



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIA E ENGENHARIA DOS MATERIAIS

LUCAS REGO DE QUEIROZ

**CARACTERIZAÇÃO E DESTINAÇÃO SUSTENTÁVEL DE RESÍDUOS DE CABOS
DE FIBRA ÓPTICA: DESENVOLVIMENTO DE ESTRATÉGIAS E FERRAMENTAS
PARA GESTÃO EFICIENTE**

MOSSORÓ

ANO 2024

LUCAS REGO DE QUEIROZ

**CARACTERIZAÇÃO E DESTINAÇÃO SUSTENTÁVEL DE RESÍDUOS DE CABOS
DE FIBRA ÓPTICA: DESENVOLVIMENTO DE ESTRATÉGIAS E FERRAMENTAS
PARA GESTÃO EFICIENTE**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO
MESTRADO EM CIÊNCIA E
ENGENHARIA DE MATERIAIS DO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS
DA UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL
DO SEMI-ÁRIDO COMO REQUISITO
PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
MESTRE EM CIÊNCIA E ENGENHARIA
DE MATERIAIS.

LINHA DE PESQUISA: MATERIAIS E
PROCESSOS PARA SUSTENTABILIDADE
DO SEMIÁRIDO.

ORIENTADOR: RODRIGO NOGUEIRA DE
CODES, PROF. DR.

CO-ORIENTADOR: ADLA KELLEN
DIONÍSIO SOUSA, PROFA. DR.

MOSSORÓ

2024

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

QQ3cc Queiroz, Lucas.
CARACTERIZAÇÃO E DESTINAÇÃO SUSTENTÁVEL DE
RESÍDUOS DE CABOS DE FIBRA ÓPTICA: DESENVOLVIMENTO
DE ESTRATÉGIAS E FERRAMENTAS PARA GESTÃO EFICIENTE
/ Lucas Queiroz. - 2024.
107 f. : il.

Orientador: Rodrigo Nogueira de Codes.
Coorientadora: Adla Kellen Dionisio de Sousa

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Ciência e Engenharia de Materiais, 2024.

1. Resíduos. 2. Cabos de fibra óptica. 3.
Caracterização de materiais . 4. Destinação
sustentável. I. Nogueira de Codes, Rodrigo ,
orient. II. Kellen Dionisio de Sousa , Adla , co-
orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

LUCAS REGO DE QUEIROZ

CARACTERIZAÇÃO E DESTINAÇÃO SUSTENTÁVEL DE RESÍDUOS DE CABOS DE
FIBRA ÓPTICA: DESENVOLVIMENTO DE ESTRATÉGIAS E FERRAMENTAS PARA
GESTÃO EFICIENTE

Dissertação apresentada ao Mestrado em
Ciência e Engenharia de Materiais do Programa
de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de
Materiais da Universidade Federal Rural do
Semi-Árido como requisito para obtenção do
título de Mestre em Ciência e Engenharia de
Materiais.

Linha de Pesquisa: Materiais e processos para
sustentabilidade do semiárido

Defendida em: 29 / 08 /2024

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **RODRIGO NOGUEIRA DE CODES**
Data: 21/09/2024 22:44:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Rodrigo Nogueira de Codes
Presidente

Documento assinado digitalmente
 **ADLA KELLEN DIONISIO SOUSA**
Data: 24/09/2024 21:29:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a. Dra. Adla Kellen Dionisio de Sousa
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente
 **MARIA DAS VITORIAS VIEIRA ALMEIDA DE SA**
Data: 25/09/2024 14:26:01-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a. Dra. Maria das Vitórias Vieira Almeida de Sá
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente
 **CARLOS EDUARDO MARMORATO GOMES**
Data: 30/09/2024 13:19:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Carlos Eduardo Marmorato Gomes
Membro Examinador

Somos assim. Sonhamos o voo, mas tememos as alturas. Para voar é preciso amar o vazio. Porque o voo só acontece se houver o vazio. O vazio é o espaço da liberdade, a ausência de certezas. Os homens querem voar, mas temem o vazio. Não podem viver sem certezas. Por isso trocam o voo por gaiolas. As gaiolas são o lugar onde as certezas moram.

(Rubem Alves)

Dedico esse trabalho.

Aos meus pais, Lindalva e José, por todos os
incentivos e cuidados aplicados a mim.

A minhas avós, Raimunda (*in memoriam*) e Nilza (*in
memoriam*), que sempre me influenciaram a estudar.

A minha estrelinha Yasmin (*in memoriam*), que hoje
brilha, iluminando meus passos.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradecer a Deus por ter me dado forças quando tudo parecia perdido, por ter me levantado todas as vezes que caí e por me mostrar que sou capaz mesmo diante de todas as adversidades que me surgem no caminho.

Aos meus pais, José e Lindalva; minhas irmãs Clécia, Cristina e Ana; sobrinhas, Melissa, Sofhia e Yasmin (*in memoriam*) e cunhados Josemir e Roziel, que a todo momento fizeram todos os esforços para que eu conseguisse chegar a essa conquista. Destaco a minha mãe Lindalva por todas as palavras de incentivo, pelas noites que não dormia direito esperando-me chegar e avisar que tudo estava bem, por todas as vezes que apertou as contas para me ajudar com os custos e o cuidado em cada detalhe para que a minha rotina fosse mais leve.

Aos meus compadres, Ana Augusta e Leandro, que me auxiliaram quando precisei, mesmo em horas de descanso estava eu pedindo ajuda e sempre recebi respostas positivas. E ao meu pequeno Ravi, que sempre enche o Dindo de carinho e razões para lutar.

A minha família da cidade de Mossoró, que me acolheram em todas as minhas aulas e dias que precisava ficar na cidade, em especial deixo aqui o nome minha tia Gracinha, que todas as vezes abriu as portas da sua casa, as minhas primas Neide e Leticia que além de me receberem me auxiliaram em alguns processos do trabalho sem hesitar e sempre de muito boa vontade, e não poderia esquecer do meu primo Naldo, que em todo momento se dispôs a me buscar na universidade mesmo quando era tarde da noite e os demais parentes que lá moram que mesmo não estando ligados diretamente mas sempre também se mostraram solícitos.

A minha amiga Adriana, cujo apoio e conselhos foram fundamentais, especialmente na elaboração da interface da aplicação, contribuindo de forma significativa para o sucesso deste trabalho.

Agradeço à minha amiga Verônica, que se fez e faz presente em todos os momentos, me incentivando incansavelmente, falando sério quando necessário e sempre me lembrando que eu conseguiria chegar até a apresentação.

Minha gratidão à Eliane, minha amiga e quase irmã, que sempre faz questão de acreditar em mim, enxergando em mim um potencial que muitas vezes nem eu via, estando ao meu lado para me acolher, ouvir e apoiar, mesmo nos momentos mais difíceis.

Ao meu amigo Thiago Rosa que além de amigo é um profissional que é referência para mim e que me incentivou a lutar e correr atrás deste trabalho e sempre me incentiva a lutar pelos meus objetivos.

A Tamara Paiva, cuja morou comigo em grande parte do processo e nunca parou um segundo em acreditar em mim e me ajudou em todos os momentos que precisei, esteve e está comigo para rir e chorar.

Ao meu Amigo Danniel, por me dar apoio e incentivar, sempre dizendo que eu conseguiria, mesmo quando nem eu acreditava.

Ao meu companheiro Anderson, quando eu já havia desistido de tudo, ele chegou e segurou minha mão e disse: “você vai conseguir, é só recuperar o tempo perdido!”, não tenho dúvidas da importância dele nesse processo, ele foi uma luz em meio a toda a escuridão que enfrentava.

Aos demais amigos, conhecidos e familiares que levaria muitas páginas para citar, mas que estiveram presentes em momentos cruciais, que deram palavras de apoio, de incentivo e que acreditaram em mim.

Ao meu orientador Rodrigo Codes, por ter aceitado e acreditado no meu trabalho, pelas contribuições e todos os ensinamentos que me foram repassados.

A minha coorientadora Adla Kellen, por todas as contribuições e pelo apoio em todo o trabalho, por ter inclusive me aberto a sala da sua turma para realização do estágio à docência e por todos os conselhos pessoais e profissionais em todo o trabalho.

Aos meus colegas do Mestrado que tornaram a jornada mais fácil, com parceria e momentos de compartilhamento de vivências, em especial deixo os nomes de Ytalo e Moisés.

Em nome do Professor Odolberto, agradeço a todos os docentes do Programa por todos os ensinamentos e por toda paciência e acolhimento que tiveram comigo, diante de todas as problemáticas que eu passei durante o curso.

Por fim, a todos que fazem a UFERSA, a qual foi possível chegar à conquista do título de Mestre.

RESUMO

A crescente geração de resíduos é uma consequência direta das atividades humanas, e muitos desses materiais ainda carecem de uma destinação adequada, em grande parte devido ao desconhecimento sobre suas características e potencial de reutilização. Um exemplo deste tipo de material são os cabos de fibra óptica, amplamente utilizados na indústria de telecomunicações, cujos resíduos são gerados a partir de perdas durante a instalação, rompimentos ao longo da vida útil, desinstalações de clientes, defeitos e descarte final. Diante disso, o principal objetivo deste trabalho foi propor estratégias para destinação sustentável de cabos de fibra óptica pós-uso, baseado na caracterização dos materiais que os compõe. Para isto, foram analisados cabos com diferentes quantidades de fibras (2, 6, 12, 24, 36, 48, 96 e 144), que são utilizados em vãos de 80 metros entre postes. Foram verificados os materiais internos dos cabos e a sua capa externa. Os materiais foram analisados quanto à caracterização visual, massa e microestrutura. Com base nessas informações elaborou-se propostas de destinação sustentável. Além disso foi proposta a arquitetura de um aplicativo de forma a facilitar a gestão desse resíduo. A análise revelou microestruturas homogêneas e materiais predominantes, como polietileno linear de baixa densidade, fibra de vidro e poliolefina com carga antichama, que representam a maior fração em massa dos cabos. Os cabos não contêm materiais classificados como perigosos, mas sua difícil degradação no ambiente requer alternativas de destinação adequadas. Assim, para os principais materiais encontrados definiu-se as seguintes propostas de destinação: reutilização dos materiais na fabricação de polímeros, produtos têxteis, em ligas asfálticas, concretos de alta resistência e cerâmicas vermelhas. Portanto, a pesquisa demonstrou que os cabos de fibra óptica possuem viabilidade para separação e destinação adequada dos seus materiais, o que é crucial considerando o grande volume de resíduos gerados. Além disso, o aplicativo cuja a arquitetura foi desenvolvida pode facilitar a comunicação entre geradores e recicladores.

Palavras-Chave: Resíduos, Cabos de fibra óptica, Caracterização de materiais, Destinação sustentável.

ABSTRACT

The increasing generation of waste is a direct consequence of human activities, and many of these materials still lack proper disposal, largely due to a lack of knowledge about their characteristics and reuse potential. One example of such materials is fiber optic cables, widely used in the telecommunications industry, with waste generated from installation losses, breaks during their useful life, customer uninstallations, defects, and final disposal. In light of this, the main objective of this study was to propose strategies for the sustainable disposal of post-use fiber optic cables, based on the characterization of the materials that compose them. Fiber optic cables with different fiber counts (2, 6, 12, 24, 36, 48, 96, and 144) were analyzed, which are used in 80-meter spans between poles. Both the internal materials and the outer sheath of the cables were examined. The materials were analyzed in terms of visual characterization, mass, and microstructure. Based on this information, sustainable disposal proposals were developed. Additionally, the architecture of an application was proposed to facilitate the management of this waste. The analysis revealed homogeneous microstructures and predominant materials such as linear low-density polyethylene, fiberglass, and flame-retardant polyolefin, which represent the largest mass fraction of the cables. The cables do not contain hazardous materials, but their slow degradation in the environment necessitates suitable disposal alternatives. Thus, for the main materials found, the following disposal proposals were defined: reuse of materials in the manufacturing of polymers, textile products, asphalt mixtures, high-strength concrete, and red ceramics. Therefore, the research demonstrated that fiber optic cables are viable for separation and proper disposal of their materials, which is crucial considering the large volume of waste generated. Furthermore, the application architecture developed could facilitate communication between waste generators and recyclers.

Keywords: Waste, Fiber optic cables, Material characterization, Sustainable disposal.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Modelo de distribuição de rede de fibra óptica	26
Figura 2.2: Estrutura de uma fibra óptica	27
Figura 2.3: Modelo de cabo óptico	28
Figura 2.4: Disposição final adequada × inadequada de RSU no Brasil em 2022	30
Figura 2.5: Disposição final adequada × inadequada de RSU nas Regiões do Brasil em 2022	31
Figura 2.6: Caracterização e classificação de resíduos	35
Figura 2.7: Fluxo para reciclagem de resíduos eficiente.	40
Figura 2.8: Processo de logística reversa	45
Figura 3.1: Delineamento da pesquisa	46
Figura 3.2: Retirada do guia para facilitar a abertura no cabo, neste caso o de 2 fibras	48
Figura 3.3: Medição da precisão do corte das amostras	49
Figura 3.4: Aferição dos diâmetros, neste caso o cabo de 144 fibras.	49
Figura 3.5: Separação dos componentes dos cabos, neste caso o cabo de 36 fibras	50
Figura 3.6: Amostra de Material identificado e embalado.	51
Figura 3.7: Pesagem dos componentes	51
Figura 3.8: Suporte do equipamento com as 10 amostras acopladas	52

Figura 4.1: Materiais presentes nos modelos de Cabos. Quantidade de Fibras por cabo: (a) 2, (b) 6, (c)12, (d) 24, (e) 36, (f)48, (g) 96, (h)144	58
Figura 4.2: Representação das massas de materiais em cada um dos modelos de cabos	60
Figura 4.3: MEV da superfície de uma partícula de polietileno reciclado	62
Figura 4.4: Imagem de MEV do material 1 face interna	62
Figura 4.5: Imagem de MEV do material 1 face externa	63
Figura 4.6: Análise EDS do material 1 face interna	64
Figura 4.7: Análise EDS do material 1 face externa	64
Figura 4.8: Microscopia de uma amostra de kevlar	66
Figura 4.9: Imagem de MEV do material 2	67
Figura 4.10: Análise EDS do material 2	67
Figura 4.11: Imagem de MEV da fibra de vidro	69
Figura 4.12: Imagem de MEV do material 3	70
Figura 4.13: Análise 1 EDS do material 3	71
Figura 4.14: Análise 2 EDS do material 3	71
Figura 4.15: Microscopia de uma amostra de polipropileno	73
Figura 4.16: Imagem de MEV do material 4	73
Figura 4.17: Análise EDS do material 4	74
Figura 4.18: Imagem de MEV do material 5	75
Figura 4.19: Análise EDS do material 5	76

Figura 4.20: Imagem de MEV do material 6	78
Figura 4.21: Análise EDS do material 6	79
Figura 4.22: MEV de um tecido composto por fibras de poliéster	80
Figura 4.23: Imagem de MEV do material 7	81
Figura 4.24: Análise EDS do material 7	82
Figura 4. 25: Imagem de MEV do material 8	84
Figura 4.26: Análise EDS do material 8	84
Figura 4.27: Microscopia realizada em TNT no Instituto federal de Alagoas	85
Figura 4.28: Imagem de MEV do material 9	86
Figura 4.29: Análise EDS do material 9	87
Figura 4.30: Imagem de MEV do material 10	88
Figura 4.31: Análise EDS do material 10	89
Figura 4.32: Destinação e classificação apresentada para os diferentes materiais	91
Figura 4.33: Interface da proposta de Aplicação	94

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1: Literaturas que apresentam modelos de classificações de resíduos	30
Quadro 4.1: Caracterização visual dos cabos	54
Quadro 4.2: Diâmetros e Massas médias dos cabos	59
Quadro 4.3: Classificação dos Resíduos de cabos ópticos	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Código de classificação quanto a periculosidade

34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PG&C	Perspectivas em Gestão & Conhecimento
SBGC	Sociedade Brasileira de Gestão do Conhecimento
PNRS	Política Nacional de Resíduos sólidos
SUASA	Sistema Único de Atenção à Sanidade Agropecuária
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
TNT	Tecido não tecido
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
EDS	Espectroscopia por Dispersão de Energia
SNVS	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
ERB	Estação Rádio Base

LISTA DE SÍMBOLOS

R\$	Real
O	Oxigênio
Si	Silício
Al	Alumínio
Mg	Magnésio
Fe	Ferro
S	Enxofre
C	Carbono
%	Porcentagem
(C ₃ H ₆) _N	Polipropileno

SUMÁRIO

Capítulo 1	20
INTRODUÇÃO	20
1.1 OBJETIVOS.....	23
1.1.1 Objetivo geral.....	23
1.1.2 Objetivos Específicos.....	23
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO	23
Capítulo 2	24
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	24
2.1 EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA E COMUNICAÇÃO	24
2.1.1 Fibras ópticas	25
2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS.....	29
2.2.1 Legislação Brasileira	31
2.2.2 Classificação dos resíduos	33
2.2.3 Métodos de Destinação de Resíduos e Rejeitos	37
2.2.3 Logística reversa	44
Capítulo 3	47
MATERIAIS E MÉTODOS	47
3.1 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	48
3.1.1 Coleta das Amostras.....	48
3.1.2 Preparação das Amostras:.....	48
3.1.3 Análise dos Materiais: Aferição dos diâmetros	49
3.1.4 Análise dos Materiais: Aferição da massa dos componentes do cabo	50
3.1.5 Caracterização microscópica.....	52
3.1.6 Elaboração de propostas de destinação	53
3.1.7 Elaboração de proposta de aplicação	53
Capítulo 4	54
ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	54
4.1 CARACTERIZAÇÃO VISUAL DO CABO	54
4.2. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS E DESTINOS	61
4.2.1. Material 1	61
4.2.2. Material 2	65

4.2.3. Material 3	69
4.2.4. Material 4	72
4.2.5. Material 5	75
4.2.6. Material 6	77
4.2.7. Material 7	79
4.2.8. Material 8	83
4.2.9. Material 9	85
4.2.10. Material 10	88
4.3. CLASSIFICAÇÃO DO RESÍDUO DOS CABOS	89
4.4 PROCESSO DE DESTINAÇÃO PARA O CABO	90
Capítulo 5	96
CONCLUSÕES.....	96
5.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	97
REFERÊNCIAS	98
APÊNDICE I – Interfaces da aplicação sugerida.....	104

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento da sociedade, as atividades de consumo humano passaram de necessidade e garantia de subsistência para padrões tecnológicos que garantem condições de produção em massa, melhoria nas comunicações, na qualidade de vida e aconchego nas residências. Entretanto, este crescimento acarreta o aumento da geração de resíduos, que surgem tanto no processo produtivo, quanto após o consumo e até por avaria no processo comercial.

Devido ao avanço tecnológico, a cada dia um produto novo é lançado no mercado, melhor e inovador. É o caso das fibras ópticas, que nos últimos anos revolucionou o conceito de telecomunicações, garantindo uma melhor transmissão de internet, substituindo o fio de cobre das linhas telefônicas de longa distância, bem como usada para ligar computadores dentro de redes locais (Souza, 2022).

Mesmo com a evolução tecnológica não houve reduções significativas do consumo de recursos e geração de resíduos, levantando dúvidas sobre a eficácia da melhoria da eficiência e dos avanços tecnológicos como garantia da sustentabilidade no planeta (Awasthi *et al.*, 2021). As fibras ópticas, por exemplo, possibilitam progresso na qualidade de internet, entretanto a demanda de materiais e a geração de resíduos surgem em seu ciclo produtivo. Assim, torna-se crucial estabelecer sistemas eficientes que atendam às necessidades humanas e, posteriormente, otimize esses sistemas para alcançar a eficiência ambiental (Hu *et al.*, 2017).

Atualmente a destinação final de resíduos sólidos industriais é um dos principais problemas ambientais enfrentados devido ao seu potencial de contaminação dos compartimentos ambientais, bem como o volume gerado e a falta de informação dos materiais tecnológicos. Com a evolução da política e consciência ambiental, a destinação adequada desses resíduos é estimulada, buscando-se novas tecnologias para suprir a demanda dos produtos gerados (Neiva Júnior *et al.*, 2019).

Em outros tempos, o descarte dos resíduos era visto como custo ao empreendimento, mas atualmente tem havido reconhecimento devido ao valor agregado potencial (Awasthi *et al.*, 2021). Entretanto, os aterros sanitários são alternativas limitadas para a destinação dos resíduos sólidos, somado a isso, a falta de espaços para a criação de novos aterros e a expansão das cidades reforçam a importância da adoção de medidas e políticas públicas para a destinação correta dos resíduos das cidades (Benedicto *et al.*, 2023).

Embora o aterro sanitário seja uma alternativa sustentável para o descarte de resíduos e que atraia viabilidade ao empreendimento, devem ser adotadas medidas de gestão, devido ao grande volume de resíduos e à demanda por áreas extensas. Portanto, é importante utilizar outros mecanismos em conjunto a essa ferramenta, para que somente os materiais que não podem ser reaproveitados, os chamados rejeitos, sejam destinados a esses locais.

Diante disto, a maneira mais adequada para redução dos impactos negativos sobre o ambiente natural é reduzindo a quantidade de lixo produzido. Para isto acontecer, é necessário adotar práticas de reciclagem, reutilização, reaproveitamentos dos produtos, bem como mudar a forma de consumo, isto é, o consumindo de forma inteligente produtos e bens duráveis e recicláveis.

A reutilização, o reaproveitamento e a redução dos resíduos estão diretamente relacionadas à educação ambiental e aos padrões de vida da sociedade, que devem ser trabalhados por meio de projetos e programas para que se alcancem níveis de consciência. Entretanto o viés da reciclagem depende de outros fatores que compõem a chegada dos materiais na indústria. Alguns personagens como os catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis entram em cena para auxiliar na separação, estes fazem um processo de triagem e segregação das partes que são levadas até a indústria.

De acordo com a ABRELPE (2020), para tomar decisões sobre implantação da gestão de resíduos, é essencial conhecer a composição dos materiais gerados. Isso possibilita o planejamento adequado do setor, com estratégias e políticas públicas que garantam a destinação ambientalmente adequada, conforme preconizado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), considerando as melhores alternativas disponíveis e aplicáveis conforme os tipos e quantidades de resíduos existentes.

O conhecimento dos materiais que tem potencial de reciclagem é importante para que durante o processo de triagem um maior número de destes possa ser separado para voltar como matéria prima para cadeia de produção na indústria.

A caracterização dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) é fundamental para entender seu comportamento e estudar formas de minimizar seus impactos ambientais negativos. Com dados qualitativos e quantitativos, é possível propor ações de coleta seletiva e reciclagem, verificar o valor comercial dos materiais recicláveis e a adequação da matéria orgânica para compostagem ou biodigestão, determinar o tratamento ou destino adequado. Além disso, esses dados ajudam a desenvolver soluções para reduzir ou eliminar os RSU na comunidade (Rodrigues; Ismail; Lino, 2023).

