-
500	60	-	55% CV 45%PES	-

Fonte: Autora, 2019.

6 CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que o resíduo têxtil gerado pela empresa ICP continha características químicas e físicas que oneraram o processo de triagem e o desvalorizaram como material reciclável devido a sua condição fragmentada misturada a materiais de outra natureza (plástico papel, papelão), formado em sua grande maioria, por tecidos construídos por diferentes cores, tramas e combinações de fibra, sobretudo de poliéster.

Além disso, a distância entre a confecção estudada e a empresa de reciclagem mecânica demandou o armazenamento dos resíduos triados para viabilizar o sistema de logística de transporte e o espaço ocupado foi incompatível com o layout da empresa, sendo assim, a triagem de resíduo têxtil da empresa ICP para fins de reciclagem mecânica, apesar de ser ambientalmente correta, não foi sustentável.

Por outro lado, a gravimetria do resíduo triado se mostrou oportuna à reciclagem termoquímica, uma vez que 0,66% dos resíduos separados foram rejeitos, 12,36% foram de materiais recicláveis e 86,98% foram de resíduos têxteis, compostos predominantemente por fibras sintéticas, sobretudo poliéster (28,7%), seguida das fibras de viscose.

Contudo, o tipo de reator utilizado nesta pesquisa não favoreceu a pirólise dos resíduos compostos por fibras sintéticas devido a ausência dos mecanismos de controle da taxa de aquecimento e fluxo de gás, responsáveis por desacelerar as reações pirolíticas e conduzir líquido e gás aos seus respectivos coletores. A alta taxa de aquecimento registrada em aproximadamente $70^{\circ}\text{C}/\text{min}^{-1}$ acelerou as reações pirolíticas do resíduo têxtil sintético que se tornou muito espesso e obstruiu o sistema para coleta de líquido e gás e todo material pirolizado ficou retido dentro do reator, impedindo a separação dos subprodutos em sólido, líquido e gás. Por outro lado, os resíduos de fibras artificial (CV) e combinações de fibras sintética e artificial (55% CV 45% PES) apresentaram resultados promissores para tratamentos pirolíticos para fins energéticos, pois a celulose presente na fibra de viscose serviu como diluente da fração sintética a possibilitou a separação dos subprodutos gerados nas frações sólidas líquidas e gasosas.

Em ambos resíduos foi diagnosticado um alto poder calorífico, sobretudo naqueles compostos por 100% CV atribuído a: presença da lignina, baixo teor de umidade; baixo teor de cinzas ($<1,89\%$) e ao alto teor de material volátil (88%), baixa

densidade (<5%) e o alto teor de C e H encontrados nos resíduos têxteis CV (47,10%) e CV/PES (54,76%). Parte deste resultado pode ser atribuído a proporção de áreas amorfas e cristalinas detectadas nas análises de TGA, FTIR e Morfológico. As maiores áreas amorfas foram identificadas no fibroso 100%CV que influenciou nas ligações de hidrogênio e no processo de degradação térmica, apresentando três picos referentes à evaporação da umidade e degradação da hemicelulose e celulose. Já no resíduo composto (CV/PES), a análise morfológica identificou maior cristalinidade devido a presença do poliéster, por consequência, foi identificado dois picos de degradação bem definidos referentes à celulose e ao éster.

Após a conversão termoquímica a maior fração de líquido foi conferida para os resíduos 100%CV, devido a decomposição de celulose caracterizada por ter maior presença de áreas amorfas. Contudo, a cromatografia gasosa aplicada a fração líquida em ambos resíduos identificou grande potencial para o uso posterior da fração líquida na indústria de resinas e adesivos, indústria alimentícia, indústria farmacêutica e energética devido a maior incidência dos compostos furfural; ureia, N-etil-N-nitroso e os ácidos: acético, propanoico, fórmico e benzoico referente a degradação da celulose, hemicelulose, lignina e éster.

A maior fração sólida foi diagnosticada no resíduo composto por fibras de CV e PES (56%) devido ao aumento das áreas de cristalinidade provocada pela fusão entre as fibras que possuem pontos de degradação distintos. Por este motivo, o composto formado por CV/PES apresentou características favoráveis apenas para fins energéticos. Por outro lado, a alta proporção de áreas amorfas presentes nos biocarvões provindos dos resíduos 100%CV indicou sua viabilidade não só para uso como material filtrante, mas também para fins energéticos, uma vez que os testes de carbono orgânico diagnosticaram qualidades ao resíduo de CV similares ao carvão betuminoso.

Diante do exposto, o composto fibroso apresentou características físico-químicas favoráveis não só a produção de energia, mas também para uso em outros setores industriais.

7 SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Para trabalhos futuros recomenda-se pesquisar sobre os impactos ambientais, financeiros e sociais provocados pelo descarte inadequado de resíduos têxteis gerados nas indústrias de confecção do vestuário no Brasil e aprofundar o conhecimento sobre o comportamento degradativo destes resíduos quando dispostos em aterros, observando as questões de custo, tempo de degradação e contaminação do solo.

No processo de triagem, faz-se necessária ampliar a pesquisa para avaliar a viabilidade econômica.

E sobre o processo de pirólise, sugere-se ampliar os estudos cinéticos sobre o comportamento das fibras têxteis no processo de pirólise que ainda são escassos devido à complexidade do material. O maior volume de resíduo diagnosticado na pesquisa foi composto por fibras de poliéster, mas o sistema pirolítico utilizado na pesquisa foi incompatível ao resíduo. Por isso, faz-se necessário realizar novas pesquisas utilizando um reator pirolítico com dispositivos para controle de temperatura e fluxo de gás, para controlar e reduzir a taxa de aquecimento e velocidade das reações termoquímicas e possibilitar carreamento da fração líquida e gasosa até o coletor de gás e líquido com auxílio do gás de arraste.

Também é interessante pesquisar a pirólise de resíduos têxteis com combinações de composições sintéticas/natural e sintética/artificial em proporções variadas, uma vez que as fibras a base de celulose propiciaram a pirólise de resíduos com fibras sintéticas.

REFERÊNCIAS

ÁGUA, Raquel Martins de Oliveira Borda D'. **Desenvolvimento de técnicas de impregnação de nanopartículas de óxido de zinco de baixo custo com propriedades antimicrobianas em tecidos**. 2015. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Bioquímica, Faculdade de Ciências e Tecnologia- Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2015. Disponível em: <https://run.unl.pt/bitstream/10362/17169/1/Agua_2015.pdf>. Acesso em: 31 abr. 2019.

ALMEIDA, Ricardo Nuno Pinto Salazar de. **Redução de desperdícios de corte em empresas Têxtil-Lar**. 2014. 69 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2014. Disponível em: <https://sigarra.up.pt/feup/pt/pub_geral.show_file?pi_gdoc_id=389157>. Acesso em: 30 mar. 2018.

AMARAL, Mariana. Corrêa do. **Reaproveitamento e Reciclagem Têxtil no Brasil: ações e prospecto de triagem de resíduos para pequenos geradores**. 2016.123 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Têxtil e Moda, Escola de Artes Ciência e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/100/100133/tde-11112016-104321/pt-br.php>>. Acesso em: 10 abr. 2018.

ARAÚJO, Mario de. **Tecnologia do Vestuário**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1996.451 p.

ARAÚJO, Mário de; CASTRO, Ernesto Manuel de Melo e. **Manual de Engenharia Têxtil**. Coimbra: Fundação Calouste Gulbenkian, 1986. 694 p. v 1.

ARAÚJO, Mário de; CASTRO, Ernesto Manuel de Melo e. **Manual de Engenharia Têxtil**. Coimbra: Fundação Calouste Gulbenkian, 1987. 1648 p. v 2.

ARAUJO, Wanderbeg Correia de; FONTANA, Marcele Elisa. Análise do gerenciamento dos resíduos de tecidos gerados pela indústria de confecções do agreste de Pernambuco. **R. Gest. Sust. Ambient**, Florianópolis, v. 6, n. 1, p.101-124, 2017., v. 6, n. 1, p. 101 - 124, abr./set. 2017.. Disponível em: <http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/download/3626/3068>. Acesso em: 17 ago. 2018.