Apesar disso, muitos materiais que possuem potencialidade comercial ainda não são de conhecimento dos recicladores e catadores, isto acaba os tornando inválidos para reciclagem. Isto acontece principalmente com produtos tecnológicos e compostos por diferentes materiais agrupados.

Os sistemas de cabeamento óptico são essenciais para a infraestrutura de comunicação moderna, pois permitem a transmissão de dados em alta velocidade por meio de uma malha de cabos que se espalha por todas as cidades. Essa rede parte de unidades de distribuição centralizadas e se estende até residências, comércios e indústrias, garantindo a conectividade em larga escala. Para alcançar esse objetivo, é necessário o uso de uma grande quantidade de materiais na fabricação dos cabos, o que inclui polímeros, fibras e componentes ópticos. Durante o processo de instalação, perdas de metragem ocorrem frequentemente, como quando o cabo não alcança o vão entre postes, gerando sobras que precisam ser descartadas. Além disso, os cabos podem sofrer rompimentos ao longo de sua vida útil, exigindo substituições e, conseqüentemente, gerando resíduos.

Esses resíduos, se não forem geridos de forma adequada, podem causar impactos ambientais significativos, destacando a necessidade urgente de estratégias de destinação sustentável. Os cabos de fibra óptica, em particular, representam um desafio nesse contexto, pois, embora sua utilização esteja em crescimento, ainda há uma lacuna de estudos sobre a reciclagem e o reuso dos materiais que os compõem. Comparados a materiais como papel, papelão e metais, os cabos ópticos são relativamente novos, e seus resíduos ainda são pouco compreendidos. A complexidade de sua composição, que inclui diversos tipos de materiais combinados para proporcionar resistência, durabilidade e eficiência na transmissão de dados, torna a gestão desses resíduos ainda mais desafiadora.

Visando compreender a composição dos cabos de fibra óptica e contribuir para a gestão eficiente desses resíduos, este trabalho realiza uma análise detalhada dos materiais constituintes, com o objetivo de identificar alternativas viáveis e sustentáveis para sua destinação. Ao propor soluções para a reciclagem e o reaproveitamento desses materiais, espera-se reduzir o impacto ambiental e promover uma gestão mais eficiente dos recursos envolvidos na produção e instalação de cabos de fibra óptica.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Propor estratégias para destinação sustentável de cabos de fibra óptica pós-uso, baseado na caracterização dos materiais que os compõe.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar os componentes dos cabos de fibra óptica pós-uso e quantificar suas proporções;
- Avaliar os desafios ambientais e tecnológicos relacionados à destinação adequada desses resíduos;
- Desenvolver um modelo de ferramenta, como aplicativo móvel, para facilitar a gestão eficiente dos resíduos de cabos.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho foi organizado em cinco capítulos de forma a facilitar a apresentação das informações.

O Capítulo 1, este capítulo, aborda uma breve introdução da temática trazendo os principais assuntos que serão tratados no trabalho e os objetivos a serem alcançados.

No Capítulo 2 é feita uma abordagem da temática por meio de uma revisão da literatura.

No Capítulo 3 são apresentados os procedimentos metodológicos aplicados para o desenvolvimento da pesquisa, bem como o detalhamento dos processos.

O Capítulo 4 é responsável pela apresentação e discussão dos resultados obtidos pelo estudo.

Por fim o Capítulo 5, é composto pela apresentação das conclusões obtidas diante dos resultados.

Capítulo 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA E COMUNICAÇÃO

Desde os primórdios, a necessidade de sobrevivência impulsionou o desenvolvimento humano e a criação de tecnologias e formas de comunicação. Os seres humanos buscaram meios de comunicação, inicialmente por gestos, linguagem corporal ou verbal, mas logo reconheceram a importância de transmitir suas mensagens e perpetuar seu conhecimento para as gerações futuras (Antônio; Alves, 2013).

Ao longo do processo evolutivo até a atual Era da Informação, muitas formas de comunicação surgiram e evoluíram, sendo essenciais para o convívio social; a evolução tecnológica e das ferramentas desenvolvidas para auxiliar diversos setores da sociedade, assim como a comunicação humana em suas diferentes Eras e Idades, está diretamente ligada a esse desenvolvimento (Barros; Souza; Teixeira, 2021).

Por exemplo, os primeiros computadores eram máquinas enormes, que ocupavam cômodos inteiros, e apenas grandes empresas, centros universitários e agências governamentais tinham a estrutura necessária para acomodá-los (Moreira; Almeida, 2023). Inicialmente ainda não se tinha uma conexão entre as diversas máquinas, ou seja, eram considerados como dispositivos de armazenamento.

A popularização das Tecnologias da Informação e Comunicações (TICs) na vida cotidiana das pessoas nos últimos anos fez crescer muito o número de usuários nas redes sociais digitais, e hoje se faz presente através da internet e dos computadores. De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE 2018), em pesquisa realizada pelo Programa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD)¹, 64,7% dos brasileiros com mais de 10 anos estão conectados à internet.

Neste cenário é imprescindível pensar as cidades, e consequentemente a ocupação do espaço urbano e dos serviços públicos, de forma a integrar funções essenciais para o desenvolvimento de fatores sociais, culturais, políticos, econômicos e tecnológicos, que podem contribuir para melhorar a qualidade de vida das pessoas, pois através das TICs é possível criar oportunidades e garantir direitos aos cidadãos (Silveira; Pina, 2019).

As TICs exercem papel importante para a conexão e ultrapassagem de barreiras e fronteiras físicas. Ainda é desconhecido o limite dessas novas tecnologias, pois todo dia ocorre uma nova descoberta. O que se sabe é que as tecnologias fornecem inúmeras possibilidades que facilitam o dia a dia das pessoas (Rocha; Andrade; Borges, 2022).

A internet desempenha um papel fundamental no desenvolvimento das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs), revolucionando a forma como interagimos e compartilhamos informações. Entre as várias inovações, a fibra óptica se destaca por sua capacidade de transmitir dados em alta velocidade e com grande eficiência. Essa tecnologia tem sido crucial para sustentar a crescente demanda por conectividade rápida e confiável, possibilitando avanços significativos em diversos setores, desde a educação e saúde até a indústria e o entretenimento.

É importante destacar que até chegarmos à realidade da fibra óptica atual, os modelos passaram por diversas alterações visando garantir uma melhor eficiência de transmissão de dados, aumento da vida útil e condições de resistência dos cabos espalhados na infraestrutura do projeto. No próximo tópico serão discutidas as principais características voltadas a infraestrutura de redes de cabeamentos ópticos dos modelos amplamente utilizados.

2.1.1 Fibras ópticas

As primeiras conexões com fibra óptica ocorreram na década de 1970, quando se tornou viável a produção de uma fibra de vidro com baixa perda de potência e transmissão prática, cujas propriedades ofereceram diversas vantagens de desempenho em relação aos fios de cobre (Basso *et al.*, 2023). Hoje, a evolução das comunicações e o desenvolvimento de novas tecnologias, como o 5G, dependem cada vez mais da robustez e da capacidade das fibras ópticas para suportar volumes de dados exponencialmente maiores, consolidando seu papel essencial na infraestrutura das redes modernas.

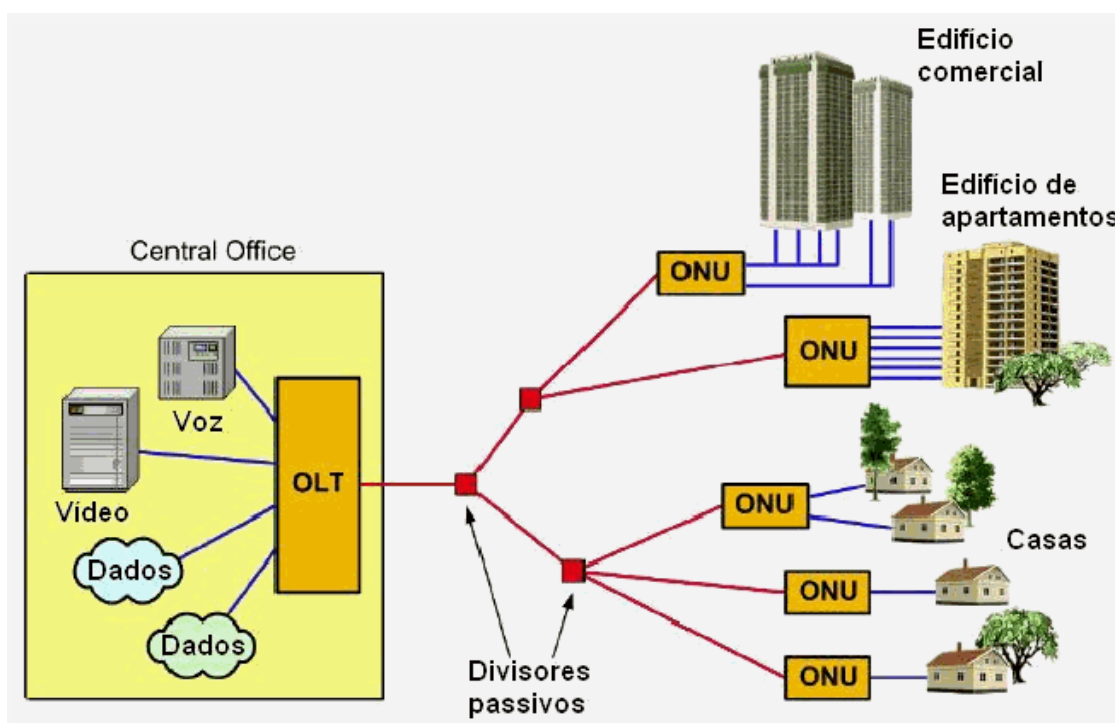
Segundo Bertoloto; Gushiken (2022), a estimativa atual da extensão de cabos de fibra óptica em uso no mundo varia entre 300 milhões e 400 milhões de quilômetros, o que equivale a pelo menos cem vezes a circunferência da Terra, de aproximadamente 39.400 quilômetros.

Esses números tendem a crescer devido a demanda na melhoria do transporte de dados, latência e número de usuários simultâneos das mais diversas aplicações, que por esses motivos as Estações Rádio Base (ERBs) 5G precisarão ser alimentadas por fibras ópticas. Ou seja, o

número de ERBs conectadas via fibras ópticas tende a crescer muito, e, portanto, será de suma importância compartilhar recursos entre operadoras de forma simplificada (Spadinger, 2023).

Para entender melhor a necessidade desse vasto volume de cabos já instalados, a Figura 2.1 apresenta um modelo de distribuição de redes por fibra óptica ponto a ponto, onde os dados partem de uma central unificada, sendo divididos e distribuídos através dos cabos que transportam essas informações até os consumidores finais, sejam eles comerciais ou residenciais, ou seja, cada residência ou comércio recebe uma ligação direta por meio de cabos conectados a uma mesma estrutura.

Figura 2.1: Modelo de distribuição de rede de fibra óptica



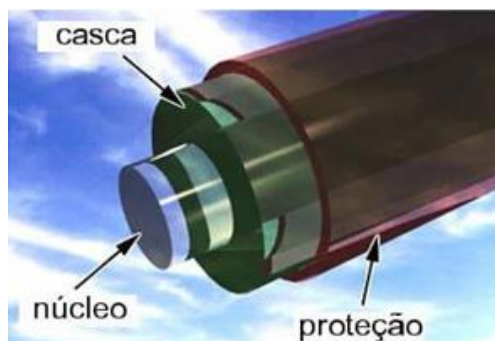
Fonte: Pinheiro (2010)

O sistema é composto por diversos equipamentos, como conversores de sinal, roteadores, dispositivos de tratamento de voz e vídeo, conectores, entre outros materiais essenciais para a montagem da estrutura. No entanto, o volume de cabos necessários para cobrir as áreas, conforme discutido anteriormente, é significativamente maior em comparação a outros materiais, o que torna essencial compreender a estrutura dos cabos de fibra óptica.

A fibra óptica é um filamento extremamente delgado e flexível, com dimensões microscópicas semelhantes às de um fio de cabelo humano, fabricado a partir de vidro ultrapuro, plástico ou outro material isolante elétrico que oferece alta resistência ao fluxo de corrente

elétrica. Sua estrutura básica inclui uma capa protetora, um núcleo e uma casca (Fontes, 2008). Na Figura 2.2 é possível observar a estrutura da fibra óptica.

Figura 2.2: Estrutura de uma fibra óptica



Fonte: Ferreira (2011)

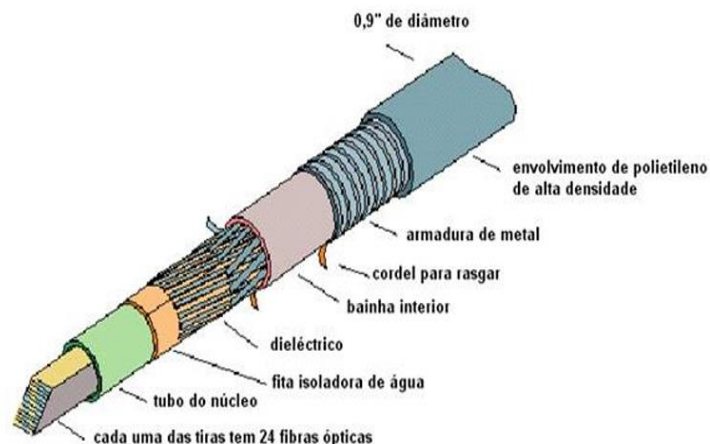
Dessa forma, a produção da fibra óptica compreende dois processos principais: o primeiro sendo a fabricação de pré-formas que consiste em criar um "bloco" de vidro que inclui um núcleo e um revestimento, ajustado ao perfil de índice desejado para a fibra e o segundo que é a tração das fibras onde a pré-forma é aquecida a aproximadamente 2000 °C, esticada até atingir o diâmetro necessário e revestida com uma camada de proteção (Wirth, 2020).

A fibra óptica é o componente responsável pela transferência das informações por meio da propagação luminosa em seu núcleo. Entretanto, para garantir sua eficiência para transmissão, esta é envolta de diversos outros materiais que dão as características de resistência aos diversos intemperes e esforços que o sistema de transmissão a impõe, nisso são formados os cabos de fibra óptica.

Na fabricação de cabos, é essencial respeitar certos parâmetros, como a carga axial máxima admissível, que determina o comprimento do cabo e geralmente varia entre 0,1% e 0,2% de alongamento durante a fabricação e instalação. Além disso, a escolha do material que compõe o cabo, seja cobre, aço, plástico ou fios sintéticos, depende inteiramente de sua aplicação, como por exemplo, cabos para utilização interna ou externa das residências, submersos na água, ou ainda no solo (Priscila, 2015).

De forma geral os cabos recebem uma estrutura como apresentada na figura 2.3, variando os volumes e tipologias de materiais de acordo com a necessidade do modelo no projeto de redes. Além disso, alguns materiais substituem outros conforme as características têm similaridade e apresenta viabilidade.

Figura 2.3: Modelo de cabo óptico



Fonte: Wirth (2020)

Como pode ser observado, os diferentes materiais presentes em um cabo de fibra óptica desempenham papéis essenciais para garantir seu desempenho, proteção e durabilidade. O núcleo e a casca de vidro ou plástico conduzem e refletem a luz, permitindo a transmissão de dados. A capa protetora e o revestimento externo protegem a fibra contra danos mecânicos, umidade e influências externas. Elementos de reforço, como fibras de aramida ou fios metálicos, conferem resistência mecânica, enquanto preenchimentos adicionais ajudam a bloquear a umidade e manter a integridade estrutural do cabo.

De acordo com Priscila, (2015), quanto aos projetos, o planejamento envolve inicialmente a coleta de dados precisos, como características da área geográfica, rotas de implantação, infraestrutura existente e possibilidade de reutilização, pontos de concentração das fibras, tipo de superfície das ruas e decisões estratégicas influenciadas pela demanda, tipos de clientes, desejo de aderência e histórico de adoção aos serviços oferecidos, seguido pela análise dos custos unitários da obra civil, material, instalação, testes, manutenção, energia para alimentação da rede e custo por casa passada.

Uma vez instalado o sistema é importante destacar a geração de resíduos dessa atividade. Brasil *et al.*, (2020) apontam que os principais resíduos gerados na instalação são os restos de cabos, madeira proveniente das bobinas sucata de ferro e aço, papel, plástico e papelão. Os mesmos ainda apontam os cabos como sendo gerados em maior volume, uma vez que surgem tanto na etapa de instalação, quanto durante a operação por meio das manutenções realizadas

sob demanda. No próximo tópico serão apresentados conceitos acerca dos resíduos sólidos diante da realidade atual e os mecanismos que envolvem os processos de destinação.

2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS

Os resíduos sólidos sempre estiveram presentes na vida humana, mesmo antes de haver um conceito formal para eles.

Para se aprofundar do assunto faz-se necessário apresentar o conceito do termo resíduo Sólido. Segundo a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), pode ser classificado como sendo:

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)

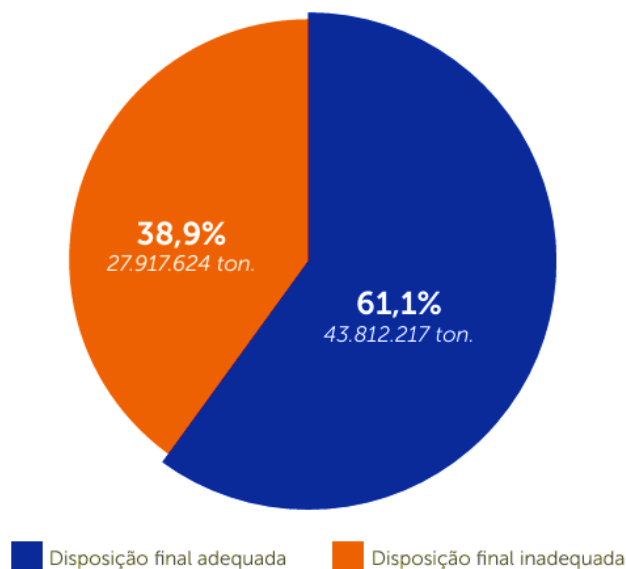
Com base na classificação do termo "resíduo", observa-se que, de forma geral, os resíduos são materiais provenientes das nossas atividades que não possuem mais utilidade e requerem destinação adequada. Esses resíduos são passíveis de tratamento e recuperação por meio de processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis. Por outro lado, surge o termo "rejeito", conforme definido pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que se refere a resíduos sólidos para os quais não há possibilidade de tratamento ou recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, sendo sua única opção a disposição final ambientalmente adequada (Brasil, 2010).

É importante compreender o termo "rejeito" para conscientizar-nos de que a disposição final adequada deve ser reservada apenas para materiais que não possuam mais nenhuma possibilidade de retornar à natureza ou ao ciclo produtivo. Para os demais materiais, devemos assumir a responsabilidade de buscar tecnologias eficientes que permitam sua destinação e aplicação.

Com base no entendimento desses conceitos e na presença dos resíduos ao longo da história, seria razoável esperar um desenvolvimento mais avançado e abrangente dos métodos e tecnologias de tratamento de resíduos, tanto em âmbito nacional quanto global. No entanto, os dados do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2023, divulgado pela Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA,2023), revelam uma realidade distinta em relação ao

acesso da população a esses mecanismos no ano de 2022. A Figura 2.4 a seguir apresenta a porcentagem de destinação adequada dos resíduos na prática.

Figura 2.4: Disposição final adequada × inadequada de RSU no Brasil em 2022

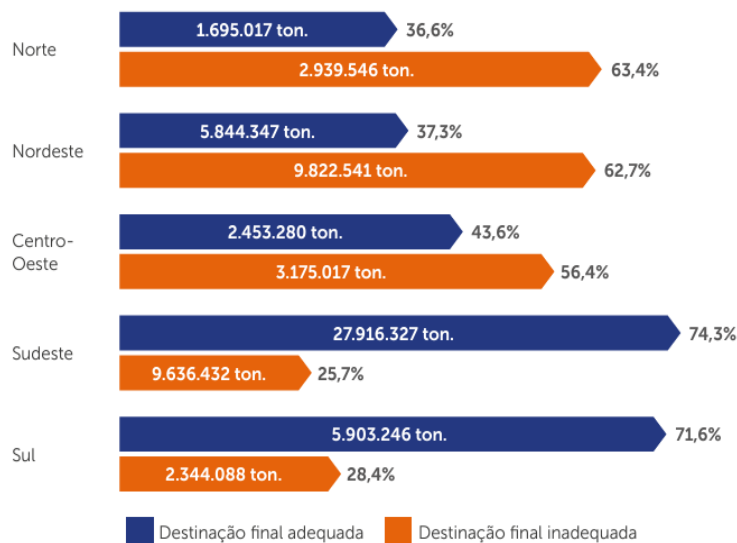


Fonte: ABREMA, 2023

Os dados apresentados na Figura 2.4, mostram uma situação ainda preocupante em relação ao gerenciamento dos resíduos sólidos, uma vez que quase 40% dos resíduos ainda recebem disposição final inadequada. Entre os fatores sociais que influenciam nesse cenário, destaca-se o envolvimento direto da população. Esse envolvimento pode ser percebido de três maneiras distintas. Em primeiro lugar, refere-se à participação ativa das pessoas na separação e na destinação apropriada dos resíduos, incluindo a prática de reciclagem e a adesão à coleta seletiva. Além disso, há a reciclagem informal realizada pelos "catadores", que desempenham um papel crucial na recuperação de materiais recicláveis (Paffrath, 2019)

A disparidade na gestão dos resíduos sólidos entre diferentes regiões do Brasil é evidenciada pela Figura 2.5 do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (ABREMA, 2023). Enquanto algumas regiões alcançam taxas de destinação adequada de cerca de 75%, outras não conseguem superar os 37%. Isso ressalta a necessidade urgente de evolução na gestão dos resíduos sólidos em todo o país, implementando políticas mais eficazes para garantir a destinação e o aproveitamento sustentável dos resíduos. Ainda há muito a ser feito para promover uma abordagem mais consciente e sustentável em relação aos resíduos no Brasil.

Figura 2.5: Disposição final adequada × inadequada de RSU nas Regiões do Brasil em 2022.



Fonte: ABREMA, 2023

Após discutir o conceito de resíduo e apresentar o panorama dos resíduos no Brasil, fica evidente a importância crucial das legislações ambientais para aprimorar a gestão de resíduos, promovendo a articulação entre os órgãos federativos para uma administração correta no manejo e tratamento desses materiais. A implementação de técnicas ecológicas e sustentáveis representa um desafio global (Zanardi *et al.*, 2021). A próxima seção abordará as principais legislações brasileiras relacionadas à gestão de resíduos sólidos, explorando seu papel na promoção de práticas mais eficientes, inclusivas e ambientalmente conscientes em todo o país.

2.2.1 Legislação Brasileira

A proteção ambiental é uma responsabilidade compartilhada entre a União, os Estados e os Municípios no Brasil. Isso inclui diversas competências, tais como a proteção de documentos, paisagens naturais notáveis e sítios arqueológicos; o combate à poluição em todas as suas formas; e a preservação das florestas, fauna e flora. Essas medidas visam garantir o equilíbrio entre o desenvolvimento e o bem-estar em todo o território nacional (Brasil, 1988).

A partir da promulgação da Constituição Federal de 1988, que atribuiu responsabilidades específicas ao poder público no que diz respeito ao meio ambiente, teve início uma busca mais intensa por regulamentações e pela criação de legislações ambientais no Brasil.

De acordo com Silva; Silva; Borges (2019), o sistema de gestão ambiental implementado no país foi desenvolvido e refinado ao longo dos diferentes períodos históricos

do Brasil, adaptando-se aos contextos políticos e sociais de cada época. Esse processo incluiu não apenas a evolução do sistema de gestão ambiental, mas também o avanço e a promulgação de outras leis ambientais importantes que temos hoje em dia. Dentre as principais regulamentações e documentos técnicos voltados a logística de resíduos sólidos temos:

- Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS): Instituída pela Lei Federal nº 12.305/2010, representa o principal referencial normativo relacionado aos resíduos sólidos no Brasil. Essa legislação estabelece princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes para promover a gestão integrada e o gerenciamento ambientalmente correto dos resíduos sólidos;
- Resolução CONAMA 358/2005: Apresenta os procedimentos e critérios para o licenciamento ambiental de atividades relacionadas ao gerenciamento de resíduos sólidos;
- Resolução CONAMA 430/2011: Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementando a legislação ambiental sobre resíduos;
- Lei dos Crimes Ambientais (Lei Federal nº 9.605/1998): Define as infrações e penalidades relacionadas a atividades lesivas ao meio ambiente, incluindo disposições sobre resíduos sólidos;
- Lei de Saneamento Básico (Lei Federal nº 11.445/2007): Embora não seja exclusivamente voltada para resíduos sólidos, esta lei trata dos serviços públicos de saneamento básico, incluindo o manejo de resíduos sólidos urbanos;
- Normas Técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): Existem diversas normas técnicas que estabelecem procedimentos e requisitos para o gerenciamento de resíduos sólidos, como a NBR 10004 - Classificação de Resíduos e a NBR 13896 Armazenamento de Resíduos Sólidos Perigosos;
- Legislações Estaduais e Municipais: Além das normas federais, cada estado e município pode ter legislação específica sobre resíduos sólidos, incluindo planos de gestão e regulamentos locais;

Apesar da existência de diversas legislações ambientais, ainda não alcançamos o objetivo de melhorar efetivamente a situação ambiental. O processo de evolução da legislação ambiental é contínuo e requer melhorias constantes, especialmente no que diz respeito ao apoio à execução das leis, como a fiscalização e o fortalecimento do corpo técnico dos órgãos

responsáveis. Ao longo da história constitucional brasileira, houve avanços e aprimoramentos na legislação ambiental. No entanto, as ações dos governantes muitas vezes enfraquecem os sistemas de gestão e licenciamento ambiental, devido à flexibilização das leis já estabelecidas, o que resulta no retrocesso das conquistas nesta área (Moreira *et al.*,2021).

Apesar dos desafios enfrentados com as legislações ambientais, podemos usar o conhecimento adquirido até agora para avaliar nossa situação em relação aos resíduos, identificando lacunas e necessidades no sistema de gestão de resíduos. No próximo tópico, discutiremos a classificação dos tipos de resíduos e como essa categorização nos ajuda a entender melhor a natureza e os desafios associados a diferentes materiais descartados. Essa abordagem integrada nos permitirá desenvolver estratégias mais eficazes para lidar com os resíduos e avançar em direção a práticas de gestão ambiental mais sustentáveis.

2.2.2 Classificação dos resíduos

O termo classificar um resíduo assume a responsabilidade de organizar os materiais em conjuntos segundo as suas características, frente a isso diversos pesquisadores desenvolveram estudos com o intuito de apresentar classificações para os materiais. Por meio de buscas na literatura foi possível analisar tais processos e os materiais encontrados são apresentados no Quadro 2.1.

Quadro 2.1: Literaturas que apresentam modelos de classificações de resíduos

FORMA DE CLASSIFICAÇÃO	TRABALHO/ FONTE
Periculosidade dos materiais	Norma NBR 10.004:2004 - Resíduos sólidos – Classificação
Origem do material	Lei no 12.305/2010 - Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.
Degradabilidade e composição química do material	Bertollo, (2019)

Fonte: Autor, 2024.

Iniciando pela norma ABNT NBR 10.004:2004 (ABNT, 2004), os resíduos sólidos podem ser categorizados da seguinte forma:

- Classe I, que engloba os resíduos perigosos caracterizados por aspectos físicos, químicos ou infectocontagiosos, representando riscos à saúde coletiva e ao meio ambiente, como os provenientes de laboratórios que manipulam produtos químicos em atividades experimentais;
- Classe II A refere-se aos resíduos não inertes, que são combustíveis, biodegradáveis ou solúveis em água, incluindo resíduos domésticos como os produzidos em cozinhas, cantinas, além de materiais orgânicos e de madeira;
- Classe II B que diz respeito aos resíduos inertes que não oferecem riscos à saúde ou ao meio ambiente e cujos componentes solubilizados em água destilada ou deionizada, a temperatura ambiente, não excedem os padrões de potabilidade da água, como ferro, aço, isopor, borrachas, latas de alumínio e vidros.

Para determinar se um resíduo deve ser considerado perigoso, são avaliadas diversas características, tais como inflamabilidade, corrosividade, reatividade e patogenicidade. Com base nessas características, os resíduos são codificados de acordo com a norma ABNT NBR 10.004 (BRASIL, 2004) como indicado a Tabela 2.1.

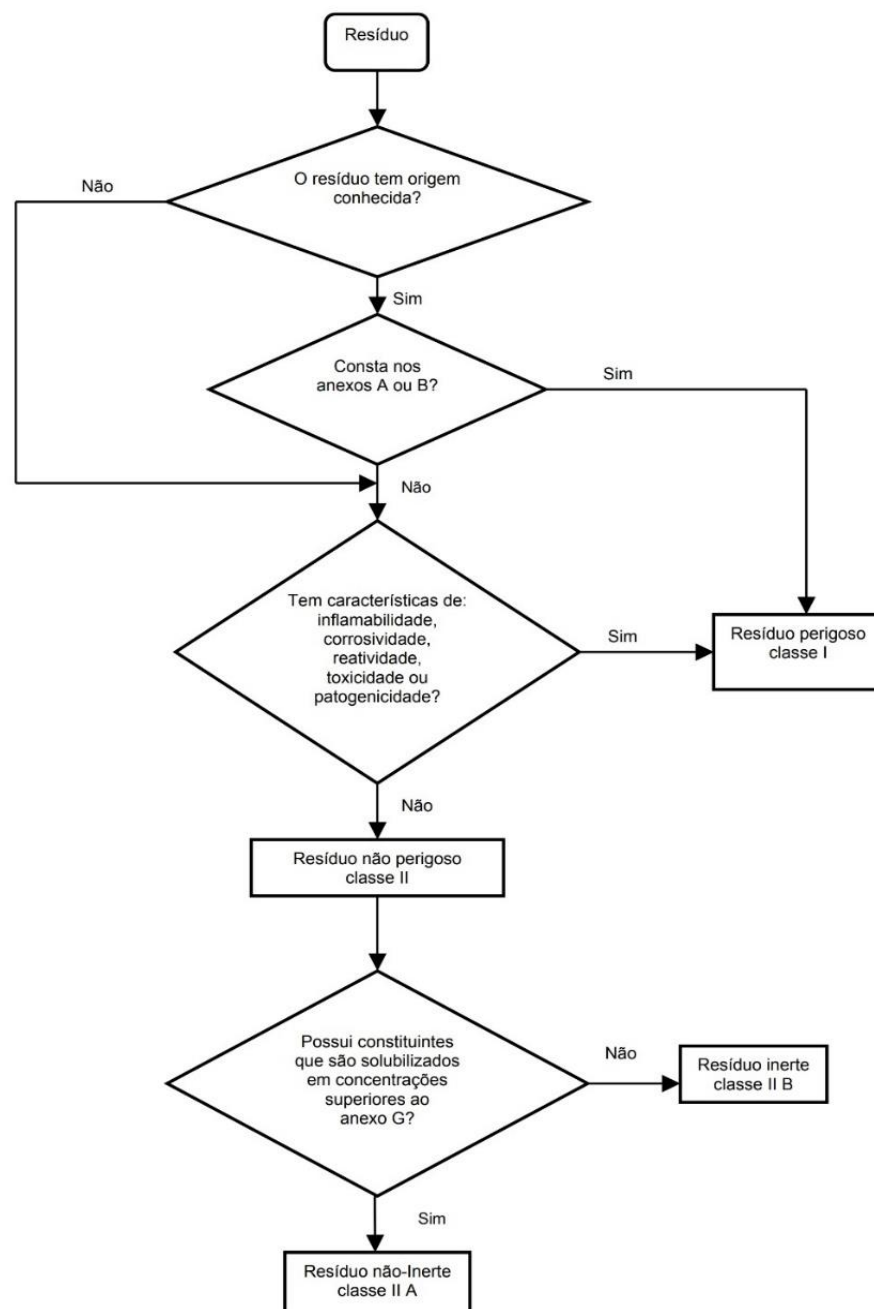
Tabela 2.1: Código de classificação quanto a periculosidade

Código	Classificação
D001	Qualifica o resíduo como inflamável
D002	Qualifica o resíduo como corrosivo
D003	Qualifica o resíduo como reativo
D004	Qualifica o resíduo como patogênico
D005	Qualifica o resíduo como tóxico
D052	Qualifica o resíduo como tóxico

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 10004:2004

Diante das informações das classificações impostas pela norma NBR 10.004, é importante compreender o processo para enquadrar um material específico dentro dessas categorias. Para auxiliar nesse processo, a norma apresenta um procedimento padrão que pode ser útil para esse fim, conforme ilustrado na Figura 2.6. Para compreender as informações apresentadas, é fundamental entender os anexos da NBR ISO 14001:2004, nos quais são listadas substâncias com códigos de identificação.

Figura 2.6: Caracterização e classificação de resíduos



Fonte: ABNT NBR 10004:2004

Segundo a mesma norma os resíduos ou substâncias listadas nos anexos A, B, D, E, F e H são codificados com uma letra seguida de três dígitos para indicar suas características e origens. Os resíduos perigosos do anexo A são codificados com a letra F, originando-se de fontes não específicas, enquanto os do anexo B são codificados com a letra K, provenientes de fontes específicas. Além disso, as letras P (anexo D) e U (anexo E) identificam substâncias cuja presença confere periculosidade aos resíduos devido à sua característica de toxicidade. Os demais anexos apontam outras classes de materiais ou substâncias.

Com base no diagrama mostrado na Figura 2.6, é viável categorizar o resíduo como Classe I, IIA ou IIB. No entanto, a classificação fornecida pela norma NBR é bastante concisa, indicando apenas se o resíduo é perigoso ou não, e, se não for, se ele reage ou não com o meio ambiente. Diante dessa limitação, existem diversas possibilidades de classificação e caracterização para resíduos descritas na literatura e em legislações específicas. (Pereira, 2019)

Outro modelo de classificação é quanto sua origem, apresentado na Lei nº 12.305/2010 (Brasil, 2010), no Título III – Das diretrizes aplicáveis aos resíduos sólidos, nos seguintes termos:

- a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas “a” e “b”;
- d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;
- e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”;
- f) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
- h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- i) resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- j) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;

Há ainda outras classificações amplamente utilizados na prática que são apresentadas na literatura, os quais variam de acordo com a finalidade de análise, como as apresentadas por Bertollo (2019), que podem ser classificados de acordo com a composição química e degradabilidade, como mostra o Quadro 2.2.

Quadro 2.2: Classificações de resíduos perante a degradabilidade e a composição química.

CARACTERÍSTICA	CLASSIFICAÇÃO
Composição química	Resíduos Orgânicos
	Resíduos inorgânicos
Degradabilidade	Facilmente degradável
	Degradável
	Pouco degradável
	Difícilmente degradável
	Não Degradável

Fonte: Adaptado de Bertollo, 2019.

Essas categorias são importantes para compreender a natureza dos resíduos sólidos e determinar os métodos mais adequados de tratamento e disposição ambientalmente correta.

2.2.3 Métodos de Destinação de Resíduos e Rejeitos

Quando se aborda o tema da destinação de resíduos, é comum associá-lo rapidamente ao termo "aterro sanitário". No entanto, o conceito de destinação no contexto de resíduos é muito mais amplo e abrange uma variedade maior de possibilidades. Os resíduos podem ser encaminhados para destinações adequadas antes de serem destinados diretamente à disposição final.

Para iniciar, é importante diferenciar os termos "destinação final ambientalmente adequada" e "disposição final ambientalmente adequada" por meio de uma abordagem interpretativa e sistemática. Isso incluirá a análise dos dispositivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que definem esses termos (art. 3º, VII, VIII), com ênfase no contexto geral dessa interpretação em relação à própria legislação em que esses termos estão inseridos (Ramos *et al.*, 2020). Essa abordagem permitirá uma compreensão mais clara das nuances e

implicações desses conceitos dentro do contexto legal e ambiental, fornecendo assim uma base sólida para análises e discussões subsequentes.

No art. 3º, VII e VIII da PNRS (Brasil, 2010) são apontadas as seguintes classificações:

VII -Destinação final ambientalmente adequada: destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do SISNAMA, do SNVS e do SUASA, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos;

VIII -Disposição final ambientalmente adequada: distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos

Ao se analisar os termos apresentados e considerando a classificação de resíduos e rejeitos, torna-se essencial explorar diferentes alternativas para encaminhar os resíduos, garantindo que sejam devidamente tratados até que todas as possibilidades de reaproveitamento, reciclagem ou valorização sejam esgotadas. Somente então, quando não houver mais viabilidade de aproveitamento, os resíduos devem ser direcionados para uma disposição final ambientalmente correta. Neste tópico, abordaremos as principais formas de destinação de resíduos conforme descritas no art. 3º da PNRS (Brasil, 2010).

2.2.3.1 Reutilização

Segundo o artigo 3º, capítulo XVIII do PNRS (Brasil, 2010), a palavra reutilização descreve o processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem que haja transformação biológica, física ou físico-química desses materiais. Esse aproveitamento deve ser realizado de acordo com as condições e padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama e, quando aplicável, do SNVS e do SUASA.

O termo "reuso" engloba o aproveitamento de materiais ou itens que possuem qualidades reutilizáveis, independentemente de manterem ou não sua função original (Velicko *et al.*, 2020). Um exemplo ilustrativo desse conceito é a utilização de paletes de madeira na construção de móveis. Nesse caso, os paletes são reaproveitados em sua forma original e aplicados de maneiras criativas e variadas, conferindo-lhes uma nova utilidade. Abdul-Rahman, (2014) apresenta outras formas de reuso, tais como:

Papéis de embrulho, sacos plásticos, caixas e madeira podem ser reaproveitados em casa ou em projetos escolares, enquanto roupas velhas podem ser doadas para amigos ou instituições de caridade. Eletrodomésticos quebrados podem ser direcionados a escolas profissionalizantes para uso em aulas de arte ou reparos, e móveis antigos podem ganhar nova vida ao serem estofados ou revestidos. Livros e revistas podem ser doados para escolas, bibliotecas ou lares de idosos, jornais usados para pet shops, e pneus velhos podem ser reutilizados em jardins ou jardins.

Se falarmos de vantagens da reutilização, tomando como base o exemplo dos paletes Martins (2017) e Barbosa (2017) ressaltam os benefícios nos três pilares da sustentabilidade. Na esfera econômica, observa-se geração de renda, redução de custos e criação de novos mercados. Sob a perspectiva ambiental, há uma diminuição das emissões de gases poluentes, da poluição do solo e da pressão sobre os recursos hídricos. Já no âmbito social, a reutilização dos paletes contribui para a geração de empregos. Esses aspectos estão intrinsecamente ligados ao ciclo de fabricação, venda e rotatividade dos materiais elaborados com paletes.

Assim como os paletes, outras formas de reutilização de materiais podem trazer benefícios semelhantes ou até superiores. Para avaliar esses benefícios, é fundamental analisar cada situação de maneira individual, levando em consideração as características específicas de cada material ao longo de seu ciclo produtivo, consumo e fase pós-consumo.

2.2.3.2 Reciclagem

A reciclagem é um processo semelhante à reutilização, pois envolve a utilização de resíduos ou materiais para gerar novos produtos ou reintegrá-los ao ciclo de uso. No entanto, a reciclagem difere ao modificar as propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas dos resíduos sólidos, visando transformá-los em insumos ou novos produtos. Esse processo deve seguir as condições e padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama e, se aplicável, do SNVS e do SUASA (Brasil, 2010).

A reciclagem é realizada de forma específica para cada tipo de material, levando em consideração suas características individuais. Cada material passa por tratamentos distintos, adequados à sua composição e propriedades, para ser transformado novamente em matéria-prima utilizável pela indústria. Esse processo adaptativo e personalizado é essencial para garantir a eficácia da reciclagem e maximizar o aproveitamento dos materiais reciclados.

Assim como nem todos os materiais podem ser reutilizados devido às suas condições, nem todos os materiais são recicláveis. Dependendo de como foram utilizados e para que fins, os resíduos remanescentes podem contaminar outros materiais recicláveis de forma prejudicial. Portanto, é crucial realizar uma seleção criteriosa dos materiais a serem reciclados (Krauczuk, 2019). Sendo materiais potencialmente recicláveis os papéis, plásticos, vidros, metais e orgânicos (Pernambuco, 2010).

Para assegurar a eficiência da reciclagem, são adotados diversos processos que envolvem desde a coleta até a transformação dos materiais recicláveis. Esses processos são apresentados na Figura 2.7.

Figura 2.7: Fluxo para reciclagem de resíduos eficiente.



Fonte: Autor (2024)

Como visto na Figura 2.7, inicialmente, é essencial realizar a coleta dos materiais recicláveis, separando-os dos resíduos comuns. Após a coleta, os materiais recicláveis são triados para separar diferentes tipos de materiais, como plásticos, metais, vidros e papéis. Em seguida, materiais recicláveis devem ser limpos para remover impurezas, como restos de alimentos ou contaminantes. Isso é essencial para garantir a qualidade dos materiais a serem reciclados. Os materiais limpos e separados são processados para prepará-los para reciclagem. Neste ponto pode acontecer a trituração, derretimento ou desfibramento dos materiais, dependendo do tipo de material reciclável. Por fim, os materiais processados são transformados em novos produtos ou matérias-primas que podem ser reintroduzidos na cadeia produtiva.

Durante esse fluxo diversos fatores e personagens estão atrelados, um destes são os catadores de materiais recicláveis que são responsáveis pela coleta, separação e venda dos resíduos que retornam à indústria. As atividades de catação e separação dos resíduos sólidos

podem ser desempenhadas em diversos locais (lixões, ruas e cooperativas) e de diferentes maneiras (Silva, 2021).

Os catadores realizam um trabalho intensivo em mão-de-obra, de baixa tecnologia, mal remunerado, não registrado e não regulamentado em algumas situações, muitas vezes realizado por indivíduos ou grupos familiares, como forma de obtenção de única renda familiar e apesar das condições de trabalho particularmente adversas associadas aos também chamados de recicladores informais, é importante reconhecer que isso permite que os envolvidos sobrevivam e sejam empregados em regiões que frequentemente apresentam um elevado desemprego (Wilson; Velis; Cheeseman, 2006).

Outro fator preponderante para garantir um melhor aproveitamento dos materiais recicláveis é a implementação de uma política de coleta seletiva. Conforme definido na PNRS, a coleta seletiva envolve a separação prévia dos resíduos sólidos de acordo com sua constituição ou composição. Ao contrário da coleta convencional, na qual todos os resíduos são misturados, na coleta seletiva os materiais recicláveis são separados na fonte geradora, facilitando o trabalho dos catadores e aumentando a eficiência do processo de reciclagem.

Como se pode observar a reciclagem dos materiais impacta diretamente a questão social ao possibilitar a geração de renda para um grande número de pessoas em todos os estados do país. A questão dos catadores de materiais recicláveis é fundamental para viabilizar a reciclagem e, conseqüentemente, preservar o uso de novos materiais virgens, além de prolongar a vida útil dos aterros sanitários e outros modelos de aterros ainda existentes no Brasil. Parcerias entre as administrações municipais e cooperativas ou associações de catadores podem contribuir significativamente para o eficiente gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos no Brasil (Martins, 2017)

2.2.3.3 Compostagem

A Resolução nº 481 de 2017 (Brasil, 2017), criada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) define compostagem como:

Compostagem: processo de decomposição biológica controlada dos resíduos orgânicos, efetuado por uma população diversificada de organismos, em condições aeróbias e termofilias, resultando em material estabilizado, com propriedades e características completamente diferentes daqueles que lhe deram origem.

Em outras palavras, Jesus (2014) define a compostagem como sendo um processo no qual a matéria orgânica putrescível, como restos de alimentos, aparas e podas de jardins, é degradada biologicamente, resultando em um produto que pode ser utilizado como adubo. Essa técnica possibilita o aproveitamento dos resíduos orgânicos, que representam mais da metade do lixo domiciliar. A compostagem pode ser realizada tanto em escala doméstica, em casa, quanto em unidades de compostagem maiores, contribuindo para a redução do desperdício e para a produção de um recurso valioso para a agricultura e jardinagem.

2.2.3.4 Aterros Sanitários

Antes de se trazer o conceito de aterro sanitário, é importante destacar ainda a presença dos lixões, que são uma forma de disposição de resíduos sólidos em que estes são lançados diretamente no solo e recobertos com terra, uma forma não indicada e causam danos ao meio ambiente. Os lixões, além de problemas ambientais, problemas sanitários com a proliferação de vetores de doenças, também se constituem em sério problema social, porque acabam atraindo os "catadores", indivíduos que fazem da catação do lixo um meio de sobrevivência, muitas vezes permanecendo na área do aterro, em abrigos e casebres, criando famílias e até mesmo formando comunidades neste ambiente que não é salubre (Monteiro *et al.*, 2001).