ARORA, Sanjay; PARGAIN, Vini. Global textile apparel industry fortunes to depend on 5 major trends. **Textile Magazine**. Chennai, p. 1-1. 3 fev. 2017. Disponível em: <<http://www.indiantextilemagazine.in/industry-news/global-textile-apparel-industry-fortunes-to-depend-on-5-major-trends/>>. Acesso em: 17 abr. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO (ABIT). **Comércio Exterior**. 2017. Disponível em: <<https://www.abit.org.br/cont/dados-comercio-exterior>>. Acesso em: 2 ago. 2018.

_____. **O poder da Moda:** cenários, desafios, perspectivas. São Paulo: ABIT, 2015. Disponível em: http://www.abit.org.br/conteudo/links/Poder_moda-cartilhabx.pdf. Acesso em: 15 julh. 2015.

_____. **Perfil do Setor.** 2018. Disponível em: <http://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>. Acesso em: 01 fev. 2018

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017.** São Paulo: Abrelpe, 2017. 74 p. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em: 17 ago. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004:** Resíduos Sólidos: Classificação. Rio de Janeiro: Abnt, 2004. 71 p.

_____. **NBR 11174:** Armazenamento de resíduos classes II - não inertes e III - inertes. Rio de Janeiro: Abnt, 1990. 7 p.

_____. **NBR 8112:** Carvão vegetal - Análise imediata - Método de ensaio. Rio de Janeiro: Abnt, 1986. 5 p.

_____. **NBR 8299:** Carvão mineral- Determinação do teor de carbono fixo. Rio de Janeiro: Abnt, 1983. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FIBRAS ARTIFICIAIS E SINTÉTICAS (ABRAFAS). **Estatísticas.** 2017. Disponível em: <http://www.abrafas.org.br/site/vitrine-noticias/index/materia/estatisticas-/c/b6e>. Acesso em: 6 ago. 2018

ASTM. Annual book of ASTM standards. Sec 05.05. **Standart test methods for moisture in the analysis sample of coal and coke.**1991. ASTM, D 3173-87, Philadelphia, PA, p.324-325

ASTM D 5373-93. Standard test methods for instrumental determination of carbon, hydrogen and nitrogen in laboratory samples of coal and coke. In: *1997 Annual Book of ASTM standards*, section 5, Petroleum Products, Lubricants and fossil fuels. Vol. 05.05. Gaseous fuels: coal and coke.1997. p. 495-462. American Society for Testing and Materials – ASTM. Philadelphia

AUDACES. **Como a metodologia Audaces 360 funciona e qual a relação dela com o fast fashion.** 2018. Disponível em: <https://www.audaces.com>. Acesso em: 20 out. 2018.

_____. **Dicas de como evitar o desperdício de tecido:** da criação ao corte das peças. Florianópolis, [2014?]. 20 p. Disponível em: <https://www.audaces.com/materiais-educativos/page/6/>. Acesso em: 22 abr. 2018.

_____. **Encaixe Automático:** o sentido correto na hora do corte. Florianópolis, [2015?a]. 23 p. Disponível em: <https://www.audaces.com/materiais-educativos/page/3/>. Acesso em: 22 abr. 2018.

_____. **Modelagem no Computador:** Ganhe rapidez, precisão e qualidade no molde: o tripé da competitividade. Florianópolis, [2015?b]. 21 p. Disponível em: <http://conteudo.audaces.com/modelagem-no-computador-div?utm_source=portal&utm_medium=banner&utm_campaign=banner_ebook>. Acesso em: 22 abr. 2018.

_____. **Audaces idea 4d:** Garment design tool. Produção Audaces. Florianópolis: Audaces, [d.a 2017]. P&B. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=UnW3EZQjppg>>. Acesso em: 06 jun. 2018

AVAGYAN, Rozanna et al. Benzothiazole, benzotriazole, and their derivatives in clothing textiles—a potential source of environmental pollutants and human exposure. **Environmental Science And Pollution Research**, [s.l.], v. 22, n. 8, p.5842-5849, 25 out. 2014. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-014-3691-0>.

AVELAR, Karen Pereira Batista de. **Estudo da influência da temperatura na degradação termoquímica da biomassa de avelós (euphorbia tirucalli linn)**. 2013. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/15844/1/KarenPBA DISSERT.pdf>>. Acesso em: 31 jul. 2018.

BACKWELL, Lucinda; D'ERRICO, Francesco; WADLEY, Lyn. Middle Stone Age bone tools from the Howiesons Poort layers, Sibudu Cave, South Africa. **Journal Of Archaeological Science**, [s.l.], v. 35, n. 6, p.1566-1580, jun. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2007.11.006>

BAILIE, R.C. et al. Solid Waste. In: LIU, David H.f.; LIPTÁK, Béla G. (Ed.). **Environmental Engineers' Handbook**. 2. ed. Flórida: Crc Press, 1997. Cap. 10. p. 1141-1248. Disponível em: <http://175.138.31.43/sistem/elibrary/attachments/193_Cptr-10SolidWaste.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2018.

BALCIK-CANBOLAT, Cigdem et al. Pyrolysis of commingled waste textile fibers in a batch reactor: Analysis of the pyrolysis gases and solid product. **International Journal Of Green Energy**, [s.l.], v. 14, n. 3, p.289-294, 14 nov. 2016. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/15435075.2016.1255634>.

BARIŞÇI, Sibel; ÖNCEL, M. Salim. The Disposal of Combed Cotton Wastes by Pyrolysis. **International Journal Of Green Energy**, [s.l.], v. 11, n. 3, p.255-266, 3 jun. 2013. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/15435075.2013.772516>.

BAUMAN, Zygmunt. **Vida para o consumo:** A transformação das pessoas em mercadorias. Rio de Janeiro: Zahar, 2008. 199 p.

BERLIM, Lilian. **Moda e sustentabilidade:** Uma reflexão necessária. São Paulo: Estação das Letras e Cores, 2012.159 p. 2018.

BLANCK, Maggie Land. **1880 Batley Reporter Article About Benjamin Law: The discovery and early history of the shoddy and mungo trades.** 2012. Edwin Law article BR 13/11/1880 transcribed by Wendy Rose in 2006. Disponível em: <<http://www.maggielblank.com/Land/WR.html>>. Acesso em: 2 jun. 2018

BIERMANN, Maria Julieta Espindola. **Gestão do processo produtivo.** Porto Alegre: SEBRAE/RS, 2007.

BOMBARDI, Larissa Mies. **Geografia do Uso de Agrotóxicos no Brasil e Conexões com a União Europeia.** São Paulo: Fflch-usp, 2017. 296 p. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1ci7nzJPM_J6XYNkdv_rt-nbFmOETH80G/view>. Acesso em: 14 ago. 2018.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da república federativa do Brasil.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 23 jun. 2018.

_____. Decreto nº 7404, de 23 de dezembro de 2010a. Regulamenta a Lei no 12305, de 2 de agosto de 2010a. Brasília, DF: **Diário Oficial da União**, 23 dez. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm>. Acesso em: 20 ago. 2018.

BRASIL. **Lei nº 123, de 14 de dezembro de 2006.** Brasília, 2006. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/LCP/Lcp123.htm>. Acesso em: 20 ago. 2018.

BRASIL. Lei nº 6938, de 31 de agosto de 1981. **Dispõe Sobre A Política Nacional do Meio Ambiente, Seus Fins e Mecanismos de Formulação e Aplicação, e Dá Outras Providências.** Brasília, 2 set. 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm>. Acesso em: 23 jun. 2018.

_____. Lei nº 9605, de 12 de fevereiro de 1998. **Dispõe Sobre As Sanções Penais e Administrativas Derivadas de Condutas e Atividades Lesivas Ao Meio Ambiente, e Dá Outras Providências.** Brasília, Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9605.htm>. Acesso em: 23 jun. 2018.

BRASIL. **Lei nº 10.165, de 27 de dezembro de 2000.** Altera a Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 28 dez. 2000. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/CCivil_03/leis/L10165.htm>. Acesso em: 20 ago. 2018.

BRASIL. Lei nº 11638, de 28 de dezembro de 2007. Altera e revoga dispositivos da Lei no 6.404, de 15 de dezembro de 1976, e da Lei no 6.385, de 7 de dezembro de 1976, e estende às sociedades de grande porte disposições relativas à elaboração e divulgação de demonstrações financeiras. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 28 dez. 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11638.htm>. Acesso em: 20 ago. 2018.