Diante da necessidade de destinação final a ABNT NBR 8419 (Brasil, 1992), aponta o surgimento do aterro como técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública, minimizando os impactos ambientais, método esse que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho ou a intervalos menores, se necessário. Ainda, o Ministério do meio ambiente traz o seguinte conceito para aterros sanitários:

O aterro sanitário é uma obra de engenharia projetada sob critérios técnicos, cuja finalidade é garantir a disposição dos resíduos sólidos urbanos sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente. É considerado uma das técnicas mais eficientes e seguras de destinação de resíduos sólidos, pois permite um controle eficiente e seguro do processo e quase sempre apresenta a melhor relação custo-benefício. Pode receber e acomodar vários tipos de resíduos, em diferentes quantidades, e é adaptável a qualquer tipo de comunidade, independentemente do tamanho. O aterro sanitário comporta-se como um reator 2 dinâmico porque produz, através de reações químicas e biológicas, emissões como o biogás de aterro, efluentes líquidos, como os lixiviados, e resíduos mineralizados (húmus) a partir da decomposição da matéria orgânica. (Brasil, 2007)

Como é entendido nas definições, ao contrário dos lixões estes apresentam áreas com preparo para receber os resíduos, onde se realiza o controle das substâncias contaminantes por meio da impermeabilização do solo, que impede o vazamento de chorume e possibilita a captação do gás metano, liberado pela decomposição de matérias orgânicas e cujo aproveitamento pode ser feito por meio da transformação em energia (Creutzberg; Ferrari; Engelage, 2019).

A construção de um Aterro é um processo bastante complexo, uma vez que envolve a escolha de um lugar para a construção, planejamento, organização, coleta seletiva, separação para a reciclagem, armazenamento temporário e a operação (Da Silva; & Cervieri, 2015). Todos esses fatores influenciam diretamente nos custos e bom funcionamento do aterro, estes podem influenciar inclusive no período de sua vida útil. Segundo Da Silva; & Cervieri (2015) A vida útil de um aterro depende da quantidade de lixo depositado, com uma duração média estimada entre 20 e 25 anos. É importante destacar que os aterros são destinados exclusivamente a rejeitos, o que inclui uma pequena parcela dos resíduos sólidos. Quando resíduos reaproveitáveis são indevidamente enviados para os aterros, isso prejudica o planejamento do projeto e gera um impacto negativo.

Os aterros sanitários ainda não são uma realidade abrangente em nosso país, isso se dá pelas dificuldades de se implantar um aterro sanitário, uma vez que requer a contratação de um projeto específico de engenharia sanitária e ambiental e exige um investimento inicial relativamente elevado, mas também pela rejeição natural que qualquer pessoa tem ao saber que irá morar próximo a um local de acumulação de lixo (Monteiro *et al.*, 2001).

2.2.3.5 Aproveitamento Energético

O termo aproveitamento energético atribui-se ao uso da biomassa dos resíduos com forma de obtenção de energia ou do uso de subprodutos da sua decomposição como o da geração de gases, que posteriormente são convertidos em energia por sua queima. Esse aproveitamento pode ser aplicado em conjunto com alguns processos como a compostagem e os aterros sanitários, ou isoladamente como é o caso da incineração da matéria final.

Na compostagem ou biodigestão ocorre a liberação de gases, conhecido popularmente como biogás que é uma mistura gasosa com predominância do gás metano resultante da fermentação de resíduos orgânicos (dejetos de animais, resíduos vegetais, etc.), na ausência

de oxigênio (Campos; Pacheco; Pinheiro, 2022). Tais gases, assim como os gases gerados nos aterros sanitários podem ser inseridos na indústria para geração de energia ou calor.

A incineração de resíduos para geração de energia é uma tecnologia comprovada que permite o aproveitamento de uma grande variedade de resíduos e a produção de eletricidade e calor não intermitentes de forma descentralizada (Themelis *et al.*, 2013). Entretanto, as emissões da combustão de resíduos contêm gases de efeito estufa (GEE) e compostos tóxicos que devem ser tratados e ainda existe a formação de cinzas que devem ser gerenciadas para não gerar poluição (Desclaux, 2023).

Estas alternativas apresentam-se também viáveis principalmente no caso dos resíduos orgânicos que não entram na cadeia de reciclagem, entretanto como mencionado anteriormente os custos de implantação são altos em algumas realidades e é necessário realizar a estanqueidade dos instrumentos para que não se haja prejuízos ambientais e haja eficiência na geração energética.

2.2.3 Logística reversa

Após toda a conceituação de resíduos sólidos e todas as possíveis destinações realizada nos tópicos anteriores, é importante apontar quanto a geração e a responsabilidade dos resíduos gerados no caso dos resíduos provenientes da indústria. Segundo a PNRS (Brasil, 2010) é de responsabilidade das empresas realizarem a correta destinação dos seus resíduos, esta regulamenta o uso de ferramentas, os mecanismos e programas que as empresas devem executar para gerir corretamente o descarte e tratamento de seu lixo.

Diante da necessidade de correta destinação conforme a legislação, surge nas empresas a terminologia logística reversa. Nas empresas, a logística refere-se ao processo de planejar, implementar e controlar a eficiência e a eficácia dos fluxos e armazenagem de produtos, serviços e informações associadas, desde o ponto de origem até o ponto de consumo, em conformidade com as exigências dos clientes (Stock; Mulki, 2009). Pensando desta forma a logística reversa se enquadraria como sendo todo o processo do produto após consumo até a volta a origem.

Neste sentido, a logística reversa seria responsável prioritariamente por minimizar a poluição ambiental e o desperdício de insumos, promovendo a reutilização e reciclagem de produtos e facilitando a reintegração de materiais descartados na cadeia produtiva, como papel,

papelão, paletes de madeira e plástico, demonstrando um compromisso com a sustentabilidade e a economia circular (Shibao, *et al.*, 2010).

A implementação da logística reversa em uma empresa pode resultar em maior eficiência, diminuição dos custos relacionados à aquisição de matérias-primas virgens e incremento das margens de lucro (Sathiyagothai; Saravanan, 2017). Assim, esta transcende seu papel como um simples requisito legal ou socioambiental, integrando-se à estratégia empresarial e estabelecendo-se como um elemento essencial para o sucesso organizacional, contribuindo para a eficiência operacional a longo prazo. (De Paula; Feroni, 2021).

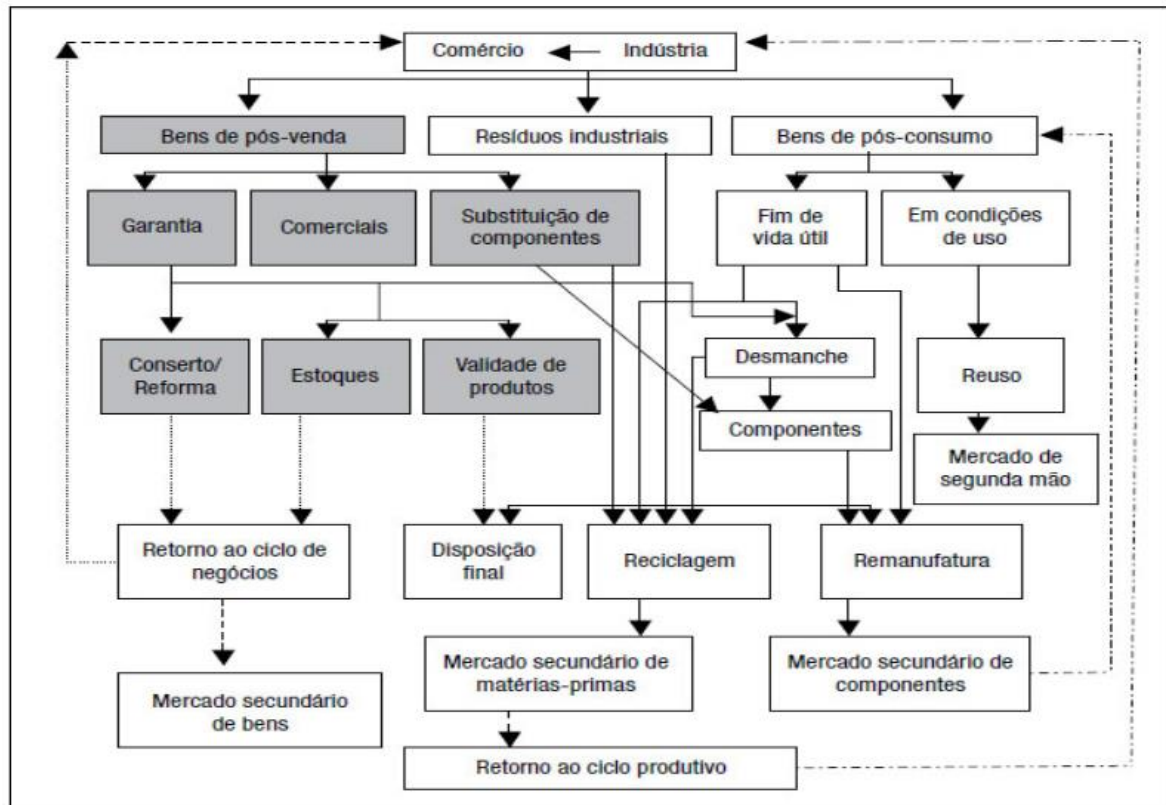
A logística reversa implica que a organização se comprometa com todas as etapas do ciclo de vida de seus produtos, desde a seleção de materiais e embalagens ambientalmente adequados até o processo de descarte ou reciclagem, demonstrando um compromisso integral com questões ambientais (Johann; Cavalheiro, 2023).

Para que se tenha eficiência no planejamento da logística reversa é importante conhecer o fluxo de movimentação de materiais que incorporam os serviços da empresa. Na Figura 2.8 é apresentado um modelo de processo apresentado por Leite (2009), onde podem ser observadas as principais gerações de resíduos e os processos que esses podem ser submetidos, dentro de um ciclo fechado retornando a indústria.

Observando a Figura 2.8 a seguir é importante destacar duas terminologias, os termos de resíduos de pós-venda e pós-consumo. Segundo Akabane; Bussola, (2022) no caso do pós-venda abrange tanto os fluxos físicos quanto os lógicos dos produtos e serviços, incluindo descartes e discrepâncias no ponto de consumo, esses itens podem seguir para reciclagem, recondicionamento, reparo ou serem tratados como refugo, retornando ao estoque ou passando por processos intermediários ou finais.

No pós-consumo, trata-se dos produtos descartados pela sociedade que geralmente estão no fim de sua vida útil devido à obsolescência, exigindo gestão adequada conforme a legislação de responsabilidade compartilhada (Akabane; Bussola, 2022)

Figura 2.8: Processo de logística reversa



Fonte: Leite (2009)

Analisando o processo é importante destacar que as possibilidades para destinação final estudados nos tópicos anteriores estão envolvidos diretamente na logística reversa e que são estes são ferramentas que garantem a eficiência na cadeia produtiva e a economia de matérias primas dos insumos utilizados.

Capítulo 3

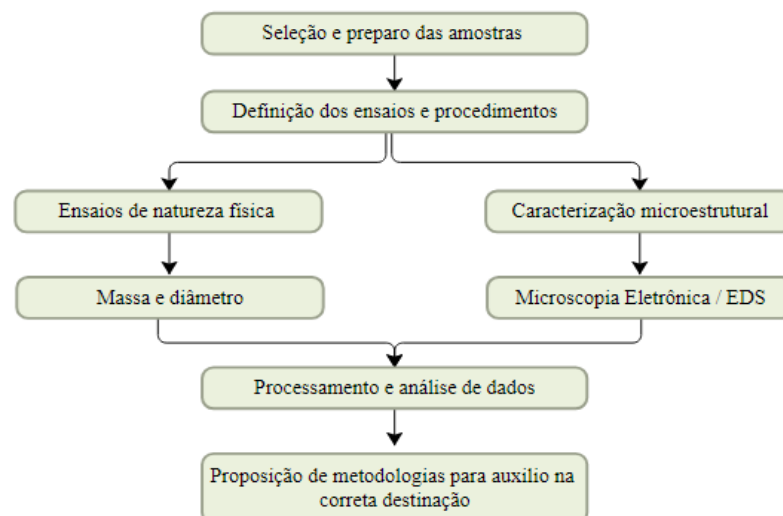
MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho é fundamentado na necessidade de conhecimento sobre os materiais presentes nos cabos de fibra óptica pós-uso, resultando na escolha de uma pesquisa exploratória. Segundo Tuane (2022), esse tipo de pesquisa é essencial no início das investigações, pois ao entender melhor a problemática a ser estudada, é possível refinar adequadamente a pergunta de pesquisa, selecionar os instrumentos de coleta de dados de forma mais precisa e organizar eficientemente o uso do tempo e dos recursos.

Quanto aos procedimentos técnicos utilizados, a metodologia assume a forma de um estudo de caso, uma vez que consiste no estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira que permita um amplo e detalhado domínio do conhecimento (Martelli *et al.*, 2020). Neste, com caráter quantitativo e qualitativo, já que busca caracterizar e quantificar os materiais presentes na estrutura de cabos de fibra pós-uso.

A Figura 3.1 apresenta o delineamento do trabalho. Para realização da caracterização dos cabos de fibra óptica, visando a sua destinação, inicialmente foi necessário realizar uma busca pelos trabalhos já disponíveis na literatura com o intuito verificar o que já se foi abordado sobre a temática. Em seguida foi observada a demanda de informações que seriam pertinentes para o conhecimento do material, seguido pela escolha dos procedimentos a serem realizados culminando no preparo das amostras e realização dos experimentos.

Figura 3.1: Delineamento da pesquisa



Fonte: Autor, 2024.

3.1 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

3.1.1 Coleta das Amostras

Foram retiradas 3 amostras com tamanho indefinido aleatoriamente do montante de cabos de fibra óptica pós-uso para garantir representatividade. Essas amostras foram dos modelos de 2, 6, 12, 24, 36, 48, 96, 144 e cabos utilizados para o vão de 80 metros, de um mesmo fabricante de cabos. Estes modelos foram selecionados com o intuito de garantir uma representatividade e um padrão. Desta forma, com base nas informações repassadas pelo fornecedor, estes modelos são amplamente utilizados.

3.1.2 Preparação das Amostras:

Em posse das amostras retiradas, com auxílio de uma régua foram marcados os pontos de corte tendo em vista obter 3 amostras com 30 cm de comprimento de cada modelo de cabo.

Antes do corte nas medidas exatas foi necessário realizar a retirada do guia, que realiza o corte longitudinal do cabo facilitando a sua abertura e a retirada dos seus componentes internos, como pode ser visto na Figura 3.2. Após a retirada do cabo foram realizados os cortes.

Figura 3.2: Retirada do guia para facilitar a abertura no cabo, neste caso o de 2 fibras

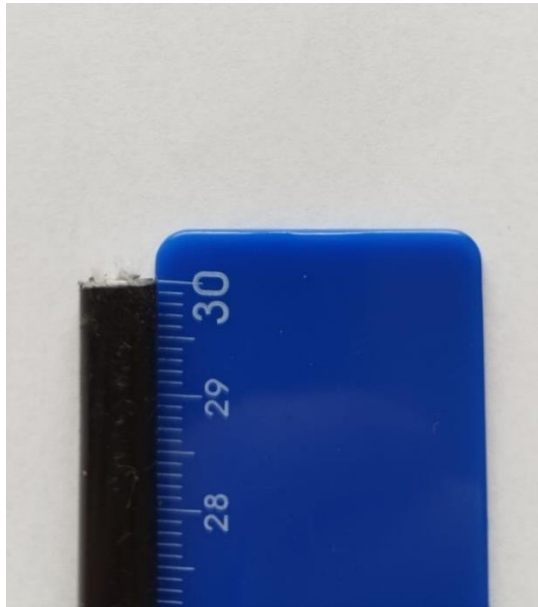


Fonte: Autor, 2024.

Para realização da aferição do diâmetro foram realizados 3 cortes nas amostras iniciais onde foram aferidos os comprimentos com o auxílio de uma régua, garantindo o comprimento

exato de 30 cm, como é representado na Figura 3.3, em seguida as amostras foram preparadas conforme os padrões de laboratório, removendo possíveis contaminantes externos.

Figura 3.3: Medição do corte das amostras



3.1.3 Análise dos Materiais: Aferição dos diâmetros

Com o auxílio de um paquímetro foi realizada a aferição das medidas do diâmetro dos 3 cortes do cabo, como é mostrado na Figura 3.4, em seguida os dados foram adicionados em planilha para organizar informações por modelo.

Figura 3.4: Aferição dos diâmetros, neste caso o cabo de 144 fibras.



Fonte: Autor, 2024

3.1.4 Análise dos Materiais: Aferição da massa dos componentes do cabo

De posse das amostras de cabos, que previamente foram cortadas com 30 cm foi iniciado o processo de separação dos componentes e foram abertos os cabos retirando os componentes internos e após separando-os por tipo de material semelhantes, como apresentando na Figura 3.5.

Figura 3.5: Separação dos componentes dos cabos, neste caso o cabo de 36 fibras



Fonte: Autor, 2024

Para identificação dos materiais, atribui-se uma nomenclatura “Material” e um número que varia de 1 à 10 (quantidade de materiais diferentes entre cabos). Além disso, para cada cabo as três amostras foram identificadas com A1, A2 e A3 representando o número da amostra. Isso favoreceu a organização e padronização entre os diferentes modelos estudados. Por exemplo, uma amostra recebeu a identificação “Material 1 – A2”, indicando que no cabo estudado se tem a presença do material número 1 e está sendo analisado suas características em sua segunda amostra.

Seguindo essa padronização, cada amostra de componente foi identificada e separada em embalagem plástica com descrição, como mostra na Figura 3.6, para posterior organização, esse processo foi repetido para todas as amostras.

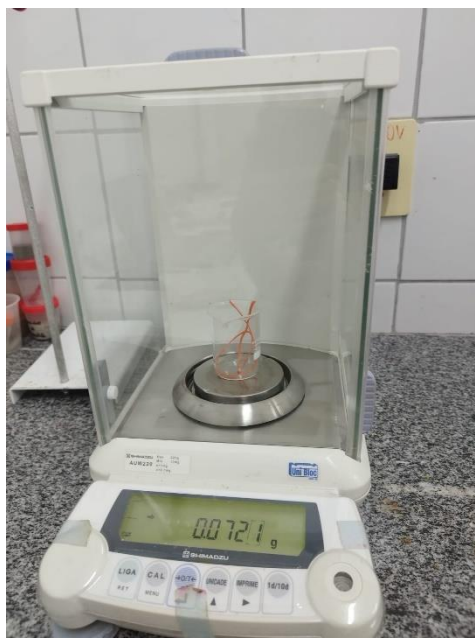
Figura 3.6: Amostra de Material identificado e embalado.



Fonte: Autor, 2024

O processo seguinte foi a pesagem dos materiais, realizada com auxílio de uma balança de precisão Balança Analítica M214AiH para ser obter a massa das amostras (Figura 3.7).

Figura 3.7: Pesagem dos componentes



Fonte: Autor, 2024

Foram anotadas as massas de cada um dos componentes tomando a descrição anteriormente citada para serem planilhados para realização dos tratamentos de dados. Também foram determinados os valores de médios e o desvio padrão da massa das amostras.

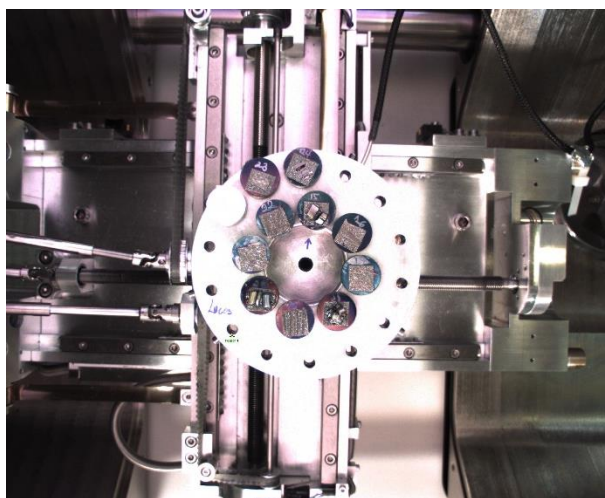
3.1.5 Caracterização microscópica

A análise microscópica foi realizada por meio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) acoplada à Espectroscopia por Dispersão de Energia (EDS) com o objetivo de detalhar as características superficiais dos materiais e investigar sua composição química elementar. O MEV permitiu uma observação detalhada da morfologia e topografia das superfícies, identificando possíveis defeitos, irregularidades ou características específicas relevantes para o estudo. Paralelamente, o EDS forneceu uma análise qualitativa dos elementos presentes na superfície, permitindo correlacionar a composição química com as propriedades observadas.

Essas análises foram realizadas no Laboratório de Caracterização Tecnológica (LCT) da Universidade de São Paulo (USP) e incluíram todos os materiais envolvidos no estudo, garantindo uma compreensão aprofundada de suas características. O equipamento utilizado foi o Microscópio eletrônico de varredura Stereoscan S440, da marca Leo, com sistemas de microanálise INCA (EDS/WDS), marca Oxford.

As amostras utilizadas tiveram dimensões de aproximadamente 1 centímetro de comprimento e foram preparadas previamente ao envio pro LCT. No laboratório as amostras foram identificadas e levadas ao equipamento em uma única montagem (Figura 3.8)

Figura 3.8: Suporte do equipamento com as 10 amostras acopladas



Fonte: Autor, 2024.

3.1.6 Elaboração de propostas de destinação

Para verificação das destinações dos materiais e sua caracterização foram realizadas buscas na legislação com o intuito de verificar recomendações de acordo com o tipo do material. Posteriormente foi realizada a busca na literatura em trabalhos científicos que apresentam em seu escopo a destinação de resíduos, a reciclagem de materiais e processos relacionados a sustentabilidade dentro do âmbito industrial.

Além disso, foram levantados trabalhos que apresentavam o conteúdo voltado às dificuldades de destinação de materiais, de forma a compreender não somente como destinar os resíduos, mas também visar remover as dificuldades que esse processo apresenta.

3.1.7 Elaboração de proposta de aplicação

Seguindo os objetivos do trabalho de direcionar a possíveis destinações dos materiais foi desenvolvido uma proposta de arquitetura de ferramenta, com finalidade informativa e integradora entre os geradores e destinadores. Para desenvolvimento desta proposta foi utilizado o sistema “Figma”, que permitiu a criação de interfaces e modelagem de uma proposta de aplicativo em funcionamento.

Para elaboração das interfaces foram tomadas as informações acerca dos cabos estudados neste trabalho, observando também as dificuldades encontradas na literatura visando o correto descarte de resíduos.