_____. Lei nº 12305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 03 ago. 2010b. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm>. Acesso em: 20 ago. 2018.

_____. Lei nº 9605, de 12 de fevereiro de 1998. **Dispõe Sobre As Sanções Penais e Administrativas Derivadas de Condutas e Atividades Lesivas Ao Meio Ambiente, e Dá Outras Providências.** Brasília, Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9605.htm>. Acesso em: 23 jun. 2018.

_____. **MERCOSUL.** Resolução nº59, de 08 de dezembro de 1998. Políticas de Apoio às Micro, Pequenas e Médias Empresas do Mercosul – Etapa II. Rio de Janeiro: Mercosul, 1998. Disponível em:<http://www.mercosur.int/innovaportal/v/3090/3/innova.front/resoluc%C3%B5es_199>. Acesso em: 22 de fev. de 2012.

_____. **MERCOSUL.** Resolução nº90, de 14 de janeiro de 1994. Políticas de Apoio às Micro, Pequenas e Médias Empresas do Mercosul. Montevideu: Mercosul,1994. Disponível em:<http://www.mercosur.int/innovaportal/v/3100/3/innova.front/resoluc%C3%B5es_199>. Acesso em: 22 de fev.de 2014

_____. Portaria Interministerial nº 274, de 30 de abril de 2019. **Disciplina A Recuperação Energética dos Resíduos Sólidos Urbanos Referida no § 1º do Art. 9º da Lei Nº 12.305, de 2010 e no Art. 37 do Decreto Nº 7.404, de 2010.** Brasília, 02 maio 2019. Disponível em: <<http://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-interministerial-n%C2%BA-274-de-30-de-abril-de-2019-86235505>>. Acesso em: 26 set. 2019

_____. **Tratamento Diferenciado às Micro e Pequenas Empresas:** Legislação para Estados e Municípios. In: Secretaria da Micro e Pequena Empresa. Brasília, 2014. Disponível em: <http://smpe.gov.br/assuntos/cartilha_tratamentodiferenciado_mpe.pdf>. Acesso em: 06 abr. 2015.

BRITISH BROADCASTING CORPORATION (BBC) BRASIL (Ed.). Desabamento em Bangladesh revela lado obscuro da indústria de roupas. **BBC.** São Paulo, p. 0-0. 28 abr. 2013. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2013/04/130428_bangladesh_tragedia_la_do_obscuro>. Acesso em: 17 jun. 2018.

BRUNO, Flavio da Silveira. **A quarta revolução industrial do setor têxtil e de confecção:** a visão de futuro para 2030. São Paulo: Estação das Letras e Cores, 2016. 177 p. Disponível em: <http://www.abit.org.br/uploads/arquivos/A_quarta_revolucao_industrial_do_setor_tetil_e_de_confeccao.pdf>. Acesso em: 2 jul. 2018.

CANEDA, Chaiane Messa. **Secagem de materiais têxteis.** 2016. 115 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos,

São Carlos, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/7872>>. Acesso em: 14 jun. 2018.

CARRILLO, F et al. Structural FTIR analysis and thermal characterisation of lyocell and viscose-type fibres. **European Polymer Journal**, [s.l.], v. 40, n. 9, p.2229-2234, set. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2004.05.003>.

CARVALHO, Adriana Teresa de. **A utilização dos resíduos sólidos do setor de manufatura do vestuário de moda na reciclagem em anel fechado e em anel aberto**. 2016. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Têxtil e Moda, Escola de Artes, Ciência e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/100/100133/tde-18052016-164005/pt-br.php>>. Acesso em: 9 out. 2018.

CHEN, Dezhen et al. Reprint of: Pyrolysis technologies for municipal solid waste. **Waste Management**, [s.l.], v. 37, p.116-136, mar. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.01.022>.

CHEN, J.Y.. Introduction. **Activated Carbon Fiber And Textiles**, [s.l.], p.3-20, 2017. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-08-100660-3.00001-8>.

CHOKALINGAM, Parvathi; MARUTHAVANAN, Thiyagarajan; PRAKASH, C. Environmental impacts of textile industries. **The Indian Textile Journal**, Chennai, v. 117, n. 0, p.22-26, 1 jan. 2009. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/284578601_Environmental_impacts_of_textile_industries>. Acesso em: 17 abr. 2018.

COMNEA-STANCU, Ionela Raluca et al. On the Identification of Rayon/Viscose as a Major Fraction of Microplastics in the Marine Environment: Discrimination between Natural and Manmade Cellulosic Fibers Using Fourier Transform Infrared Spectroscopy. **Applied Spectroscopy**, [s.l.], v. 71, n. 5, p.939-950, 20 set. 2016. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0003702816660725>.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Perspectivas para a agropecuária**. Brasília: Conab, 2017. 111 p. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/perspectivas-para-a-agropecuaria/item/download/2531>>. Acesso em: 2 maio 2018.

CONSELHO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (CONMETRO). Resolução nº 02, de 6 de maio de 2008. **Dispõe sobre a aprovação do regulamento técnico mercosul sobre etiquetagem de produtos têxteis**. Brasília, 6 maio 2008. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/resc/pdf/RESC000213.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2018.

CONESA, J.a. et al. Comparison between emissions from the pyrolysis and combustion of different wastes. **Journal Of Analytical And Applied Pyrolysis**, [s.l.], v. 84, n. 1, p.95-102, jan. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaap.2008.11.022>.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI); ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO (ABIT). **O setor têxtil e de confecção e os desafios da sustentabilidade**. Brasília: CNI, 2017. 102p. Disponível em:

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 1, de 17 de fevereiro de 1986. Brasília, Disponível em:
<<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8902>>. Acesso em: 23 jun. 2018.

_____. Resolução nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Dispõe sobre A Revisão e Complementação dos Procedimentos e Critérios Utilizados Para O Licenciamento Ambiental. Brasília, DF: MMA, 22 dez. 1997. Disponível em:
<<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>>. Acesso em: 20 ago. 2018.

CORSO, Priscila Zimmer; CASAGRANDE, Heide Gomes; SANTOS, Heloisa Helena de Oliveira. O uso da tecnologia CAD 3D na indústria de confecção. **Achiote**, Belo Horizonte, v. 4, n. 2, p.1-2, dez. 2016. Disponível em:
<<http://www.fumec.br/revistas/achiote/article/view/4799>>. Acesso em: 17 abr. 2018.

CZAJCZYŃSKA, D. et al. Potential of pyrolysis processes in the waste management sector. **Thermal Science And Engineering Progress**, [s.l.], v. 3, p.171-197, set. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tsep.2017.06.003>.

DIAS, Silvio Luis Pereira et al. Química analítica: teoria e prática essenciais. Porto Alegre: Bookman, 2016. 382 p.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (EMF). **A new textiles economy: Redesigning fashion's future**. Isle Of Wight: Emma Parkin, 2017. 150 p. Disponível em: <<http://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>>. Acesso em: 03 mar. 2018.

Environmental Justice Foundation (EJF). **The Deadly Chemicals in Cotton**. Londres: EJF, 2007. 41 p. Disponível em:
<https://ejfoundation.org/resources/downloads/the_deadly_chemicals_in_cotton.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2018.

ERHARDT, Theodor. **Curso têxtil: Física e química aplicada, fibras têxteis, tecnologia**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária (EPU), 1975a. 70 p. v.1.

ERHARDT, Theodor. **Curso têxtil: Física e química aplicada, fibras têxteis, tecnologia**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária (EPU), 1975b. 87 p. v.2.

ERHARDT, Theodor. **Curso têxtil: Física e química aplicada, fibras têxteis, tecnologia**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária (EPU), 1975a. 55 p. v.3.

European Chemicals Agency (ECHA). **Regulations: REACH**. 2018. Disponível em: <<https://echa.europa.eu/reach-2018>>. Acesso em: 20 jul. 2018

FERREIRA, Micaela La Delfa et al. Redução de resíduos têxteis por meio de projeto de produto de moda. **Design e Tecnologia**, [S.l.], v. 5, n. 10, p. 38-44, dez. 2015. ISSN 2178-1974. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/det/index.php/det/article/view/283>>. Acesso em: 16 out. 2018. doi: <http://dx.doi.org/10.23972/det2015iss10pp38-44>.

FIGUEIREDO, Aneliése Lunguinho. **Pirólise termoquímica de pós da fibra de coco seco em um reator de cilindro rotativo para produção de bio-óleo**. 2011. 127 f. Dissertação (Mestrado em Pesquisa e Desenvolvimento em Ciência e Engenharia de Petróleo) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/12952>>. Acesso em :09 set. 2018.

FISCHER, Anette. **Fundamentos do design de moda**: construção do vestuário. Porto Alegre: Bookman, 2010.192 p.

FLETCHER, Kate; GROSE, Lynda.(Org.) **Gestionar la sostenibilidad en la moda**: Desenñar para combiar materiales, procesos distribución, consumo. Barcelona: Blume, 2012.p.192

FOELKEL, Celso. As Biorrefinarias Integradas no Setor Brasileiro de Fabricação de Celulose e Papel de Eucalipto. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE PAPEL E CELULOSE. **Eucalyptus online Book & Newsletter**. S/l: Abtpc, 2012. p. 240. Disponível em: <http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT29_BiorrefinariasCelulosePapel.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2019.

FRINGS, Gini Stephens. **Moda**: do conceito ao consumidor. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. 472 p.

FULCO, Paulo de Tarso; MENDES, Antonia Neusa. **Costurar e Empreender**: o universo da confecção. São Paulo: Senac São Paulo, 2018 p.189.

GWILT, Alison. **Moda Sustentável**: um guia prático. São Paulo: Gustavo Gili, 2014.113 p.

GLOBAL FASHION AGENDA AND THE BOSTON CONSULTING GROUP (Ed.). **Pulse of the Fashion Industry**. Copenhagen: Global Fashion Agenda And The Boston Consulting Group, Inc, 2017. 74 p. Disponível em: <<http://www.globalfashionagenda.com/publications/>>. Acesso em: 25 abr. 2018.

GODLEY, Andrew. The Development of the Clothing Industry: Technology and Fashion. *Textile History*, [s.l.], v. 28, n. 1, p.3-10, jan. 1997. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1179/004049697793711067>

GOLTZ, Douglas M. et al. Solid Phase Micro-extraction – Gas Chromatography–Mass Spectrometry to Characterize Pyrolysis Products from Textiles. **Analytical Letters**, [s.l.], v. 50, n. 14, p.2217-2233, 26 jun. 2017. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00032719.2016.1275663>.

GOULARTI FILHO, Alcides; JENOVEVA, Neto. **A indústria do vestuário: economia, estática e tecnologia**. Florianópolis: Letras Contemporâneas, 1997. 197p.

GOVERNO FEDERAL. **Portal do Microempreendedor individual**. 2018. Disponível em: <<http://www.portaldoempreendedor.gov.br/menu-rodape/sobre-o-portal-1>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

HANOĞLU, Alper; ÇAY, Ahmet; YANĐK, Jale. Production of biochars from textile fibres through torrefaction and their characterisation. **Energy**, [s.l.], v. 166, p.664-673, jan. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2018.10.123>.

HOBBSAWM, Eeric. **A Era das Revoluções: 1780-1848**. 34. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades**. 2018. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 6 abr. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Relatórios de comercialização de agrotóxicos**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2018. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

INSTITUTO DE ESTUDOS E MARKETING INDUSTRIAL (IEMI) (São Paulo). **A geração de empregos na indústria têxtil e confeccionista volta a crescer, mesmo com o fechamento de empresas**. 2018. Disponível em: <<http://www.iemi.com.br/a-geracao-de-empregos-na-industria-textil-e-confeccionista-volta-a-crescer-mesmo-com-o-fechamento-de-empresas/>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

INSTITUTO DE ESTUDOS E MARKETING INDUSTRIAL (São Paulo). **Press Release: produção nacional de vestuário deve avançar 3,2% neste ano**. 2016. Disponível em: <<http://www.iemi.com.br/press-release-producao-nacional-de-vestuario-deve-avancar-32-neste-ano/>>. Acesso em: 20 ago. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA (INCA). **Posicionamento do instituto nacional de câncer josé alencar gomes da silva acerca dos agrotóxicos**. 2018. Disponível em: <http://www1.inca.gov.br/inca/Arquivos/comunicacao/posicionamento_do_inca_sobre_os_agrotoxicos_06_abr_15.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2015.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). Apenas 13% dos resíduos sólidos urbanos no país vão para reciclagem. **Ipea**. Brasília, 25 jan. 2017. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=29296>. Acesso em: 23 ago. 2018.

JEIHANIPOUR, Azam et al. A novel process for ethanol or biogas production from cellulose in blended-fibers waste textiles. **Waste Management**, [s.l.], v. 30, n. 12,

p.2504-2509, dez. 2010. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2010.06.026>.

JUCÁ, José Fernando et al.. **Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão**. Jabotão dos Guararapes: Grupo de Resíduos Sólidos-ufpe, 2014. 189 p. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/268811770>>. Acesso em: 19 ago. 2018.

Junta Comercial do Estado de Minas Gerais (JUCEMG). Dados fornecidos in loco na unidade de Passos, MG. (2017)

KANG, Chulhee et al. Furfural reduction mechanism of a zinc-dependent alcohol dehydrogenase from *Cupriavidus necator* JMP134. **Molecular Microbiology**, [s.l.], v. 83, n. 1, p.85-95, 20 nov. 2011. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2958.2011.07914.x>.

KANT, Rita. Textile dyeing industry an environmental hazard. **Natural Science**, [s.l.], v. 04, n. 01, p.22-26, 2012. Scientific Research Publishing, Inc.,. <http://dx.doi.org/10.4236/ns.2012.41004>.

LEE, Matilda. **Eco chic: o guia da moda ética para a consumidora consciente**. São Paulo: Larousse do Brasil, 2009. 224 p. Tradução: Sheila Mazzolenis e Mário Ribeiro

LENGOWSKI, Elaine Cristina. **Caracterização e predição da cristalinidade de celulose através de espectroscopia no infravermelho e análise multivariada**. 2012. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal. Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/34600>>. Acesso em: 6 jun. 2018.

LENZING GROUP. **Lenzing Group Sustainability Report 2017: Non-Financial Statement**. Austria: Lenzing Group, 2017. 126 p. Disponível em: <https://www.lenzing.com/index.php?type=88245&tx_filedownloads_file%5bfileName%5d=fileadmin/content/PDF/04_Nachhaltigkeit/Nachhaltigkeitsberichte/EN/NHB_2017_EN.pdf>. Acesso em: 6 out. 2018.

LI, Lili; FREY, Margaret; BROWNING, Kristie J. Biodegradability Study on Cotton and Polyester Fabrics. **Journal Of Engineered Fibers And Fabrics**, [s.l.], v. 5, n. 4, p.42-53, dez. 2010. SAGE Publications.
<http://dx.doi.org/10.1177/155892501000500406>.

LIN, Yu-chuan et al. Kinetics and Mechanism of Cellulose Pyrolysis. **The Journal Of Physical Chemistry C**, [s.l.], v. 113, n. 46, p.20097-20107, 22 out. 2009. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/jp906702p>.

LIPOVETSKY, G. **O império do efêmero: A moda e seu destino nas sociedades modernas**. São Paulo: Companhia Das Letras, 2009. 347 p.

LOBO, Renato Nogueirol; LIMEIRA, Erika Thalita Navas Pires; MARQUES, Rosiane do Nascimento. **Fundamentos da tecnologia têxtil: da concepção da fibra ao processo de estamparia.** São Paulo: Érika, 2014a.120 p.

LOBO, Renato Nogueirol; LIMEIRA, Erika Thalita Navas Pires; MARQUES, Rosiane do Nascimento. **Planejamento de risco e Corte:** Identificação de materiais, métodos e processos para a construção de vestuário. São Paulo: Érika, 2014b. 128 p.

LOBO, Renato Nogueirol; LIMEIRA, Erika Thalita Navas Pires; MARQUES, Rosiane do Nascimento. **Técnicas de Montagem:** métodos e processos para a construção de vestuário. São Paulo: Érika, 2014c.152 p.