Capítulo 4

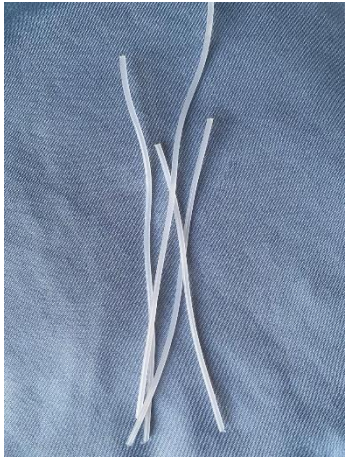
ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

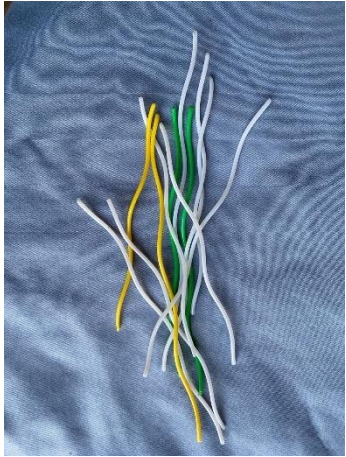
4.1 CARACTERIZAÇÃO VISUAL DO CABO

Os cabos apresentam uma diversidade de materiais em sua estrutura visando o reaproveitamento, foram separados os materiais dos cabos e realizado uma classificação visual comparando com as informações previamente fornecidas pelo fabricante, essas informações são apresentadas no Quadro 4.1.

Quadro 4.1: Caracterização visual dos cabos

MATERIAL	DESCRIÇÃO DE IDENTIFICAÇÃO VISUAL	CLASSIFICAÇÃO FORNECIDA PELO FABRICANTE	IMAGEM DO MATERIAL
M1	Capa preta que envolve todos os outros componentes, em alguns modelos ainda aparece em uma segunda cobertura na parte interna. Aparentemente trata-se de um polímero.	LDPE PRETO - Low Density Polyethylene – Polietileno linear de baixa densidade	
M2	Material que aparece recobrindo toda a circunferência interna do cabo, tem coloração amarelada e textura fibrosa. Tem finalidade de dar resistência a tração.	ARAMIDA FIO 3160 – fibra aramida utilizada como elemento de sustentação – cor amarela	

MATERIAL	DESCRIÇÃO DE IDENTIFICAÇÃO VISUAL	CLASSIFICAÇÃO FORNECIDA PELO FABRICANTE	IMAGEM DO MATERIAL
M3	Encontrado na maioria dos cabos praticamente no seu centro, apresenta-se em formato de bastão rígido de coloração branca e que libera pequenas partículas de material quando manuseado. Tem resistência a compressão.	FRP FIBRA DE VIDRO – Fiber Reinforced Pultruded – Fibra de vidro pultrudada (fibra de vidro curada com resina epóxi)	
M4	Está presente em alguns modelos de cabos com coloração esbranquiçada, possui formato de tubos não vasados e não lineares, tem características de polímeros.	Veia Cega - PP	
M5	Aparecendo na parte mais interna do cabo, guardada pelos outros componentes, trata-se de pequenos fios de coloração variada com espessura aproximada de um fio de cabelo, cuidadosamente pode-se retirar uma leve película da cor e observar que o fio se apresenta transparente como o vidro.	FIBRA ÓPTICA – elemento de vidro com camadas de material polimérico tipo acrilato	

MATERIAL	DESCRIÇÃO DE IDENTIFICAÇÃO VISUAL	CLASSIFICAÇÃO FORNECIDA PELO FABRICANTE	IMAGEM DO MATERIAL
M6	Presente em todos os modelos de cabos, esse material se apresenta com condutos que protegem as fibras ópticas e tem características de polímeros, aparecendo em diversas cores de acordo com o tipo de cabo.	LSZH – Low Smoke Halogen Free – Poliolefina com cargas anti chama	
M7	Apresenta características muito parecidas com o material 2, tratando-se de fios que tem função principal de envolver os materiais, apresentando coloração branca.	POLIESTER FIO – Fio de poliéster para amarração do núcleo sem pó waterblocking	
M8	Fio de material com características de tecido, que é utilizado para corte da capa do cabo visando sua abertura, aparece em mais de uma coloração a depender do modelo, laranja, vermelho, azul e branco. Seu formato se assemelha a linhas de crochê.	RIPCORD POLIESTER LARANJA	

MATERIAL	DESCRIÇÃO DE IDENTIFICAÇÃO VISUAL	CLASSIFICAÇÃO FORNECIDA PELO FABRICANTE	IMAGEM DO MATERIAL
M9	Material que aparece em poucos modelos dos cabos estudados, tem características que lembram um Tecido Não Tecido (TNT), é encontrado na coloração branca.	-	
M10	Encontrado somente em um modelo de cabo esse material se assemelha a uma embalagem plástica transparente como o celofane.	-	

Fonte: Autor (2024)

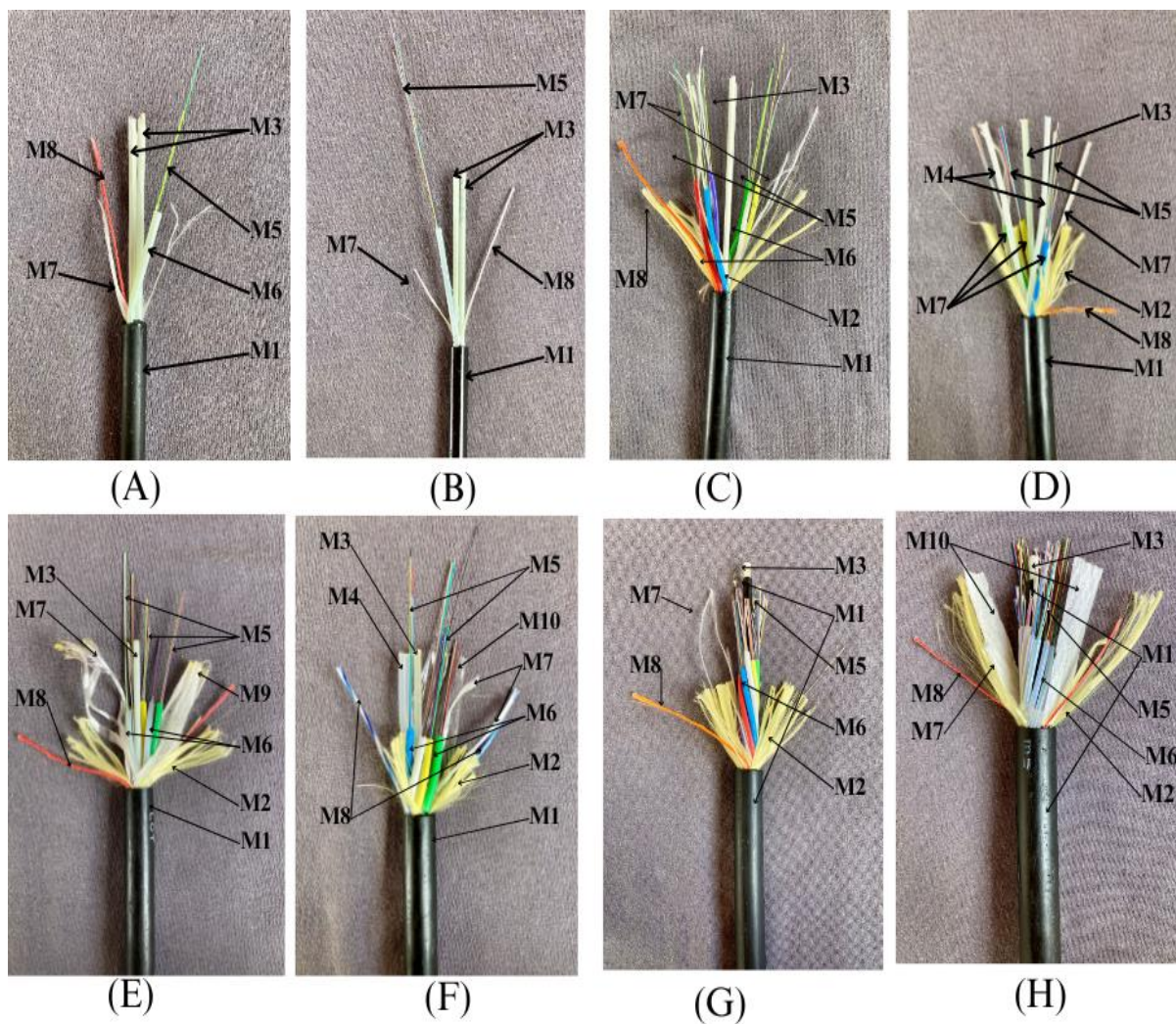
Como é observado no Quadro 4.2, os materiais condizem com o que foi apresentado anteriormente no Capítulo 2. Entretanto não há a presença de materiais de características metálicas, cada um sendo responsável por garantir que a fibra seja protegida e que os cabos resistam à presença e ação dos intemperes.

A maior parte dos materiais estão presentes em todos os modelos de cabos, entretanto alguns materiais apresentam-se em modelos específicos como é o caso dos materiais 9 e 10, que não há informação sobre a fabricação, pois não foi disponibilizada pelos fornecedores.

Quanto à formação de cada um dos modelos de cabos e a presença desses materiais, a Figura 4.1 apresenta uma visualização de cortes dos oito modelos de cabos estudados neste

trabalho, apontando a visualização de todos os materiais seguindo a classificação de acordo com o Quadro 4.1.

Figura 4.1: Materiais presentes nos modelos de Cabos. Quantidade de Fibras por cabo: (a) 2, (b) 6, (c)12, (d) 24, (e) 36, (f)48, (g) 96, (h)144



Fonte: Autor (2024)

Na Figura 4.1 é possível observar que alguns cabos, apesar de apresentarem um volume de fibra maior do que outros, tem em sua composição os mesmos materiais apresentados em quantidades diferentes. Um exemplo são os cabos C e G que ambos apresentam os sete materiais em suas estruturas. Entretanto, alguns materiais visivelmente se apresentam em uma quantidade superior como é o caso do Material 2 (fibra de aramida) responsável por dar resistência à tração, além das fibras que apresentam 12 e 96 respectivamente. A variação nas quantidades de material nos cabos é expressa nos diâmetros e na massa destes, como pode ser observado no Quadro 4.2, que representam dados em 1 metro de cabo, de cada um dos modelos estudados.

Quadro 4.2: Diâmetros e Massas médias dos cabos

Cabo	Diâmetro (mm)		Massa (g)	
	Média	Desvio	Média	Desvio
2F	6,43	0,153	6,43	0,053
6F	6,53	0,153	6,53	0,170
212F	9,00	0,100	9,00	0,058
24F	9,73	0,058	9,73	0,189
36F	10,30	0,173	10,30	0,159
48F	10,67	0,058	10,67	0,505
96F	13,03	0,058	13,03	0,269
144F	15,23	0,058	15,23	0,236

Fonte: Autor (2024)

Por meio das massas fornecidas no Quadro 4.2 é possível determinar a massa de uma quantidade de cabos desde que se tenha os seus comprimentos, ou ainda determinar a quantidade aproximada de metros que se possui em um montante de cabos por meio da massa total do montante. Por exemplo, para uma massa real de 100 kg de cabos do modelo 96 fibras, encontra-se o equivalente a 800 metros de cabo. O resultado é o quociente entre a massa fornecida de 100 Kg e a massa de um metro desse cabo, fornecido no Quadro 4.2 que é 125,04 gramas.

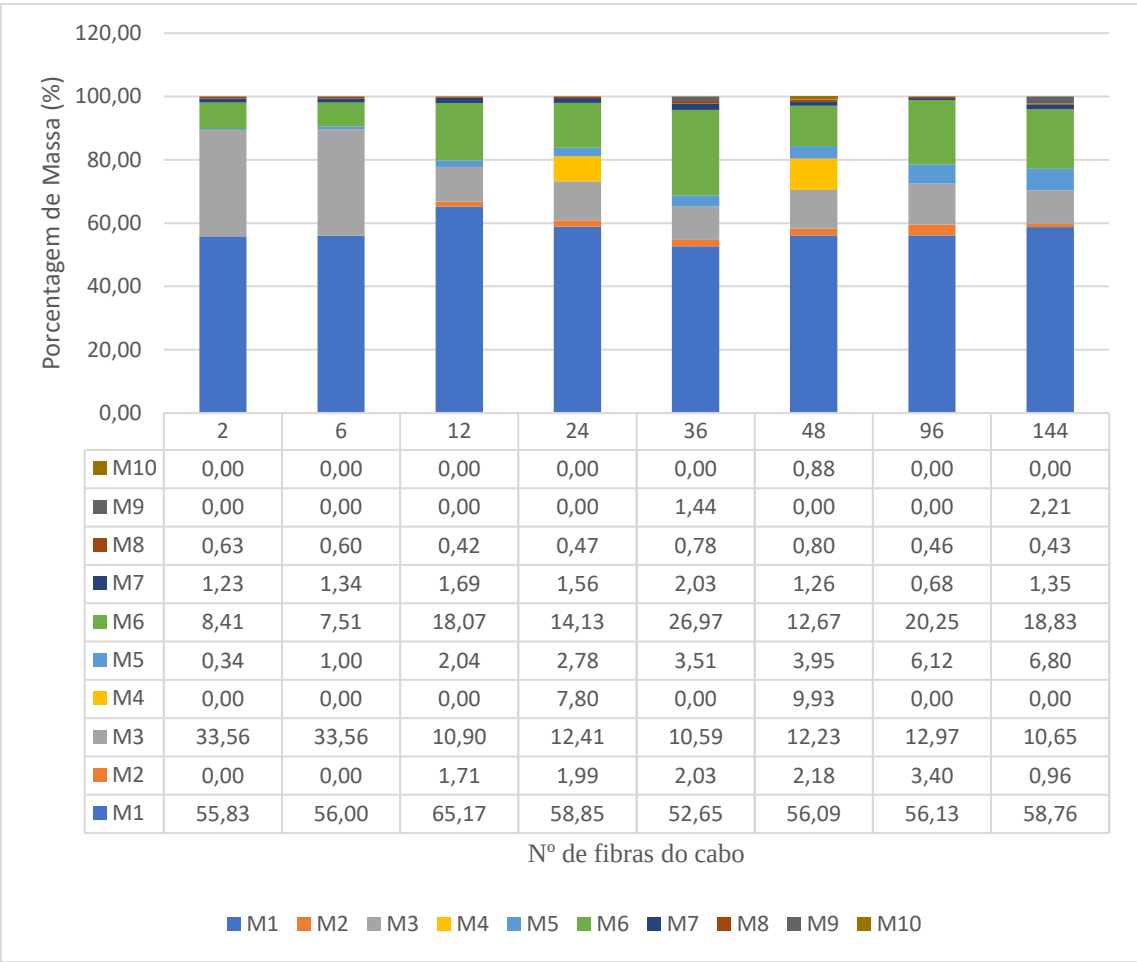
As informações de massa e quantidade de metros são fundamentais para realizar documentação dos materiais que entram e saem de uma empresa, bem como auxiliam na elaboração de documentos ambientais como é o caso do Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR) que demanda informações dos materiais para sua emissão. Entretanto, destaca-se que para que se possa realizar essa metodologia deve-se atentar na correta separação dos cabos por tipologia e que os cálculos apresentam valores aproximados.

Considerando a análise dos materiais dos cabos verifica-se que há alta presença de polímeros, materiais que em sua maioria apresentam condições de serem reciclados. Conforme apontado por Santana e Santos (2023) entre os principais polímeros encontrados no mundo, cerca de 90% são termoplásticos, materiais que podem ser reciclados, esses recebem maior atenção nos esforços de reciclagem, não apenas devido à sua predominância, mas também pelo seu excelente custo-benefício, já que possuem características ideais para o reaproveitamento.

Seguindo a classificação apresentada pelo fabricante e corroborando com o trabalho apresentado por Santana e Santos (2023), os materiais 1, 4 e 6 podem ser classificados como termoplásticos.

Na Figura 4.2 é apresentada a porcentagem de aparecimento das massas dos 10 materiais em cada modelo de cabo, isso permite uma visualização da representatividade das massas presentes em cada modelo estudado e proporciona visualização dos maiores volumes de resíduos gerados. Além disso, permite, em uma porção qualquer de cabo, determinar o valor de massa de um determinado material, que é dado pela porcentagem encontrada no modelo de cabo multiplicada pela massa do volume de cabos que se possui. Por exemplo, caso deseje determinar a massa do material 2 em montante de 1000 kg de cabo de 12 fibras. Observa-se na Figura 4.2, que o material 2 apresenta aproximadamente 1,71%, logo essa porcentagem apresenta 17,5 kg, que é a massa de material.

Figura 4.2: Representação das massas de materiais em cada um dos modelos de cabos



Fonte: Autor (2024)

Com base nos dados do Quadro 4.2 e observando-se a Figura 4.2, o material com massa mais representativo das amostras é o material 1. Estando entre os materiais que se classificam como polímeros, representa mais de 50% da massa em todos os cabos. Se somar esse percentual

a massa dos materiais 4 e 6, que tem características parecidas, o valor supera 70% em praticamente todos os modelos.

Outro material representativo e que aparece em todos os modelos de cabos é o material 3, que apresenta um percentual maior que 10% e atinge até 33% em alguns modelos específicos, trata-se do bastão de fibra de vidro curada com resina epóxi, também denominado Plástico Reforçado com Fibra de Vidro (PRFV) em literaturas brasileiras (Callister e Rethwish (2018); Colling *et al.* (2023)). Segundo Almeida (2023), por ser um material ainda em desenvolvimento, os poucos estudos existentes na literatura são restritos.

Segundo Colling *et al.* (2023), os polímeros reforçados com fibras de vidro (PRFV) são amplamente utilizados em setores variados, incluindo construção, transporte, energia, defesa, química e esportivo, devido à sua combinação de leveza, resistência mecânica e durabilidade em condições adversas, o que os torna ideais para aplicações que exigem materiais que suportam cargas pesadas e ambientes extremos.

Com base nas informações sobre os materiais, é possível perceber que compreender suas características permite um melhor aproveitamento de suas propriedades. No próximo tópico, serão apresentadas a caracterização e as possibilidades de destinação de todos os materiais dos cabos, de acordo com os estudos encontrados na literatura e as observações realizadas.

4.2. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS E DESTINOS

4.2.1. Material 1

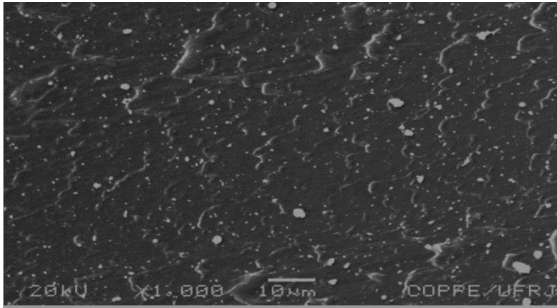
Segundo classificação fornecida pelo fabricante e também com base na observação de suas características, esse material trata-se de um polímero. Que foi identificado como sendo o polietileno linear de baixa densidade (PEBDL).

Segundo Lima et al. (2022), o PEBD possui combinações únicas como a tenacidade, grande resistência ao impacto, boa flexibilidade, boa processabilidade, grande estabilidade e propriedades elétricas notáveis.

Este é um termoplástico semicristalino que se distingue por suas propriedades exclusivas, como alta resistência química e atração, além de um ponto de fusão elevado. Essas características fazem do PEBDL um material versátil e durável, adequado para diversas aplicações. (Faria; Silva; Fantoni, 2024)

Monteiro *et al.* (2006), realizaram um estudo deste material, que incluiu análise microscópica de uma amostra de polietileno reciclado, que é apresentada na Figura 4.3.

Figura 4.3: MEV da superfície de uma partícula de polietileno reciclado

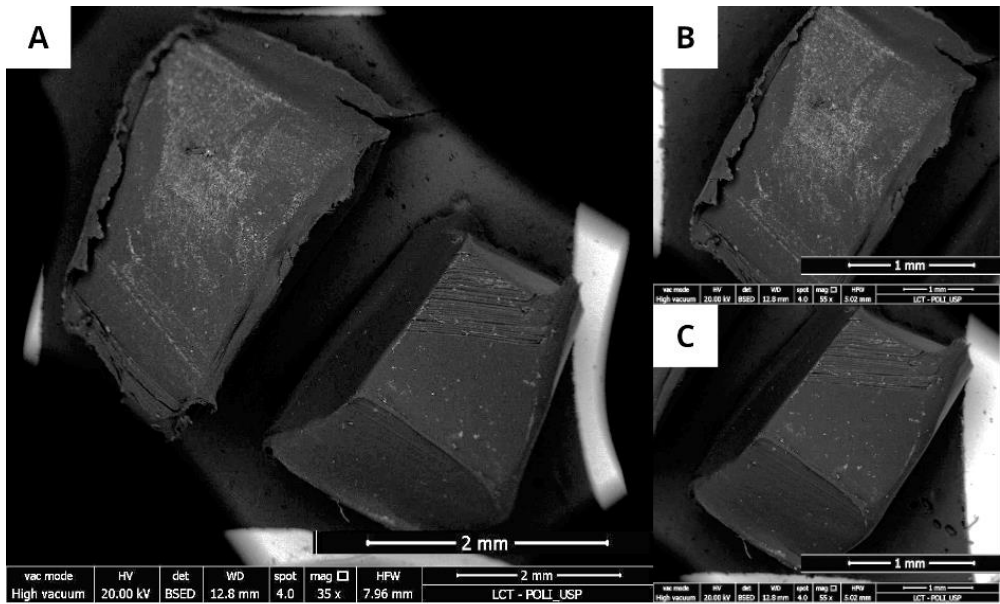


Fonte: Adaptada de Monteiro *et al.*, 2006.

Observa-se na Figura 4.3 a presença de uma superfície de material com composição química de base uniforme, mas que apresenta variações na superfície, caracterizadas por diferentes composições químicas, identificadas pela presença de escalas de cinza espalhadas na área analisada.

Na estrutura do cabo, o material 1 é o que envolve os demais, ou seja, é a capa que acomoda todos os outros componentes e, quando exposto a campo, tem contato direto com as intempéries. Para a observação microscópica, considerando essa informação, decidiu-se analisar tanto a superfície interna quanto a externa dessa capa, constatando-se uma variação na composição química entre as duas superfícies, conforme indicado pelas diferenças na escala de cores das imagens obtidas. As Figuras 4.4 e 4.5 apresentam as visualizações da amostra interna e externa desse material sob o MEV.

Figura 4.4: Imagem de MEV do material 1 face interna



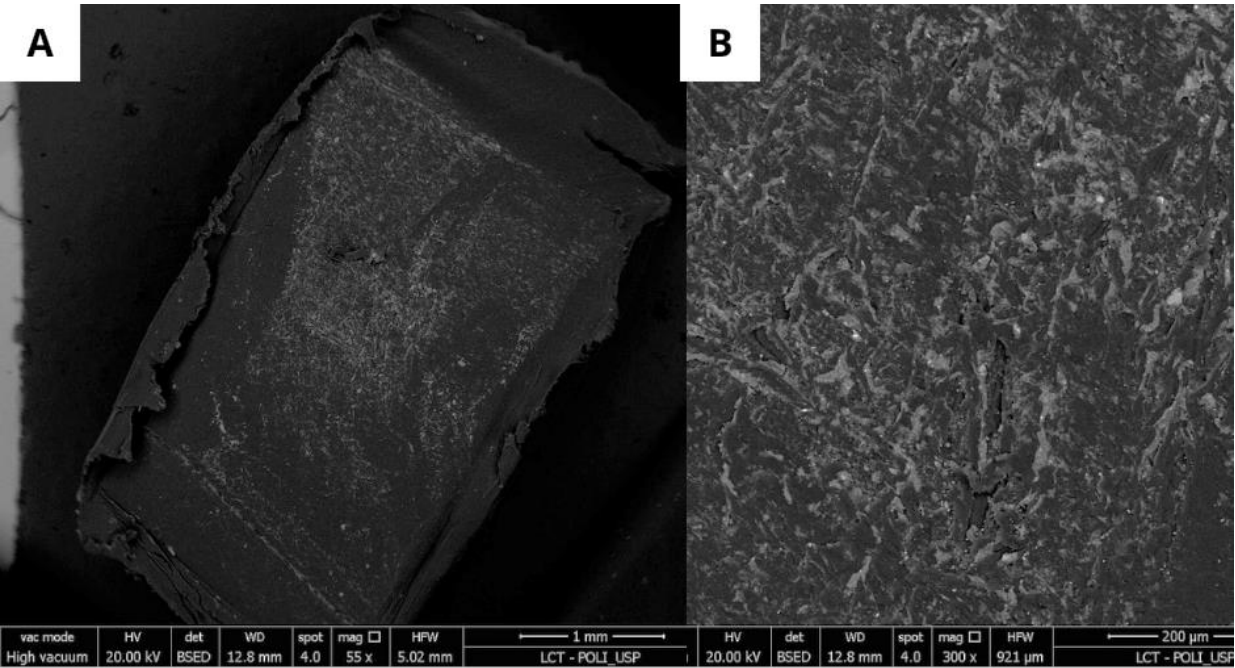
(a) imagem das duas amostras material 1 comparadas ampliação 35x; (b) ampliação 55x da face externa da amostra; (c) ampliação 55x da face interna da amostra.

Fonte: Autor, 2024

Na face interna da amostra (Figura 4.4), observa-se uma superfície de material com alta uniformidade, apresentando pequenos pontos de diferentes faixas de cor. Essa região não entra em contato direto com o ambiente externo durante a vida útil do cabo, mantendo-se em contato principalmente com os materiais internos do cabo. Algumas das variações de cor também estão localizadas próximas às ranhuras que podem ter sido geradas pelo processo de corte e preparo da amostra, indicando a presença de partículas resultantes desse processo. Contudo, o material predominante na superfície é claramente visível.

Já na face externa (Figura 4.5), observa-se uma falta de uniformidade, evidenciada por uma sequência de pontos com diferentes tonalidades na superfície. Essa variação pode indicar a presença de impurezas, que podem ter sido introduzidas durante o uso dos cabos, seja por reações químicas ou pela deposição de materiais durante a exposição ao ambiente. No entanto, ao comparar as Figuras 4.3 e 4.5, nota-se uma semelhança entre elas, confirmando que se trata do polietileno. É importante destacar que na Figura 4.3 o material é reciclado e, portanto, não apresenta uma uniformidade da sua superfície, assim como os cabos da Figura 4.5 deste estudo.

Figura 4.5: Imagem de MEV do material 1 face externa



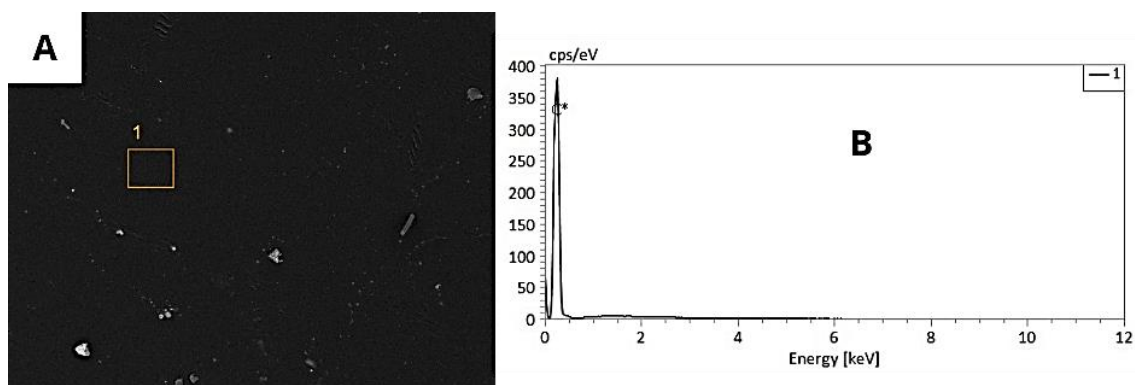
(a) imagem da face externa do material 1, ampliação 55x; (b) ampliação 300x da face

Fonte: Autor, 2024

Para compreender melhor a variação das amostras, a análise por EDS permitiu uma visualização detalhada das suas composições químicas. Em ambas as amostras, foi realizada uma análise por área, com a expectativa de encontrar uma presença significativa de carbono

(C), dado que os polímeros possuem esse elemento como parte fundamental de sua estrutura. De acordo com Faria *et al.* (2024), o polietileno apresenta a fórmula química $(C_2H_4)_N$, o que reforça a importância do carbono em sua composição. As análises podem ser constatadas nas Figuras 4.6 e 4.7.

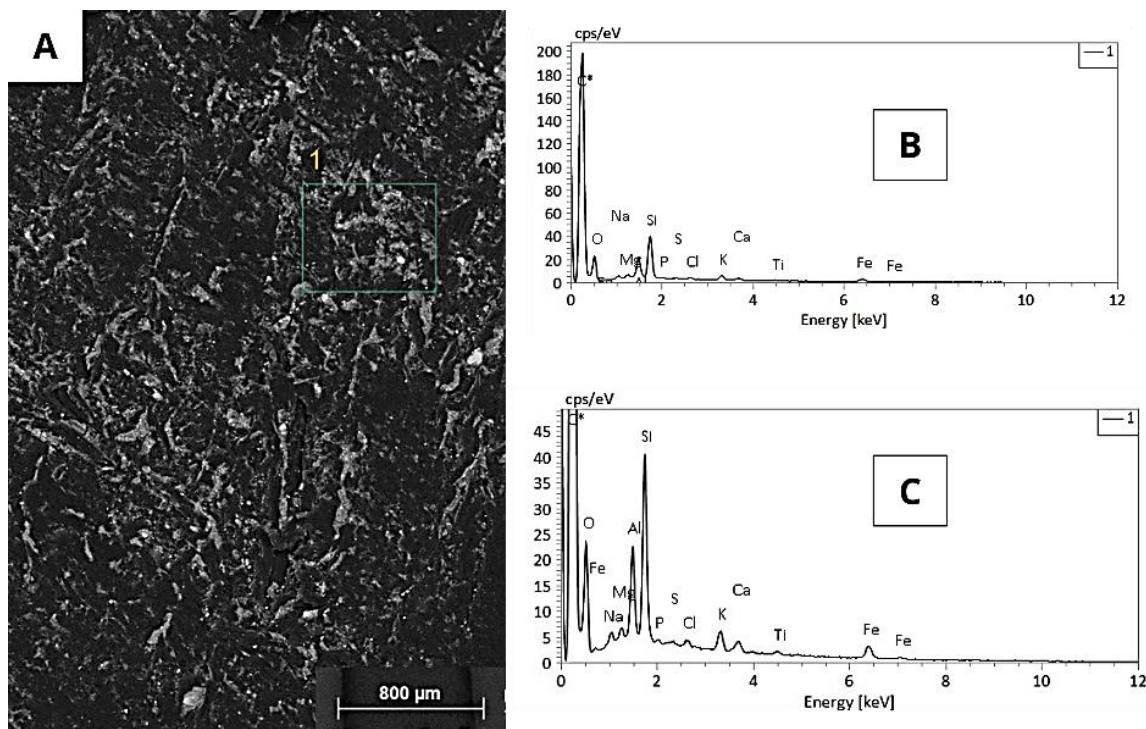
Figura 4.6: Análise EDS do material 1 face interna



(a) imagem da face interna do material 1 com a demarcação da área para análise EDS (b) análise EDS geral analisando todos os elementos presentes na área 1;

Fonte: Autor, 2024

Figura 4.7: Análise EDS do material 1 face externa



(a) imagem da face externa do material 1 com a demarcação da área para análise EDS; (b) análise EDS geral analisando todos os elementos presentes; (c) ampliação da figura B, visando observar melhor os materiais em menor quantidade.

Fonte: Autor, 2024

Como destacado anteriormente, a análise da região interna da capa revelou uma composição química característica, com uma forte presença de carbono, conforme ilustrado na Figura 4.6. O carbono é identificado como o material predominante em ambas as superfícies. A Figura 4.7 confirma a presença de uma variedade de elementos químicos na superfície externa, incluindo oxigênio (O), silício (Si), alumínio (Al), ferro (Fe) e outros em menor quantidade. No entanto, os resultados do EDS mostram que o carbono permanece como o elemento principal, evidenciando sua predominância na composição do material, seguido do silício. Isso corrobora para a classificação anteriormente dada ao material.

É importante ressaltar que as amostras foram mantidas em seu estado original, sem passar por limpeza superficial, como lavagem ou procedimentos abrasivos, para garantir que representassem fielmente as condições em que são encontradas em campo. Além disso, a análise química focou apenas na superfície das amostras e não incluiu um estudo quantitativo em relação à massa total. Apesar dessas limitações, as informações obtidas são valiosas para explorar alternativas de destinação, especialmente considerando que o polietileno já tem sido empregado em processos similares.

Faria *et al.* (2024) refletem que a estrutura semicristalina do PEBDL permite que seja reciclado de forma eficiente, destacando-se como uma escolha sustentável em comparação com outros termoplásticos, o que contribui para a redução de resíduos plásticos e a preservação do meio ambiente. Este material tem condições de voltar à indústria da produção de polímeros, passar pelo processo de extrusão e receber uma nova modelagem de acordo com a necessidade.

Em caso de realidades em que não há viabilidade técnica do aproveitamento de resíduos irre recuperáveis de polímeros por indústrias de plásticos, ainda existe outra destinação distinta de aterros sanitários, como utilização em pavimentos, caracteriza-se como uma importante medida para a recuperação de resíduos de polímeros e redução de resíduos de matérias-primas na produção de modificadores de asfalto. Em seu trabalho Santana, (2021) realiza uma revisão sistemática da literatura, onde observa diversos autores que viabilizam a utilização de resíduos poliméricos desta natureza para complementar e melhorar características de ligantes asfálticos.

4.2.2. Material 2

O material 2 trata-se do kevlar, conhecido como fibra de aramida, que é um material resistente ao fogo, isolante tanto térmico quanto elétrico, possui resistência química à solvente orgânico, combustível e lubrificante (Coelho, 2021)

Segundo Martello e Bleichvel. (2020) esse material é reconhecido por ser utilizado na fabricação de coletes à prova de balas, mas também encontra diversas outras aplicações, como em pneus, velas de barco, cordas e pastilhas de freio e apesar de ser uma fibra, possui uma relação força/peso alta, sendo considerada cinco vezes maior do que do aço, quando comparado ao mesmo peso.

Forster *et al.* (2018) em seu trabalho apresentaram uma imagem microscópica de uma amostra de kevlar, como pode ser observado na Figura 4.8, esse material segundo a visualização apresenta-se em fios, confirmando o que foi observado durante a caracterização visual apresentada anteriormente. No trabalho os autores também citam a coloração amarela característica desse material.

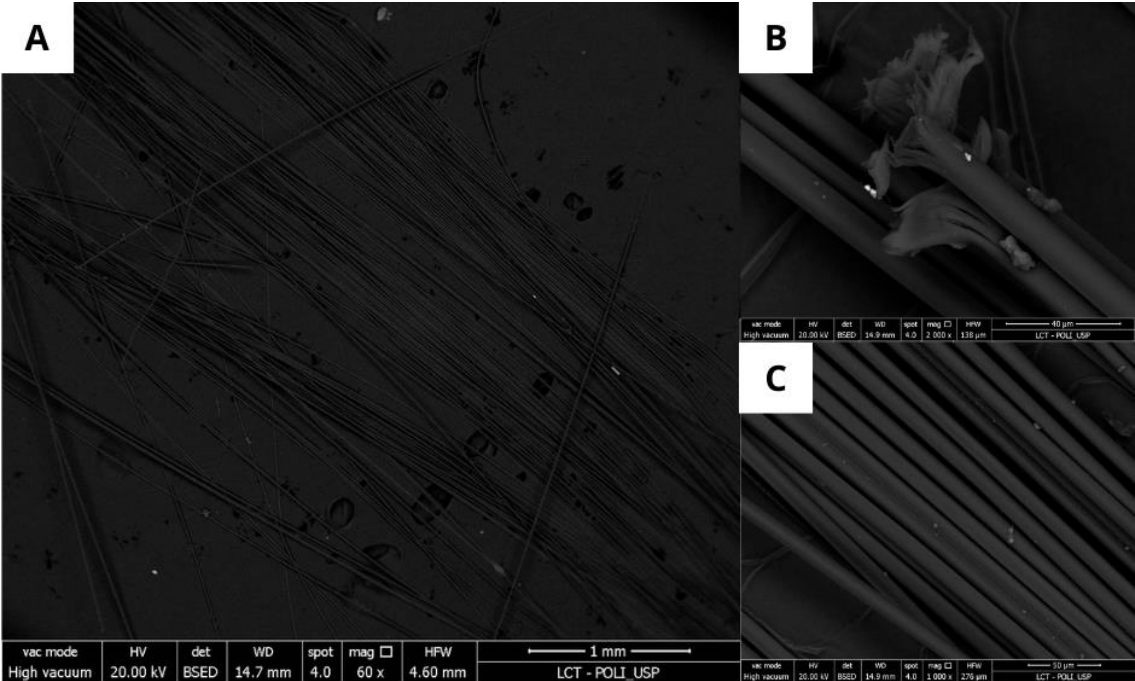
Figura 4.8: Microscopia de uma amostra de kevlar



Fonte: Adaptada de Forster *et al.* (2018)

Na Figura 4.9, são apresentadas imagens obtidas por MEV da amostra do material 2, revelando com maior clareza a estrutura do material. Nelas, é possível observar fios que se estendem ao longo do comprimento da amostra com um certo alinhamento, além de uma homogeneidade na superfície, evidenciada pela tonalidade quase uniforme dos seus elementos.

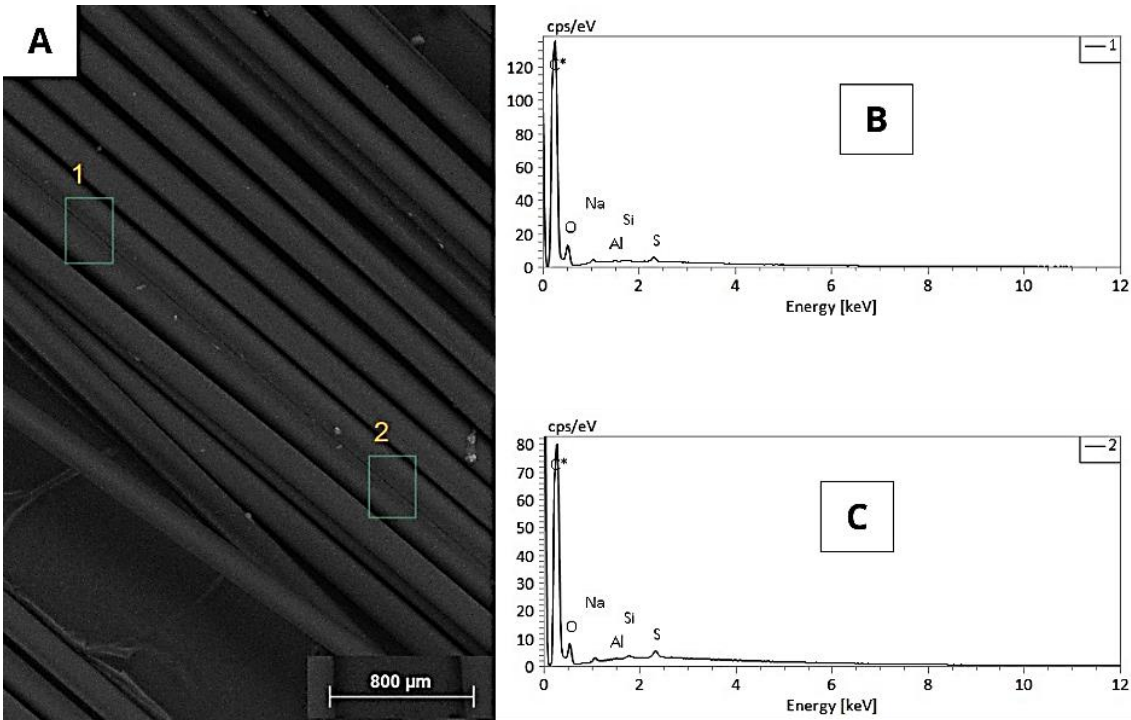
Figura 4.9: Imagem de MEV do material 2



(a)material 2 com ampliação 60x; (b) ampliação 1000x que é possível nitidamente os fios com superfície uniforme; (c)ampliação 2000x na extremidade de um dos fios da amostra apresentando sua característica na ruptura.

Fonte: Autor, 2024

Figura 4.10: Análise EDS do material 2



(a) imagem MEV do material 2 com a demarcação das área para análise EDS; (b)análise EDS geral referente a área 1; (c)análise EDS geral referente a área 2.

Fonte: Autor, 2024

Segundo Pereira; Alves; Rezende, (2024), a aramida pode ser considerado um polímero sintético, pertencente à família das poliamidas aromáticas denominadas poli (p-fenileno tereftalamida), em que aproximadamente 85% das ligações do tipo amida (-CO-NH-) estão unidas a dois anéis aromáticos. Essa formação química, semelhante à do material 1, tem o carbono como elemento principal, conforme mostra a Figura 4.10, que se destaca em relação aos outros elementos. Também é observada a presença de oxigênio, que faz parte da composição química original do material. Além desses, o material apresenta outros elementos em menor escala, como Silício (Si), Alumínio (Al) e Sódio (Na), enquanto o nitrogênio, que seria esperado na estrutura do material, não é detectado.

De acordo com Vieira *et al.* (2021) o método de análise química por meio do EDS pode apresentar algumas limitações, como sua baixa sensibilidade a oligoelementos e elementos mais leves que o Na, que poderia nesse caso explicar o não aparecimento do nitrogênio na análise. Sendo assim, a colaboração entre as análises, levam a ter uma maior confirmação do material e proporcionam a busca por pesquisas para destinação deste material.

Em seu estudo Bueno *et al.* (2022) mostram que concretos de alta resistência aliado à fibra de aramida, considerando a interação fibra-matriz, apresentam excelentes qualidades, principalmente quando se deseja um concreto de alto desempenho, essa junção atua no sentido de formar um material compósito com maior ductilidade. O estudo apresenta a observação de variação dos teores de fibra onde é foi possível observar a alteração de características positivas como também é o caso da trabalhabilidade e a boa aderência da fibra a matriz do concreto.

Outros estudos como os de Martello; Bleichvel (2020) e Sodré (2023) apresentam a utilização da fibra de aramida em forma de malha adicionada ao concreto, visando o uso em reforços estruturais e elaboração do concreto balístico respectivamente, neste caso ambos buscaram principalmente o aumento da resistência, que foi obtida, entretanto pelo fato de se trabalhar com malhas, em ambos foram citadas a movimentação de massa e formação de trincas ao longo das estruturas.

No estudo apresentado por Bueno *et al.* (2022) é importante destacar que as fibras são utilizadas em pequenas partículas de até 15-20 milímetros, ou seja, condição em que a fibra se encontra triturada, apontando uma possibilidade para destinação do material encontrado nos cabos de fibra óptica, pelo fato de não demandar uma linearidade, ou formato de malha, que inclusive apresentou uma maior eficiência na aderência a estruturas de concreto quanto os demais estudos que foram apontados.

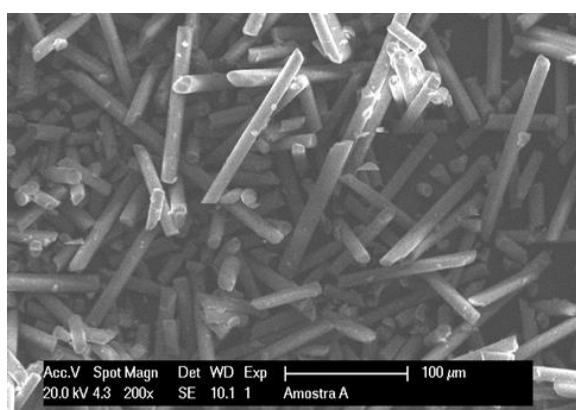
A aplicação em concretos, incluindo de alta resistência apresenta uma alternativa inicialmente viável para a destinação deste material que é encontrado nos cabos de fibra óptica. Com base nos estudos apresentados por Martello; Bleichvel (2020) e Sodré (2023) essa fibra já apresentou resultados positivos para esta destinação. Entretanto, na proposta apresentada por Bueno *et al.* (2022) é importante destacar a necessidade de processamento do material e realização de estudos específicos para o material, quando recuperado de resíduos.

4.2.3. Material 3

O material 3 é apresentado como fibra de vidro pultrudada, um compósito que consiste em um polímero reforçado com fibras de vidro. No cabo esse material se apresenta em formato de bastão como apresentado na caracterização visual. O processo de formação do bastão acontece por pultrusão, onde os feixes de fibras contínuas, inicialmente impregnadas com uma resina termofixa, são puxadas por um molde de aço que as pré-conforma. Posteriormente, o material é usinado por uma matriz de cura que confere à peça sua forma (Callister e Rethwish, 2018).

Na literatura, não foram encontradas análises microscópicas específicas deste compósito. No entanto, o trabalho de Ferreira (2016) fornece imagens de fibras de vidro (Figura 4.11), que servem como referência para comparação, uma vez que essas fibras devem estar presentes na visualização do material 3, conforme sua classificação pré-estabelecida.