LOPES, Guilherme. Bretz. **Práticas do gerenciamento de resíduos nas indústrias de confecções da região da Rua Teresa:** Petrópolis. 2013. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://dissertacoes.poli.ufrj.br/dissertacoes/dissertpoli750.pdf>>. Acesso em: 03 mai. 2018.

LV, Gaojin; WU, Shubin. Analytical pyrolysis studies of corn stalk and its three main components by TG-MS and Py-GC/MS. **Journal Of Analytical And Applied Pyrolysis**, [s.l.], v. 97, p.11-18, set. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaap.2012.04.010>.

MACKENZIE, Mairi. **Ismo: para a moda.** São Paulo: Globo, 2010. 159 p.

MAJANNY, Abdulkader et al. Characterization and thermal behaviour of textile waste from the industrial city of Aleppo in Syria. **Waste Management & Research**, [s.l.], v. 29, n. 3, p.277-283, 7 abr. 2010. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0734242x10365736>.

MARIANO, Maria Luiza Veloso. **Da construção à desconstrução:** a modelagem como recurso criativo no design de moda. 2011. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Design, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2011. Disponível em: <<https://ppgdesign.anhembi.br/wp-content/uploads/dissertacoes/61.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2018.

MARTINI, Paulo Roberto Rodrigues. **Conversão pirolítica de bagaço residual da indústria de suco de laranja e caracterização química dos produtos.** 2009. 136 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009. Disponível em: < <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/10457>>. Acesso em: 09 set. 2018.

MATTHEWS, Merrit J. *The Textile Fibres: Their Physical, Microscopical and Chemical Properties.* 4. ed. New York: John Wiley & Sons, inc., 1924. 1053 p

MEADOWS, Toby. *Como montar e gerenciar uma marca de moda.* 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 200 p.

MENDES, Paulo de Tarso Fulco e Antônia Neusa. **Costurar e empreender: o universo da confecção**. São Paulo: Senac SP, 2018. 192 p.

MCDONOUGH, William; BRAUNGART, Michael. **Cradle to Cradle: criar e reciclar ilimitadamente**. São Paulo: G Gili, 2013. 192 p.

MILAN, Gabriel Sperandio; VITTORAZZI, Camila; REIS, Zaida Cristiane dos. A redução de resíduos têxteis e de impactos ambientais: um estudo desenvolvido em uma indústria de confecções do vestuário. In: SEMEAD, 13, 2010, São Paulo. **Anais...** . São Paulo: Fea-usp, 2010. v. 1, p. 1 - 17. Disponível em: <<http://www.ead.fea.usp.br/Semead/13semead/resultado/trabalhosPDF/282.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇO (MDIC) (Ed.). **COMPETITIVIDADE INDUSTRIAL: integração produtiva e competitividade internacional**. 2017. Conceituação. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/competitividade-industrial/acoes-e-programas-11/conceituacao>>. Acesso em: 20 abr. 2018.

_____. **Arranjo Produtivo Local**. 2018. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/index.php/competitividade-industrial/arranjos-produtivos-locais>>. Acesso em: 6 ago. 2018.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Guia para elaboração dos Planos de Gestão de Resíduos Sólidos**. Brasília, 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_arquivos/guia_elaborao_plano_de_gesto_de_resduos_rev_29nov11_125.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2018.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO (TEM). **CAGED: perfil do município**. 2018. Disponível em: <http://bi.mte.gov.br/bgcaged/caged_perfil_municipio/index.php>. Acesso em: 6 abr. 2019.

MIRANDA, R. et al. Pyrolysis of textile wastes. **Journal Of Analytical And Applied Pyrolysis**, [s.l.], v. 80, n. 2, p.489-495, out. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaap.2007.03.008>.

MONTEIRO, José Henrique Penido et al (Org.). **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: Ibam, 2001. 200 p. Disponível em: <<http://www.resol.com.br/cartilha4/manual.pdf>>. Acesso em: 19 jul. 2018.

MONTELEONE, Joana. A história das máquinas de costura. In: um anúncio brasileiro vende uma máquina de costura americana, 4., 2012, São Paulo. **Conferência**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2012. Disponível em: <http://cihe.ffiich.usp.br/sites/cihe.ffiich.usp.br/files/Joana%20Monteleone_0.pdf>. Acesso em: 06 mar. 2018.

MORAIS, João Paulo Saraiva; ROSA, Morsyleide de Freitas; MARCONCINI, José Manoel. **Procedimentos para análise lignocelulósica**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2010. Disponível em:

<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/42211/1/DOC11003.pdf>>. Acesso em: 31 abr. 2018.

NAHIL, Mohamad Anas; WILLIAMS, Paul T. Activated carbons from acrylic textile waste. **Journal Of Analytical And Applied Pyrolysis**, [s.l.], v. 89, n. 1, p.51-59, set. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaap.2010.05.005>.

NAHIL, Mohamad Anas; WILLIAMS, Paul T. Pore characteristics of activated carbons from the phosphoric acid chemical activation of cotton stalks. **Biomass And Bioenergy**, [s.l.], v. 37, p.142-149, fev. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.12.019>.

NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira do et al. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014. 256 p. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/10267/1/2014_liv_rfdnascimento.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2018.

NICOLINI, Keller Paulo (Org.). **Pirólise de biomassa em baixas temperaturas**. Campinas: Átomo, 2013.

NIMKAR, Ullhas. Sustainable chemistry: A solution to the textile industry in a developing world. **Current Opinion In Green And Sustainable Chemistry**, [s.l.], v. 9, p.13-17, fev. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cogsc.2017.11.002>.

NOGUEIRA, Maria de Lourdes Couto. **Formação profissional e emprego: o caso das egressas do curso técnico em vestuário do CEFET-MG, campus divinópolis**. 2010. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Sociais, Pontifícia Universidade Católica, São Paulo, 2010. Disponível em: <<https://tede2.pucsp.br/handle/handle/3258>>. Acesso em: 9 jun. 2018.

_____. **Sustentabilidade e a questão urbana ambiental: o setor confeccionista de divinópolis**. 2016. 321 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Sociais, Pontifícia Universidade Católica, São Paulo, 2016. Disponível em: <<https://tede2.pucsp.br/handle/handle/19019>>. Acesso em: 9 jun. 2018

PASSOS. **PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO - PMSB**. Passos: Diefra Engenharia e Consultoria Ltda., 2014. Disponível em: <<http://www.passos.mg.gov.br>>. Acesso em: 25 jul. 2018.

PARADELA, Filipe Manuel Ramos. **Estudo da pirólise de misturas de resíduos de plásticos, pneus e biomassa**. 2012. 290 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química e Bioquímica, Faculdade de Ciências e Tecnologia e A Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012. Disponível em: <<https://run.unl.pt/handle/10362/9060>>. Acesso em: 31 ago. 2018.

PAVIA, Donald L. et al. **Introdução à espectroscopia**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2015.

PAZ, Elaine da Cunha Silva. **Padronização das condições de degradação termogravimétrica da fibra de coco em reator de leito fixo na produção de**

carvão. 2017. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia Ambiental. Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2017. Disponível em: <<https://www.unaerp.br/documentos/2702-elaine-paz-2017-unaerp/file>>. Acesso em: 9 jun. 2018.

PEREIRA, Maria Concebida. **O LIXO DO LUXO**: um modelo para o tratamento dos resíduos têxteis de polos de indústrias de confecções. Curitiba: Crv, 2017. 172 p.

PEREZ, Iana Uliana; MARTINS, Suzana Barreto. Prevenção do desperdício no setor de vestuário e moda: inovação no processo de design. **Modapalavra E-periódico**, Florianópolis, ano 6, n. 11, p.36-59, jun. 2013. Semestral. Disponível em: <<http://revistas.udesc.br/index.php/modapalavra/article/view/3478>>. Acesso em: 7 ago. 2018.

PEZZOLO, Dinah Bueno. **Tecidos**: história, tramas, tipos e usos. São Paulo: SENAC, 2007.

PIPATTI et al. Waste Generation, Composition and Management Data. In: The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). **Guidelines For National Greenhouse Gas Inventories**. 5. v. Geneva: Ipcc, 2006. Cap. 2. Disponível em: <<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html>>. Acesso em: 23 jun. 2018.