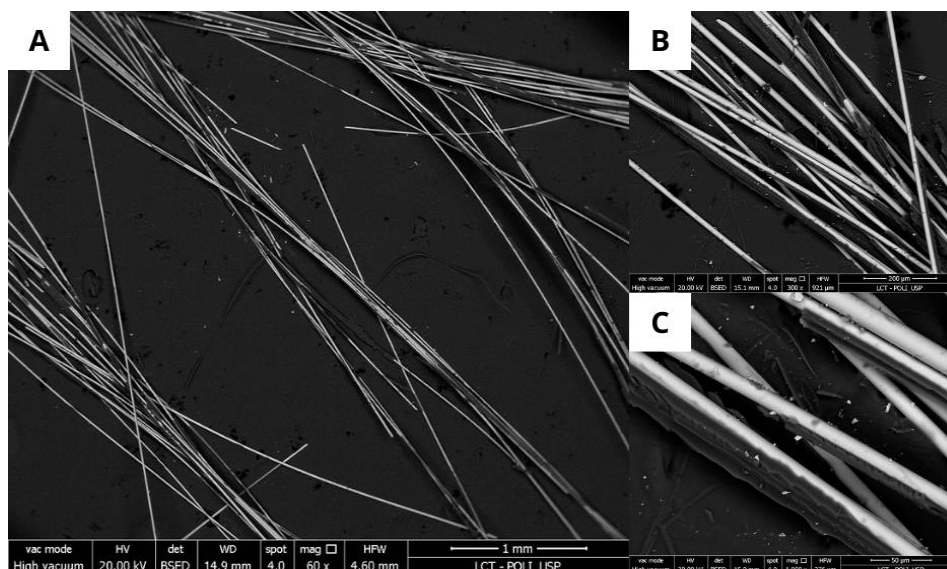
Figura 4.11: Imagem de MEV da fibra de vidro



Fonte: Ferreira, 2016.

Durante o preparo da amostra deste material para a realização da análise no MEV, o bastão fragmentou-se devido ao atrito. Dessa forma, foi coletada uma massa do material fragmentado para garantir que todos os componentes visíveis fossem representados. A Figura 4.12 mostra a imagem do equipamento com aumentos de 60x, 300x e 1000x.

Figura 4.12: Imagem de MEV do material 3



(a) material 3 com ampliação 60x; (b) ampliação 300x que é possível nitidamente a estrutura das fibras do material, mas com a presença de outro material em sua superfície; (c) ampliação 1000x da amostra, a qual nitidamente é visto um elemento ligante preso a superfície das fibras.

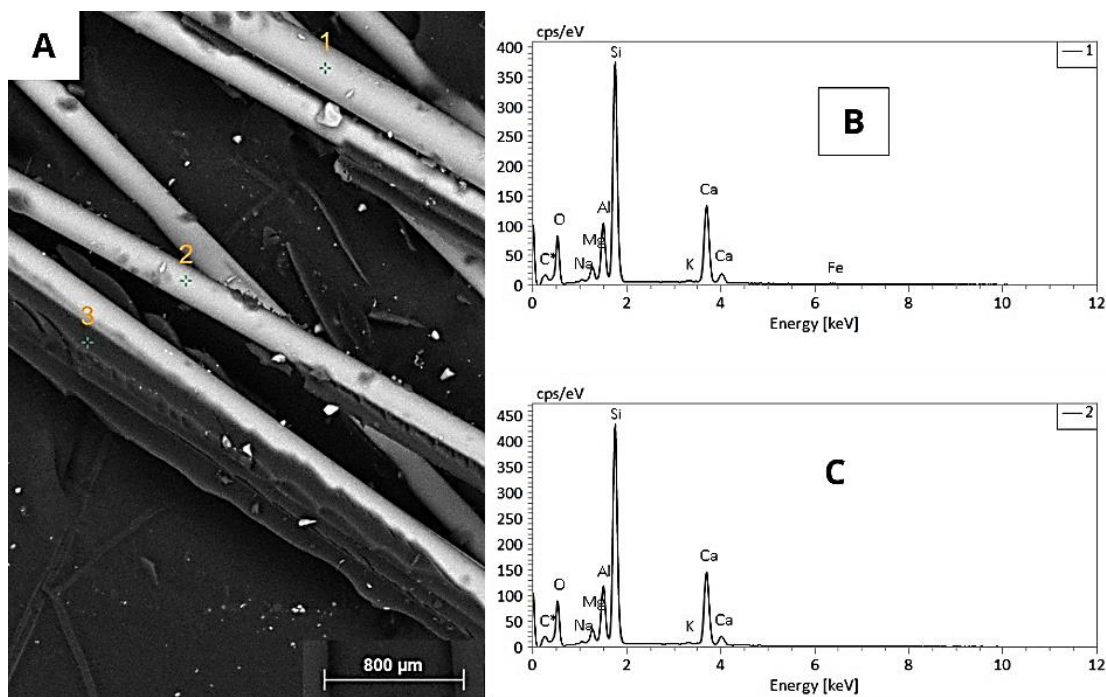
Fonte: Autor, 2024.

Na análise da Figura 4.12, observa-se a presença de fibras que, ao serem comparadas com as da Figura 4.11, mostram grande semelhança em formato, diferindo apenas no comprimento, uma variação esperada, já que as fibras podem se apresentar em ambas as formas. Além das fibras de vidro esperadas, nota-se a presença de outro elemento fixado a algumas partes das fibras, com características que sugerem sua função como elemento de ligação entre as fibras. Esse material, provavelmente uma resina de base polimérica, condiz com a descrição na literatura, do compósito que foi identificado como material 3.

Para melhor entender a composição química desse material, foi realizada uma análise por EDS, na qual três pontos específicos foram escolhidos para a microscopia. Os dois primeiros pontos foram posicionados sobre duas fibras, enquanto o terceiro foi colocado sobre o outro material que estava aderido às fibras. Na Figura 4.13, os resultados obtidos para os dois pontos sobre as fibras são apresentados, revelando uma composição química idêntica em ambos. Destaca-se a forte presença de silício (Si), um material característico e fundamental na formação do vidro, que é combinado com outros elementos.

O cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K), que aparecem no material conforme mostrado na Figura 4.13, são elementos que, segundo Piovesan *et al.* (2013), podem estar presentes na composição das fibras de vidro juntamente com o silício.

Figura 4.13: Análise 1 EDS do material 3

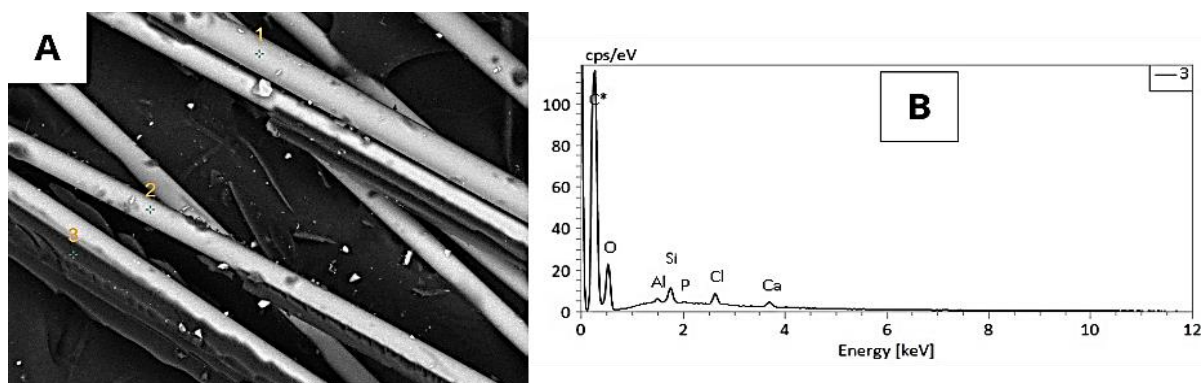


(a) imagem MEV do material 3 com a demarcação das área para análise EDS; (b) análise EDS geral referente a área 1; (c) análise EDS geral referente a área 2.

Fonte: Autor, 2024.

No que se refere ao outro material presente no compósito, a Figura 4.14 revela que ele é majoritariamente composto por carbono (C), o que corrobora a hipótese de ser um polímero. Em menor proporção, surgem elementos como cálcio (Ca), silício (Si) e alumínio (Al), que são componentes típicos das fibras de vidro e podem indicar a presença de fragmentos dessas fibras na superfície do material, possivelmente devido à adesão. Contudo, com base apenas nessas informações, não é possível identificar com precisão o tipo de polímero presente.

Figura 4.14: Análise 2 EDS do material 3



(a) imagem MEV do material 3 com a demarcação das área para análise EDS; (b) análise EDS geral referente a área 3;

Fonte: Autor, 2024.

As evidências sugerem que o material corresponde à classificação fornecida pelo fabricante. Além disso, é importante ressaltar a dificuldade de separar as fibras do polímero, devido à junção intrínseca desses materiais, o que exigiria processos químicos mais avançados e rigorosos. Diante disso, recomenda-se a destinação do material na forma de compósito, explorando alternativas em que as características combinadas possam ser aproveitadas de maneira positiva.

Colling *et al.* (2023) apresentam, em seu trabalho, que a utilização do resíduo de PRFV em peças de concreto demonstrou características positivas, evidenciando um comportamento mecânico desafiador, com uma redução mínima de 18% na resistência, o que é compatível com as normas internacionais. Além disso, os ensaios de absorção de água ficaram dentro dos limites aceitáveis. Os autores ainda concluíram que os resíduos de PRFV, após beneficiamento, têm potencial para substituir de 10% a 15% da areia na produção de concreto para pavimento intertravado, oferecendo um destino eficiente e sustentável.

Já Pinto (2002) realizou a incorporação do material particulado de PRFV em massa de cerâmica vermelha, e notou a viabilidade uma vez que resultou em uma mistura fluida e fácil de moldar, os resultados técnicos e mecânicos atendem aos limites para tijolos, telhas e revestimentos cerâmicos, diminuindo o potencial de descarga na indústria de cerâmica vermelha. O uso do pó de PRFV reduz a massa aparente sem comprometer as propriedades mecânicas. Entretanto a autora apresenta que para aplicação em revestimentos cerâmicos, é necessário avaliar a abrasividade, resistência química e emissão de gases.

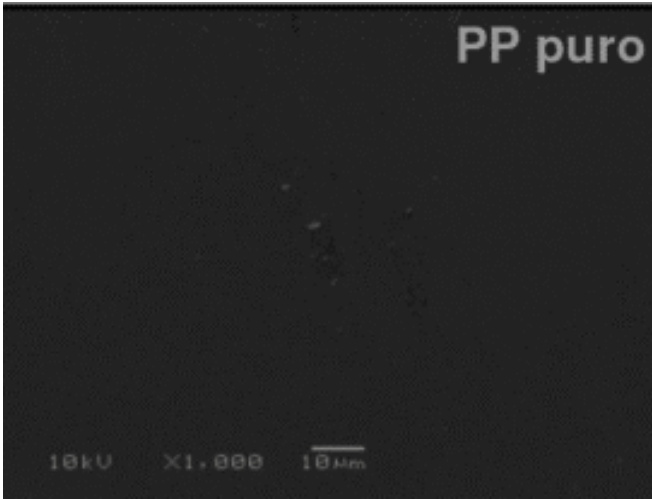
4.2.4. Material 4

Assim como o Material 1, as análises visuais indicaram que este material também é um polímero, especificamente o Polipropileno (PP), como apresentado pelo fabricante. Fonseca *et al.* (2023) descrevem o PP como um termoplástico com potencial de reciclagem na indústria. No entanto, um fator preponderante destacado no estudo é a baixa taxa de reciclagem desse material, atribuída, em parte, ao seu baixo valor de mercado. A preocupação com o PP decorre de sua ampla utilização, o que sugere a necessidade de buscar alternativas adicionais para sua aplicação.

A Figura 4.15 apresenta uma imagem de MEV do polipropileno puro, obtida durante o estudo realizado por Montagna (2014). O autor descreve esse material como sendo de característica bastante homogênea, com uma superfície que exibe uma imagem praticamente em uma única

tonalidade, o que indica a presença dominante de uma composição química uniforme na superfície.

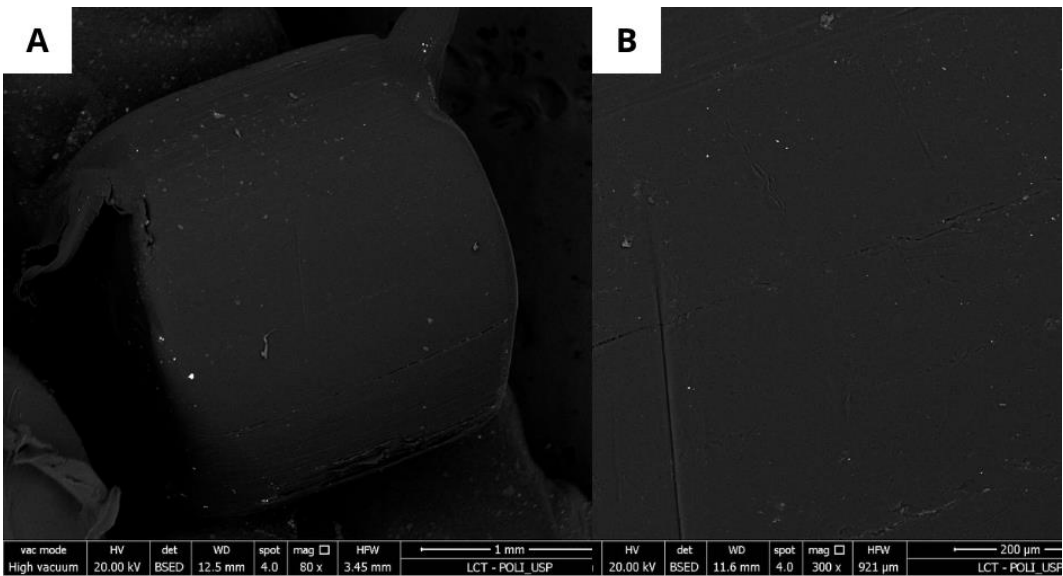
Figura 4.15: Microscopia de uma amostra de polipropileno



Fonte: Adaptado de Montagna, 2014.

O MEV do material 4 (Figura 4.16), apresenta semelhança com a análise apresentada na Figura 4.15. Essa pureza do material pode ser atribuída ao fato de ele fazer parte da estrutura interna dos cabos, não sendo exposto às intempéries quando utilizado em campo. Para verificar a composição química do PP, foi realizada a Análise via EDS como pode ser observado na figura 4.17

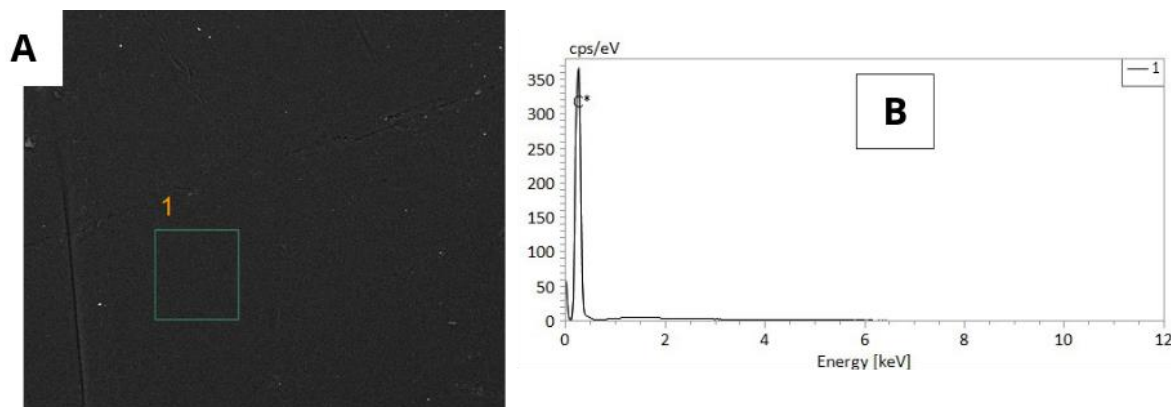
Figura 4.16: Imagem de MEV do material 4



(a) imagem da face do material 4, ampliação 80x; (b) ampliação 300x da face

Fonte: Autor, 2024.

Figura 4.17: Análise EDS do material 4



(a) imagem MEV do material 3 com a demarcação da área 1 para análise EDS; (b) análise EDS geral referente a área 1;

Fonte: Autor, 2024.

Na análise de EDS do material 4 (Figura 4.16), foi constatada elevada concentração de um único elemento, com a presença marcante do carbono (C) na estrutura do material. Além do C, não foram identificados. Seguindo as classificações anteriormente dadas ao material, pode-se realmente atribuir que este é um polímero.

Diante da classificação e das dificuldades mencionadas na literatura sobre a reciclagem de polímeros, que em certos casos podem não apresentar viabilidade econômica, não se pode descartar completamente a possibilidade de reciclagem e retorno desse material à indústria. No entanto, é essencial também fomentar a busca por outras alternativas viáveis para o seu reaproveitamento.

Com base no estudo de Rêgo *et al.*, (2022), que realizou uma análise comparativa das propriedades mecânicas e físicas do concreto com adição de polímeros, foi constatado que a resistência do concreto à compressão foi inferior em alguns traços com o uso de agregado de PP. No entanto, essa aplicação não deve ser descartada, pois há a possibilidade de realizar outros testes, e nenhum dos resultados foi tão insatisfatório a ponto de inviabilizar seu uso, considerando as diversas aplicações possíveis. Os autores também ressaltam a necessidade de novos estudos sobre diferentes traços do concreto e apontam essa alternativa como uma ferramenta relevante para o desenvolvimento sustentável.

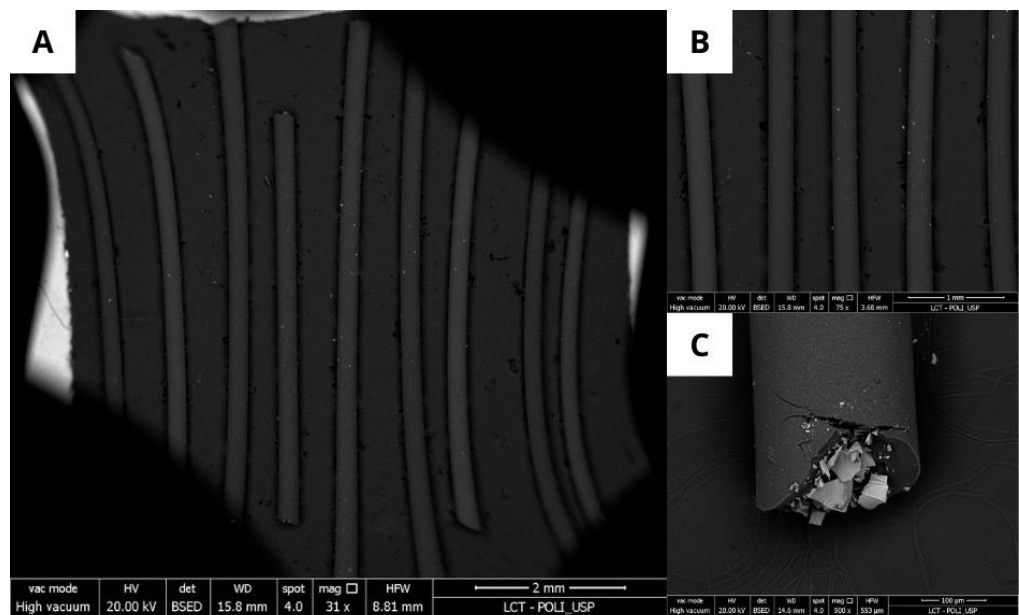
4.2.5. Material 5

Com base nas informações fornecidas pelo fabricante, o material 5 é identificado como fibra de vidro, que constitui o componente principal do cabo responsável pela transmissão de dados via luz em seu interior. Na caracterização visual, observou-se uma sequência de fios lineares, cuja quantidade e coloração variam de cabo para cabo, facilitando assim a montagem do projeto em campo, embora todos sejam feitos do mesmo material. Conforme apresentado no Capítulo 2 deste trabalho, pela extremidade do cabo foi possível visualizar o núcleo de vidro interno, cujo diâmetro se assemelha à espessura de um fio de cabelo.

Chiadighikaobi *et al.*, (2023), confirma a fibra como um núcleo da fibra, que tem um valor de índice de refração, normalmente de vidro, que é cercado pelo revestimento, que tem um índice de refração mais alto, e guia a luz de forma eficiente para o núcleo da fibra.

Na literatura, encontram-se apenas representações das fibras ópticas, como a apresentada por Ferreira (2011) que foi visto na Figura 2.2, sem registros de estudos que realizaram sua microscopia. No entanto, na Figura 4.17, é possível analisar a microscopia realizada neste trabalho, onde se observa uma visualização das fibras. As amostras coloridas aparecem na mesma tonalidade, indicando uma composição química homogênea. Na Figura 4.18(C), o núcleo de vidro torna-se visível, identificado pela coloração esbranquiçada, enquanto os revestimentos aparecem com tonalidades acinzentadas.

Figura 4.18: Imagem de MEV do material 5



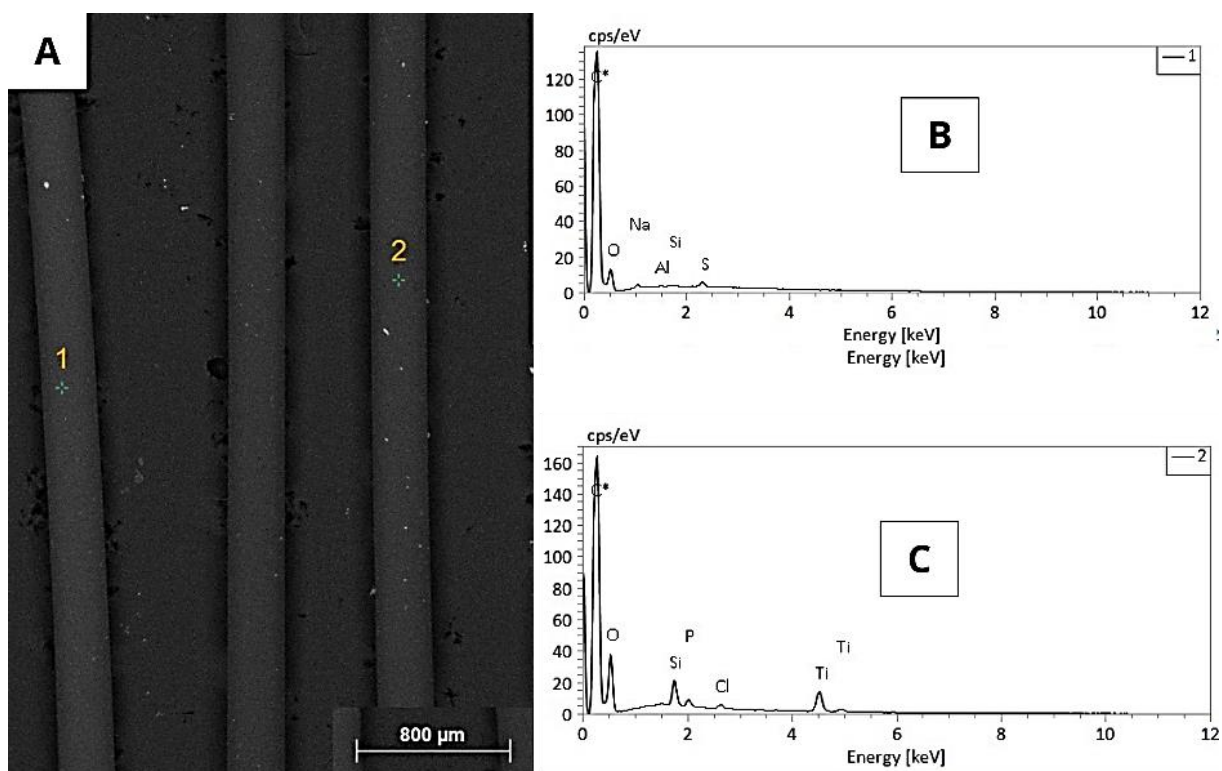
(a) material 5 com ampliação 31x; (b) ampliação 75x que é possível nitidamente a estrutura das fibras do material; (c) ampliação 500x da extremidade da amostra, onde é possível observar o núcleo de vidro da fibra óptica coberto por uma camada de material polimérico.