PLENS, Ana Carolina de Oliveira. **Produção limpa**: síntese de fibras de viscose ativadas para remoção de fármacos presentes em água. 2018. 121 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara D'oeste, 2018. Disponível em: <https://www.unimep.br/phpg/bibdig/pdfs/docs/11102018_193812_anacarolinadeoliveiraplens_ok.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2019.

PODDAR, Sourav et al. Analysis of Tar by Catalytic Pyrolysis of Waste Jute. **Journal Of Advances In Mechanical Engineering And Science**, [s.l.], v. 1, n. 1, p.12-19, 8 ago. 2015. DJ Publications. <http://dx.doi.org/10.18831/james.in/2015011002>.

QUANTIS. **MEASURING FASHION 2018**: Environmental Impact of the Global Apparel and Footwear Industries Study Full report and methodological considerations. Lausanne: Quantis, 2018. 65 p. Disponível em: <https://quantis-intl.com/wp-content/uploads/2018/03/measuringfashion_globalimpactstudy_full-report_quantis_cwf_2018a.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2018

RAGO, Yogeshwari Pooja; SURROOP, Dinesh; MOHEE, Romeela. Torrefaction of textile waste for production of energy-dense biochar using mass loss as a synthetic indicator. **Journal Of Environmental Chemical Engineering**, [s.l.], v. 6, n. 1, p.811-822, fev. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2017.12.055>.

RECH, Sandra Regina. **Cadeia Produtiva da Moda**: um modelo conceitual de análise da competitividade no elo confecção. 2006. 301 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. Disponível em:

<<http://periodicos.anhembi.br/arquivos/trabalhos/389775.pdf>>. Acesso em: 05 abr. 2018.

REDMOND, Janice; WALKER, Elizabeth; WANG, Calvin. Issues for small businesses with waste management. **Journal Of Environmental Management**, [s.l.], v. 88, n. 2, p.275-285, jul. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.02.006>

RIBEIRO, Luiz Gonzaga. **Introdução a Tecnologia Têxtil**. Rio de Janeiro: Cetiqt/senai, 1984. 226 p.

ROJO, Ester et al. Alkali treatment of viscose cellulosic fibers from eucalyptus wood: Structural, morphological, and thermal analysis. **Journal Of Applied Polymer Science**, [s.l.], v. 130, n. 3, p.2198-2204, 17 maio 2013. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/app.3939>

RYU, Changkook et al. Combustion of textile residues in a packed bed. **Experimental Thermal And Fluid Science**, [s.l.], v. 31, n. 8, p.887-895, ago. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2006.09.004>.

SALCEDO, Elena, **Moda ética para um futuro sustentável**. Barcelona: Gustavo Gili, 2014. 127 p.

SÁNCHEZ, M.e. et al. Effect of pyrolysis temperature on the composition of the oils obtained from sewage sludge. **Biomass And Bioenergy**, [s.l.], v. 33, n. 6-7, p.933-940, jun. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2009.02.002>.

SANDIN, Gustav; PETERS, Greg M.. Environmental impact of textile reuse and recycling – A review. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 184, p.353-365, maio 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.266>.

SANTOS, Georgia M. de Castro. **A Roupas, a Moda e a Mulher na Europa Ocidental Medieval: Reflexo da opressão sofrida pela mulher na Idade Média (século: XI-XV)**. 2006. 159 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arte Contemporânea, Universidade de Brasília, Brasília, 2006. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/6433>>. Acesso em: 05 mar. 2018.

SANTOS, Jessyca Ingles Nepomuceno dos. **Avaliação da operação das unidades de triagem e compostagem instaladas no estado de Minas Gerais**. 2017. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia, Universidade de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/BUOS-AVKKR6>>. Acesso em: 31 ago. 2018

SCHWANNINGER, M. et al. Effects of short-time vibratory ball milling on the shape of FT-IR spectra of wood and cellulose. **Vibrational Spectroscopy**, [s.l.], v. 36, n. 1, p.23-40, out. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.vibspec.2004.02.003>.

SCHOTT, Gabriela Leite Marcondes. **A prática de descarte dos resíduos têxteis nas indústrias de confecção do vestuário, à luz do paradigma da política nacional de resíduos sólidos**. 2015. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Gestão Social, Educação e Desenvolvimento Local. Centro Universitário Una, Belo Horizonte, 2015. Disponível em: <<http://www.mestradoemgsedl.com.br/wp-content/uploads/2016/05/Gabriela-Leite-Marcondes-Schott.pdf>>. Acesso em: 5 out. 2018.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL (SENAI). **Manual Técnico Têxtil e Vestuário: fios têxteis**. São Paulo: SENAI, 2015a. 24 p. Disponível em: <https://issuu.com/senaitextilvestuario/docs/manual2_fios>. Acesso em: 19 abr. 2018.

_____. **Tecelagem**. São Paulo: SENAI, 2015b. 188 p.

_____. **Tecnologia dos processos têxteis**. São Paulo: SENAI-SP, 2015c. 116p

SILVA, Taís L. et al. Mesoporous activated carbon fibers synthesized from denim fabric waste: Efficient adsorbents for removal of textile dye from aqueous solutions. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 171, p.482-490, jan. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.034>.

SILVA, R C Lima da et al. Surface Modification of Polyester Fabric by Non-Thermal Plasma Treatment. **Journal Of Physics: Conference Series**, [s.l.], v. 406, p.012017-0, 17 dez. 2012. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/406/1/012017>

SILVA, Selma Maria da. **Trabalho, gênero e identidade no setor de confecção no município de Goiânia-GO: o Polo da região da Rua 44**. 2017. 265 f. Tese (Doutorado) - Curso de Sociologia, Ciências Sociais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/8244/5/Tese%20-%20Selma%20Maria%20da%20Silva%20-%202017.pdf>>. Acesso em: 6 ago. 2018.

SILLANPÄÄ, Markus; SAINIO, Pirjo. Release of polyester and cotton fibers from textiles in machine washings. **Environmental Science And Pollution Research**, [s.l.], v. 24, n. 23, p.19313-19321, 1 jul. 2017. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-017-9621-1>.

SILVERSTEIN, Robert Milton; WEBSTER, Francis X.; KIEMLE, David J.. **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010. Tradução: Ricardo Bicca de Alencastro.

SINDICATO DAS INDÚSTRIAS DE FIAÇÃO E TECELAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. Brasil terá primeira Norma que limita uso de químicos danosos ao ser humano. **Sinditêxtilsp**. São Paulo. 20 jan. 2015. Disponível em: <<http://www.sinditextilsp.org.br/noticias/brasil-tera-primeira-norma-que-limita-uso-de-quimicos-danosos-ao-ser-humano>>. Acesso em: 7 ago. 2018.

_____. Retalho Fashion. **Sinditêxtil: em notícia**. São Paulo, p. 6-9. jul. 2012. Disponível em: <https://www.sinditextilsp.org.br/jornal/sindi_25.pdf>. Acesso em: 2

ago. 2018.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS PARA DEFESA VEGETAL (SINDIVEG). **O que você precisa saber sobre defensivos agrícolas.** São Paulo: Sindiveg, 2018. 27 p. Disponível em: <<http://sindiveg.org.br/wp-content/uploads/2018/08/oquevoceprecisasabersobredefensivosagricolas.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2018.

SOLINGER, Jacob. History. In: BRITANNICA, Encyclopædia. **Clothing and footwear industry.** Londres: Encyclopedia Britannica, Inc., 2017. p. 0-0. Disponível em: <<https://www.britannica.com/topic/clothing-and-footwear-industry>>. Acesso em: 05 fev. 2018.

SOUSA, Célia Maria Torres de. **Valorização energética dos resíduos industriais têxteis e poliméricos.** 2009. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, 2009. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1822/10500>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

SOUZA, Adriano Stanley Rocha. O meio ambiente como direito difuso e a sua proteção como exercício de cidadania. **Revista da Faculdade Mineira de Direito,** Belo Horizonte, v. 13, n. 25, p.22-38, jan. /jun. 2010. Disponível em: <http://www.publicadireito.com.br/conpedi/manaus/arquivos/anais/bh/adriano_stanley_rocha_souza2.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2018.

SOUZA, Edmar Eustáquio de. **Síntese e Caracterização de membranas de celulose regenerada a partir da celulose extraída do bagaço de cana de açúcar para produção de cuprofan.** 2009. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/17412>>. Acesso em: 31 abr. 2019.

SPINACÉ, Márcia Aparecida da Silva; PAOLI, Marco Aurélio de. A tecnologia da reciclagem de polímeros. **Química Nova,** [s.l.], v. 28, n. 1, p.65-72, fev. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100->

STICHTING ZDHC FOUNDATION. **Manufacturing Restricted Substances List Version 1.1:** Zero Discharge of Hazardous Chemicals Programme. Amsterdam: Zdhc, 2015. 21 p. Disponível em: <https://www.roadmaptozero.com/fileadmin/pdf/MRSL_v1_1.pdf>. Acesso em: 31 jul. 2018.

Swedish Chemicals Agency (KEMI). **Chemicals in textiles:** Risks to human health and the environment. Stockholm: Arkitektkopia, 2014. 142 p. Disponível em: <<https://www.kemi.se/files/8040fb7a4f2547b7bad522c399c0b649/report6-14-chemicals-in-textiles.pdf>>. Acesso em: 31 jun. 2018.

SZOSTAK-KOTOWA, Jadwiga. Biodeterioration of textiles. **International Biodeterioration & Biodegradation,** [s.l.], v. 53, n. 3, p.165-170, abr. 2004. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0964-8305\(03\)00090-8](http://dx.doi.org/10.1016/s0964-8305(03)00090-8).

TEIXEIRA, Jussara Aparecida. **Diagnóstico do gerenciamento dos resíduos sólidos gerado na atividade do corte nas confecções do vestuário do município de Passos, MG**. 2015. 159 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia Ambiental, Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2015. Disponível em: <<http://www.unaerp.br/documentos/1815-teixeira-jussara-aparecida-mestrado-tecnologia-ambiental/file>>. Acesso em: 05 fev. 2018.

UNIETHOS. **Sustentabilidade e Competitividade na Cadeia da Moda**. São Paulo: Uniethos, 2013. Disponível em: <https://www.ethos.org.br/cedoc/a-sustentabilidade-na-cadeia-da-moda/#.W_2JO-hKjIU>. Acesso em: 14 dez. 2018.

VIDIGAL, Vinícius Gonçalves; VIGNANDI, Rafaella Stradiotto; CAMPOS, Antonio Carlos de. Evolução dos arranjos produtivos locais (apl) de confecção do estado do paraná nos anos 2000. **Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos (rberu)**, Juiz de Fora, v. 8, n. 1, p.54-76, 2014. Disponível em: <<https://www.revistaaber.org.br/rberu/article/view/71/137>>. Acesso em: 17 abr. 2018.

XU, Zhihua et al. Highly mesoporous activated carbon synthesized by pyrolysis of waste polyester textiles and MgCl₂: Physicochemical characteristics and pore-forming mechanism. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 192, p.453-461, ago. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.007>.

WANG, Shurong et al. Mechanism research on cellulose pyrolysis by Py-GC/MS and subsequent density functional theory studies. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 104, p.722-728, jan. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2011.10.078>.

WANG, Tao et al. Kinetics of Thermal Degradation of Viscose Fiber and Fire Retardant Viscose Fiber. **Journal Of Engineered Fibers And Fabrics**, [s.l.], v. 9, n. 2, p.38-46, jun. 2014. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/155892501400900205>

WANG, Youjiang (Ed.). **Recycling in textiles**. Abington: Woodhead Publishing Ltd, 2006. Disponível em: <<https://play.google.com/store/search?q=textile%20fabrics&c=books>>. Acesso em: 1 set. 2018.

WEN, Cheng et al. The pyrolysis and gasification performances of waste textile under carbon dioxide atmosphere. **Journal Of Thermal Analysis And Calorimetry**, [s.l.], v. 128, n. 1, p.581-591, 17 out. 2016. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s10973-016-5887-7>.

WILLIAMS, Paul T.; REED, Anton R. High grade activated carbon matting derived from the chemical activation and pyrolysis of natural fibre textile waste. **Journal Of Analytical And Applied Pyrolysis**, [s.l.], v. 71, n. 2, p.971-986, jun. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaap.2003.12.007>.

WILLIAMS, Paul T; REED, Anton R. Pre-formed activated carbon matting derived from the pyrolysis of biomass natural fibre textile waste. **Journal Of Analytical And Applied Pyrolysis**, [s.l.], v. 70, n. 2, p.563-577, dez. 2003. Elsevier BV.

[http://dx.doi.org/10.1016/s0165-2370\(03\)00026-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0165-2370(03)00026-3).

WORLD TRADE ORGANIZATION (WTO). **World Trade Report 2018**. Genebra: Wto, 2018a. 236 p. Disponível em: <https://www.wto.org/english/res_e/publications_e/world_trade_report18_e.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2018.

WORLD TRADE ORGANIZATION (WTO). **World Trade Statistical Review 2018**. Genebra: Wto, 2018b. 92 p. Disponível em: <https://www.wto.org/english/res_e/statis_e/wts2018_e/wts18_toc_e.htm>. Acesso em: 20 ago. 2018.

WU, Ye et al. Catalytic pyrolysis and gasification of waste textile under carbon dioxide atmosphere with composite Zn-Fe catalyst. **Fuel Processing Technology**, [s.l.], v. 166, p.115-123, nov. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuproc.2017.05.025>.

YAMAN, Necla et al. Improvement surface properties of polypropylene and polyester fabrics by glow discharge plasma system under atmospheric condition. **Textile and apparel**, Turkey, v. 19, p.45-51, jun. 2009. Disponível em: <<http://dergipark.org.tr/tekstilvekonfeksiyon/issue/23633/251715>>. Acesso em: 17 abr. 2019.

YUAN, Zhihang et al. Box-Behnken design approach towards optimization of activated carbon synthesized by co-pyrolysis of waste polyester textiles and MgCl₂. **Applied Surface Science**, [s.l.], v. 427, p.340-348, jan. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.08.241>.

ZABANIOTOU, A.a; ROUSSOS, A.i; KORONEOS, C.j. A laboratory study of cotton gin waste pyrolysis. **Journal Of Analytical And Applied Pyrolysis**, [s.l.], v. 56, n. 1, p.47-59, set. 2000. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0165-2370\(00\)00088-7](http://dx.doi.org/10.1016/s0165-2370(00)00088-7).

ZAMANI, Bahareh. **Towards Understanding Sustainable Textile Waste Management: Environmental impacts and social indicators**. 2014. 52 f. Tese-Curso de Licentiate Of Engineering, Chalmers University Of Technology, Gotemburgo, 2014. Disponível em: <<http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/204502/204502.pdf>>. Acesso em: 31 ago. 2018.

ZANIN, Maria; MANCINI, Sandro Donnini. **Resíduos plásticos e reciclagem: aspectos gerais e tecnologia**. São Carlos: Edufscar, 2015. 138 p.

ZHU, Fanglong et al. Kinetics of pyrolysis of ramie fabric wastes from thermogravimetric data. **Journal Of Thermal Analysis And Calorimetry**, [s.l.], v. 119, n. 1, p.651-657, 1 out. 2014. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s10973-014-4179-3>.

APÊNDICE A- FORMULÁRIO PARA CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

1.Qual o porte da empresa? Pequeno () Médio () Grande () Micro ()

2.Quantos funcionários a empresa possui? ()

3.Descreva o número de colaboradores em cada setor?

Setor (ex: Criação, administração, vendas, costura...)	Número de colaboradores

1. Qual o nível de qualificação dos colaboradores?

Legenda: TE-Treinamento externo; TI-Treinamento interno; NM- Nível médio; NT-Nível Técnico (citar a formação); NS-Nível superior (citar a formação); E- Especialização (citar a formação);		
Cargo	Tipo de qualificação	Grau de instrução

2.Volume de produção por coleção 2017 (ex: verão, alto verão, outono, inverno)

Coleção	Volume de peças

3. Como é o processo de criação? () manual () automatizado

4.Como é o processo de modelagem? () manual () automatizado

5. Como é o processo de gradação? () manual () automatizado

6.Como é o processo de mapeamento/risco? () manual () automatizado

7.Como é o processo de enfeito? () manual () automatizado

8.Como é o processo de corte? () manual () automatizado

9. Qual a frequência de uso de tecidos com composições distintas para compor um mesmo enfeito?
 () sempre () nunca () às vezes.

10.Qual a frequência de uso de tecidos com cores distintas para compor um mesmo enfeito?
 () sempre () nunca () às vezes.

11.Qual a frequência de uso de tecidos com larguras distintas para compor um mesmo enfeito?

() sempre () nunca () às vezes

12. Como a empresa descarta seus resíduos têxteis?

13. Quais as ações da empresa voltada ao gerenciamento de seus resíduos?

14. Descreva outras informações pertinentes à pesquisa.

APÊNDICE B- ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO DO RESÍDUO TÊXTIL GERADO PELA EMPRESA ICP

Análise da composição do resíduo têxtil gerado pela empresa ICP

Origem da fibra	Composição	Frequência
Naturais	100% algodão	9
	100% linho	2
	55% linho 45% algodão	2
Total tecidos com fibras naturais		13
Artificiais	100% liocel	2
	100% viscose	57
Total tecidos com fibras artificiais		59
Sintéticas	100% poliamida	3
	100% poliéster	230
	44% poliamida 42% poliéster 14% elastano	9
	48% poliamida 48% poliéster 4% elastano	6
	50% poliéster 50% poliamida	1
	55% poliamida 35% poliéster 10% elastano	2
	57% poliamida 34% poliéster 9% elastano	1
	65% poliamida 25% poliéster 10% elastano	5
	65% poliamida 35% poliéster	1
	65% poliéster 35% poliamida	1
	70% poliéster 21% metalizado 9% elastano	1
	78% poliamida 10% poliéster 8% elastano 4% fibra metal	1
	80% poliamida 20% elastano	1
	80% poliéster 20% metálico	1
	84% poliamida 16% elastano	1
	84% poliéster 16% poliamida	2
	85% poliéster 15% elastano	1
	86% poliéster 14% elastano	3
	87% poliamida 13% elastano	1
	87% poliéster 13% poliamida	1
	88% poliéster 12% elastano	2
	88% poliéster 6% poliamida 6% elastano	1
	89% poliamida 11% elastano	3
	89% poliéster 11% poliamida	1
	90% poliéster 10% elastano	15
	91% poliéster 9% elastano	5
	92% poliéster 8% elastano	8
	93% poliéster 7% elastano	6
	94% poliamida 6% elastano	2
	94% poliéster 6% elastano	36
95% poliamida 5% elastano	1	
95% poliéster 5% elastano	45	
96% poliamida 4% elastano	3	
96% poliéster 4% elastano	118	
97% poliéster 3% elastano	49	
99% poliéster 1% elastano	1	
Total de tecidos com fibras sintéticas		568

(Continua...)

Análise da composição do resíduo têxtil gerado pela empresa ICP- (Continuação...)

Origem da fibra	Composição	Frequência
Naturais + Sintéticas	45% poliamida 35% algodão 20% poliéster	2
	53% poliéster 46% algodão 1% elastano	1
	53% poliéster 46% algodão 1% elastano	1
	55% poliamida 45% algodão	1
	58% poliéster 39% algodão 3% elastano	1
	60% poliamida 40% algodão	2
	60% poliéster 37% algodão 3% elastano	1
	65% poliéster 35% algodão	1
	86% poliéster 10% algodão 4% outras fibras	1
	82% poliamida 12% poliéster 6% algodão	1
	50% algodão 50% poliéster	3
	55% algodão 45% poliéster	2
	56% algodão 41% poliéster 3% elastano	1
	58% algodão 42% poliéster	1
	59% algodão 35% poliéster 6% elastano	1
	60% algodão 40% poliéster	1
	65% algodão 32% poliéster 3% elastano	1
	70% algodão 29% poliéster 1% elastano	1
	75% algodão 25% poliamida	1
	97% algodão 3% elastano	2
98% algodão 2% elastano	1	
Total de tecidos com fibras natural + sintéticas		27
Naturais + artificiais	51% linho 45% viscose	1
	54% linho 46% viscose	1
	55% linho 45% viscose	8
	51% viscose 34% modal 15% linho	2
	52% viscose 48% algodão	1
	60% viscose 32% linho 8% algodão	1
	60% viscose 40% linho	1
	65% viscose 21% linho 14% algodão	1
	70% viscose 20% linho 10% algodão	2
	70% viscose 30% linho	10
	70% viscose 30% modal	1
	70% viscose 30% linho	1
	75% viscose 25% linho	4
	85% viscose 15% linho	4
	91% viscose 9% linho	1
	92% viscose 8% algodão	1
94% viscose 6% linho	1	
Total tecidos com fibras naturais + artificiais		41
Sintéticas+ artificiais	47% viscose 35% poliéster 18% poliamida	1
	53% viscose 47% poliamida	1
	54% viscose 40% poliéster 6% elastano	1
	54% viscose 46% poliéster	2
	55% viscose 42% poliéster 3% elastano	1
	55% viscose 45% poliéster	10
	62% viscose 38% poliéster	1
	66% viscose 18% poliamida 16% elastano	1
	66% viscose 29% poliamida 5% elastano	2
	67% viscose 19% poliéster 14% elastano	1
67% viscose 33% poliéster	1	

(Continua...)

Análise da composição do resíduo têxtil gerado pela empresa ICP- (Conclusão)

Origem da fibra	Composição	Frequência
	70% viscose 20% poliamida 10% elastano	1
	70% viscose 25% poliamida 5% elastano	1
	70% viscose 26% poliamida 4% elastano	1
	73% viscose 23% poliamida 4% elastano	2
	74% viscose 23% poliamida	1
	75% viscose 20% poliamida 5% elastano	1
	76% viscose 20% poliamida 4% elastano	2
	78% viscose 19% poliamida 3% elastano	3
	80% viscose 17% poliamida 3% elastano	1
	80% viscose 20% poliéster	1
	81% viscose 16% poliéster 3% elastano	1
	94% viscose 6% elastano	1
	97% viscose 3% elastano	1
	98% viscose 2% elastano	1
	99% viscose 1% poliéster	1
	55% poliéster 35% viscose 10% elastano	1
	59% poliéster 33% viscose 8% elastano	1
	61% poliéster 26% viscose 10% poliamida	1
	66% poliéster 30% viscose 4% elastano	1
	68% poliéster 28% viscose 4 % elastano	1
	70% poliéster 27% viscose 2% elastano	2
	72% poliéster 24% viscose 4% elastano	1
	72% poliéster 28% viscose	1
	73% poliéster 27% viscose	1
	77% poliéster 20% viscose 3% elastano	2
	78% poliéster 20% viscose 2% elastano	3
	83% poliéster 14% viscose 3% elastano	1
	98% poliéster 2% viscose	8
	Total de tecidos com fibras sintéticas+ artificiais	65
Natural + Artificial + Sintética	49% viscose 22% linho 21% algodão 8% elastano	1
	60% viscose 38% linho 2% elastano	1
	62% viscose 24% linho 10% algodão 4% poliéster	3
	65% viscose 30% linho 5% poliéster	1
	68% viscose 30% linho 2% elastano	1
	70% viscose 27% linho 3% elastano	2
	72% viscose 26% linho 2% elastano	4
	45% viscose 35% algodão 30% poliamida	1
	45% viscose 32% poliéster 20% linho 3% elastano	2
	45% viscose 44% poliéster 11% algodão	1
	48% linho 46% viscose 4% algodão 2% poliéster	1
	50% algodão 20% viscose 15% poliéster 15% linho	1
	53% linho 44% viscose 3% elastano	3
	53% linho 45% viscose 2% poliéster	1
	54% linho 44% viscose 2% elastano	1
	55% algodão 30% poliamida 15% viscose	1
	69% algodão 24% poliéster 6% viscose 1% elastano	1
	51% poliéster 26% algodão 12% linho 11 % viscose	1
	71% poliéster 17% algodão 9% viscose 3% elastano	1
	Total de tecidos com fibras naturais + sintéticas + artificiais	28
Total de Tecidos		801