Fonte: Autor, 2024.

Em relação à sua composição química, foram realizadas análises no EDS em duas fibras distintas, como mostrado na Figura 4.19. As fibras apresentavam colorações diferentes, com o objetivo de comprovar que, independentemente da cor, elas compartilham uma estrutura química semelhante. No entanto, é esperado que, devido à coloração diferente, outros elementos surjam de forma clara na análise.

Conforme observado nas Figuras 4.19(B) e 4.19(C), a presença predominante de carbono (C), acompanhada por oxigênio (O) em alta constância, reafirma a formação de um polímero na capa da fibra óptica. Além desses, outros materiais aparecem em pequena quantidade, o que condiz com a possibilidade de mudança de coloração. O silício (Si), também detectado, é um elemento fundamental na formação do vidro. Sua presença pode ser explicada por uma possível exposição mínima do núcleo de vidro ou pela dispersão de resíduos desse material sobre a superfície da fibra. Além disto, é importante destacar a presença de pequenos pontos esbranquiçados na superfície do material. A Figura 4.19(C) trata-se do EDS de um destes pontos ponto 2 da Figura 4.19(A).

Figura 4.19: Análise EDS do material 5



(a) imagem MEV do material 5 com a demarcação dos pontos para análise EDS; (b) análise EDS geral referente ao ponto 1; (c) análise EDS geral referente ao ponto 2.

Fonte: Autor, 2024.

Quanto às destinações, por se tratar de um material composto, é essencial buscar alternativas que aproveitem suas características na forma em que é encontrado. Embora não existam pesquisas que demonstrem a viabilidade de sua reciclagem por meio de processos químicos para retorno à indústria, esse material pode ser utilizado como aditivo ou substituto na formação de outros produtos, potencializando seu reaproveitamento e contribuindo para práticas mais sustentáveis.

Durán; Sánchez; Hernández, (2010) realizaram um estudo sobre a aplicação de fibras ópticas na elaboração de concreto translúcido. Os resultados indicaram a viabilidade dessa utilização, embora os autores tenham destacado que o concreto não é adequado para fins estruturais. Além disso, os autores observaram que, nos volumes testados, a quantidade de luz transmitida pelo concreto é muito pequena, o que limita a eficácia da translucidez.

Souza *et al.*, (2022) também investigaram a incorporação de fibras ópticas em placas de concreto com o objetivo de melhorar a transmissão de luz. Embora tenha sido constatado um aumento na transmitância, assim como em outros estudos, houve uma perda de resistência do concreto. Mesmo que a placa tenha demonstrado uma maior transmissão de luz em comparação com outras, o estudo não foi suficiente para garantir que essa solução seja, por si só, uma alternativa viável para aumentar a iluminação natural em ambientes internos. Portanto, é necessário testar outros traços e volumes de fibras para alcançar resultados mais satisfatórios.

4.2.6. Material 6

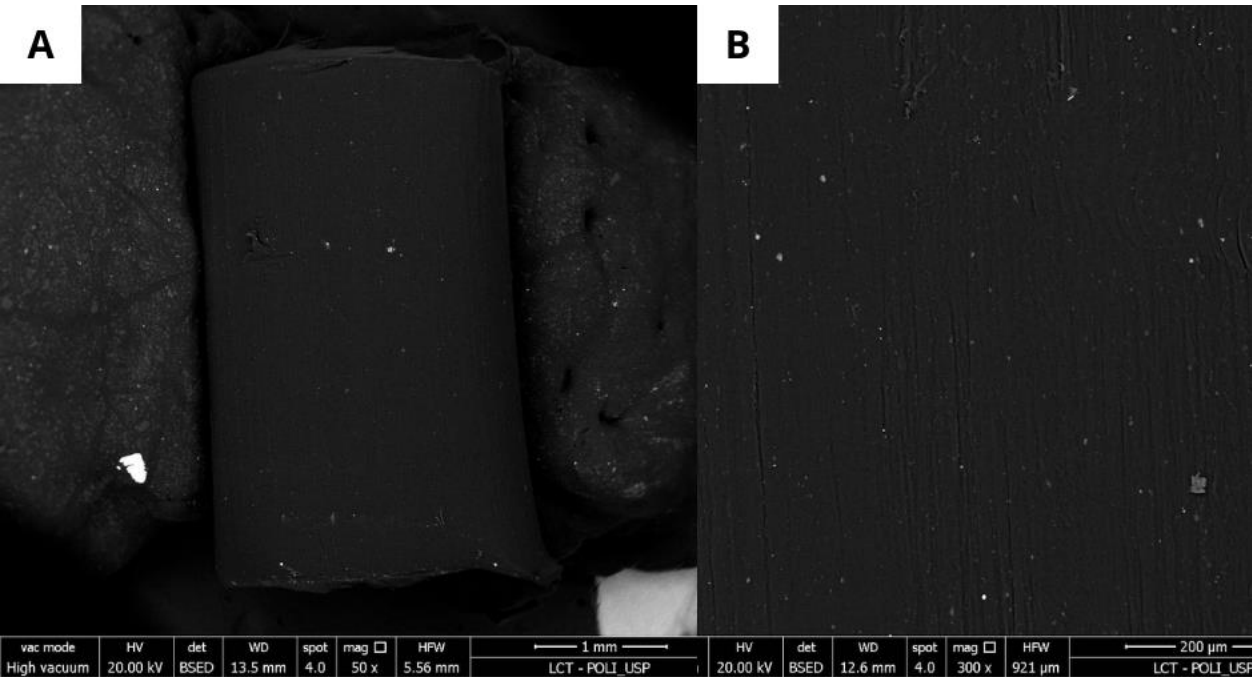
Os compostos LSZH (Low Smoke Zero Halogen), assim como foi classificado o material 6, são uma classe de material geralmente utilizada para revestimento de cabos. Esse tipo de material se caracteriza por emitir baixo teor de fumaça e não conter halogênios, tornando-o uma opção mais segura em caso de incêndios, pois reduz a toxicidade e a corrosividade dos gases liberados (Setti; Nascimento; Santos, 2021).

Não foram encontrados artigos que caracterizem esse material por meio de microscopia. A Figura 4.20 apresenta a microscopia realizada do material nesta pesquisa. É importante destacar que, assim como as fibras, esse material no cabo se apresenta em diferentes colorações. No entanto, a análise microscópica revelou que todos possuem uma composição química comum. Assim, as imagens foram retiradas de uma amostra de cor aleatória, representando a uniformidade química entre as variações de cor.

Na Figura 4.20(B), é possível observar algumas ranhuras na superfície do material. Ao contrário de outros materiais analisados anteriormente, este apresenta uma espécie de

rugosidade em escala microscópica, o que favorece o acúmulo de partículas, evidenciado pelos pontos brancos visíveis na imagem.

Figura 4.20: Imagem de MEV do material 6



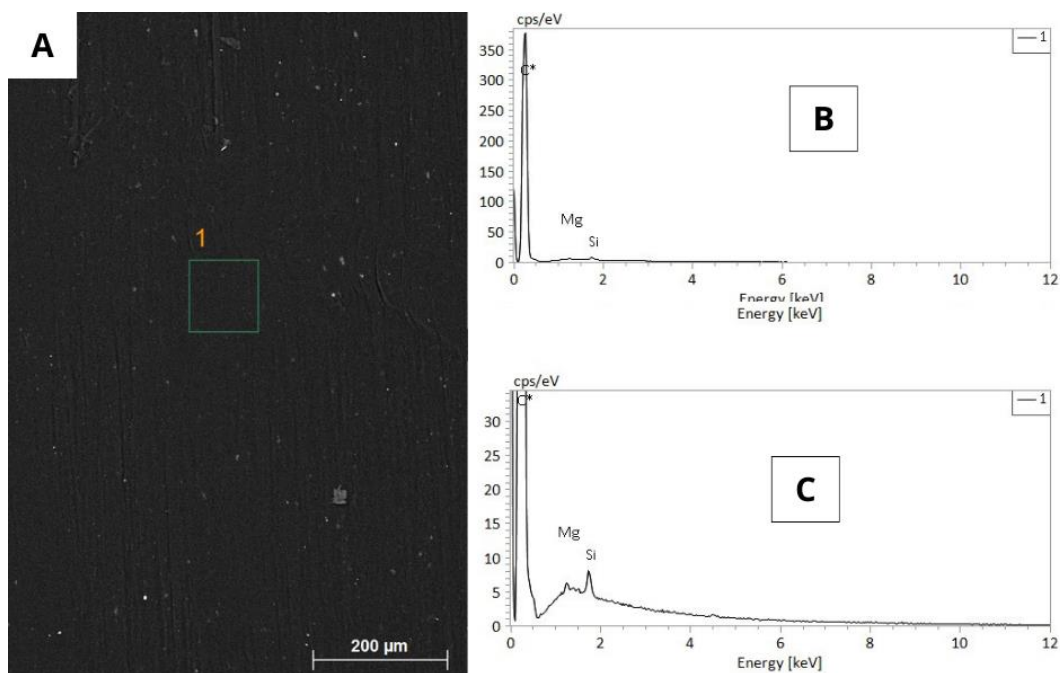
(a) imagem da face do material 4, ampliação 50x; (b) ampliação 300x da face.

Fonte: Autor, 2024.

Quanto à composição química do material, a Figura 4.21 apresenta os principais elementos encontrados em uma análise EDS de sua superfície. De acordo com bibliografias consultadas, Furukawa (2013) aponta que os compostos LSZH são constituídos por uma mistura de acetato de vinila (EVA) e polietileno de baixa densidade (LDPE), compatibilizados com aproximadamente 60% de carga antichama à base de alumina ou hidróxido de magnésio, conferindo a esses compostos resistência à inflamabilidade.

A composição indicada para o material sugerido corrobora as informações encontradas na análise, que evidencia a forte presença de carbono, característico do grupo dos polímeros, e de magnésio, que pode aparecer nesse material na forma de hidróxido de magnésio, conforme também descrito por Furukawa (2013). Um outro elemento detectado na superfície foi o silício (Si), presente em quantidade mínima, possivelmente devido a partículas presas nas rugosidades do material, uma vez que ele fica em contato direto com o bastão de fibra de vidro, conforme apresentado no item 4.2.3.

Figura 4.21: Análise EDS do material 6



(a) imagem do material 6 com a demarcação da área para análise EDS; (b) análise EDS geral analisando todos os elementos presentes na área 1; (c) ampliação da figura B, visando observar melhor os materiais em menor quantidade.

Fonte: Autor, 2024.

Para garantir o descarte correto deste material, Askan (2020) aponta que os materiais LSZH são termoplásticos ou termofixos e emitem pouca fumaça e nenhum halogênio durante a queima. Essa característica reduz a liberação de gases tóxicos, tornando esses materiais adequados para reciclagem e reintegração na indústria, dado seu impacto ambiental minimizado durante o processo de queima.

Entretanto para a reciclagem de plásticos, a mistura de polímeros é frequentemente necessária, pois isolar um único componente pode ser complexo ou financeiramente inviável. Poliolefinas como Polietileno (PE) e Polipropileno (PP) são comumente encontradas em resíduos plásticos urbanos e industriais e são recicladas após a separação desses polímeros (Rodrigues, 2020).

4.2.7. Material 7

O material 7 trata-se do fio de poliéster para amarração do núcleo, sem pó *water blocking*, conforme especificado pelo fabricante. O poliéster, pertencente ao grupo dos polímeros, geralmente tem sua composição básica constituída principalmente de carbono (C) e

oxigênio (O). Este polímero tem sua estrutura composta principalmente por unidades repetitivas de éster, refletindo sua base química essencial.

Cai *et al.* (2020) apresentam uma imagem que ilustra a distribuição de microplásticos em diferentes tipos de têxteis. Uma dessas imagens é a dos fios de poliéster, como pode ser visto na Figura 4.22. Nestes fios, observa-se um alinhamento organizado, diferente das fibras deste estudo. Entretanto, o objetivo principal é observar a anatomia dos fios e a formação das fibras, evidenciando uma uniformidade na estrutura.

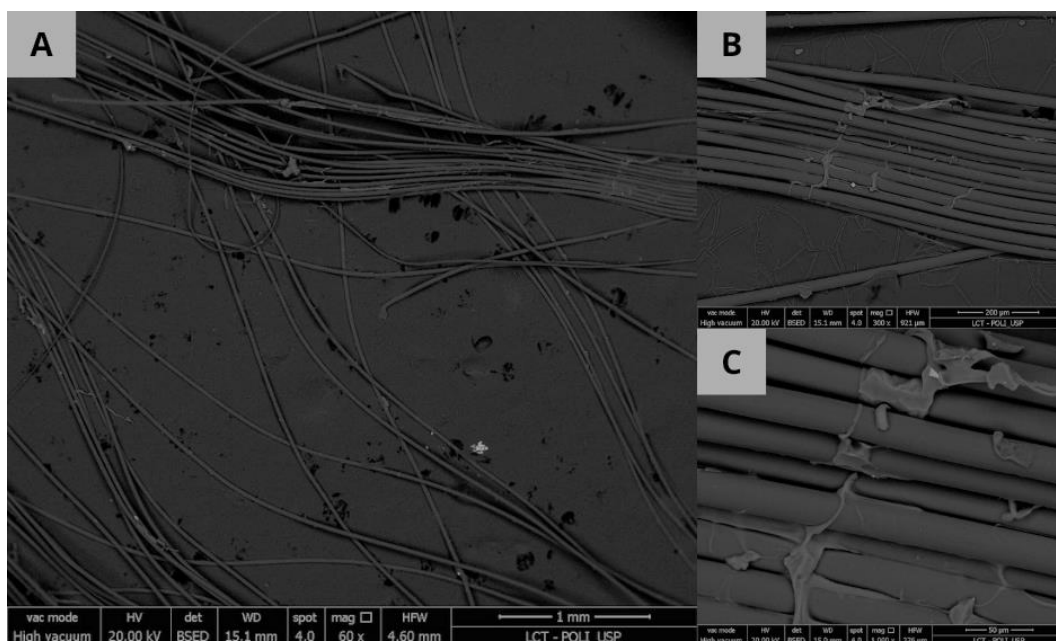
Figura 4.22: MEV de um tecido composto por fibras de poliéster



Fonte: Adaptado de Cai et. Al, 2020

Com base na análise de sua superfície realizada no MEV (Figura 4.23), observa-se que o material apresenta características semelhantes às mostradas na Figura 4.22, com formação de fios com superfície bem uniforme e homogênea. No entanto, é notada a presença de um outro material entre as fibras. Esse material parece ter características distintas das fibras principais e exibe formatos irregulares.

Figura 4.23: Imagem de MEV do material 7



(a) material 7 com ampliação 60x; (b) ampliação 300x que é possível observar a estrutura do material; (c) ampliação 1000x, nesta é possível observar a presença de um material a presença de outro material fixado entre as fibras.

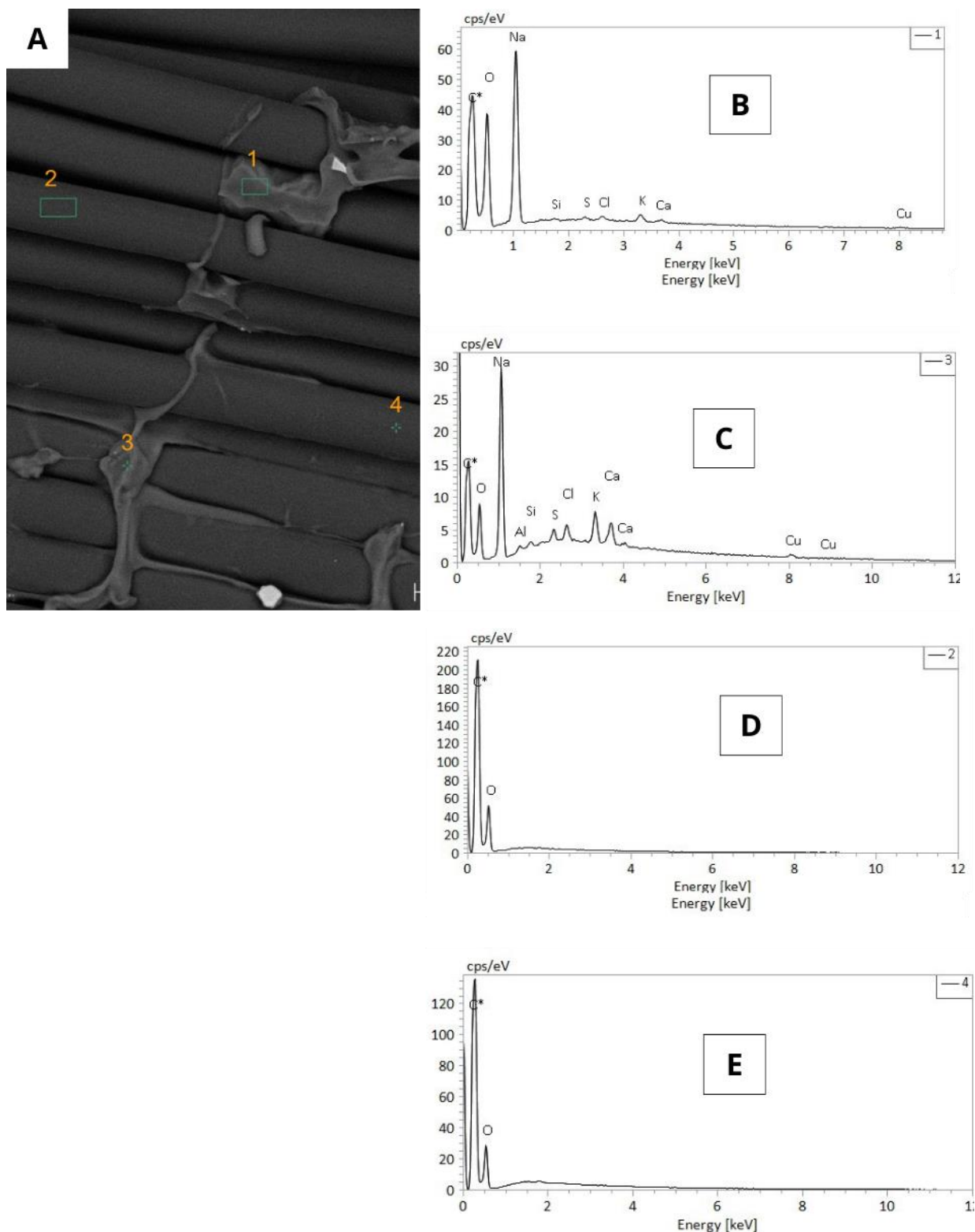
Fonte: Autor, 2024.

Com base na informação repassada pelo fabricante a fibra estaria sendo apresentada pura, deixando expresso que não havia presença de pó *water blocking* (bloqueadores de água). Estes são materiais impregnados com polímeros superabsorventes (SAP), que têm a capacidade de absorver grandes quantidades de líquido devido à formação de ligações de hidrogênio com as moléculas de água. Esses polímeros, como o ácido poliacrílico, podem reter até 500 vezes seu peso e 30-60 vezes seu volume em água (ELETROTRANSOL, 2024). E contêm elementos como carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O), sódio (Na), Potássio (K) e podem incluir sílica (SiO₂) para controlar a viscosidade e evitar aglomerações.

Quando utilizado o pó *water blocking* previne a penetração de água em cabos de fibra óptica, garantindo a proteção contra danos causados pela umidade.

Por ser um material que já é utilizado em alguns modelos de cabos, pode-se analisar sua presença por meio da composição referente ao material que é encontrado nas amostras, essa composição pode ser observada na Figura 4.24.

Figura 4.24: Análise EDS do material 7



(a) imagem MEV do material 7 com a demarcação dos pontos para análise EDS; (b) análise EDS geral referente a área 1; (c) análise EDS geral referente ao ponto 3, material que está fixado entre as fibras. (d) análise EDS geral referente a área 2; (e) análise EDS geral referente ao ponto 4, ponto na fibra.

Fonte: Autor, 2024.

Pelas Figura 4.24 (B) e 4.24 (C) são observados os resultados da análise EDS da área 1 e do ponto 3 da amostra apresentada na Figura 4.24 (A), entre elementos encontrados em destaque estão o Sódio (Na), o Carbono (C) e o oxigênio (O), expressos em maiores quantidades. Entretanto, outros elementos como Potássio (K), Silício (Si) e Alumínio (Al) aparecem mais fortemente quando realizada a análise pontual (Figura 4.24 (C)), mas quando observada a análise por área, a presença desses outros elementos fica muito baixa apontando inclusive a possibilidade de que esses materiais podem ter se aderido à superfície devido de outros componentes.

Tomando a análise da área 3 (Figura 4.24 (C)), confirma-se a presença de *water blocking*, conforme os elementos desse material que foram apresentados por ELETROTRANSOL (2024).

Quanto às fibras, estas realmente apresentaram a composição esperada, confirmando que são compostas principalmente por carbono, o que é consistente com o fato de serem feitas de poliéster, um material com essa característica predominante. A composição destas pode ser observada pelas Figuras 4.24 (D) e 4.24 (E), que respectivamente apresentam o resultado da análise EDS da área 2 e do ponto 4 da amostra apresentada na Figura 4.24 (A), onde os elementos encontrados são somente C e O.

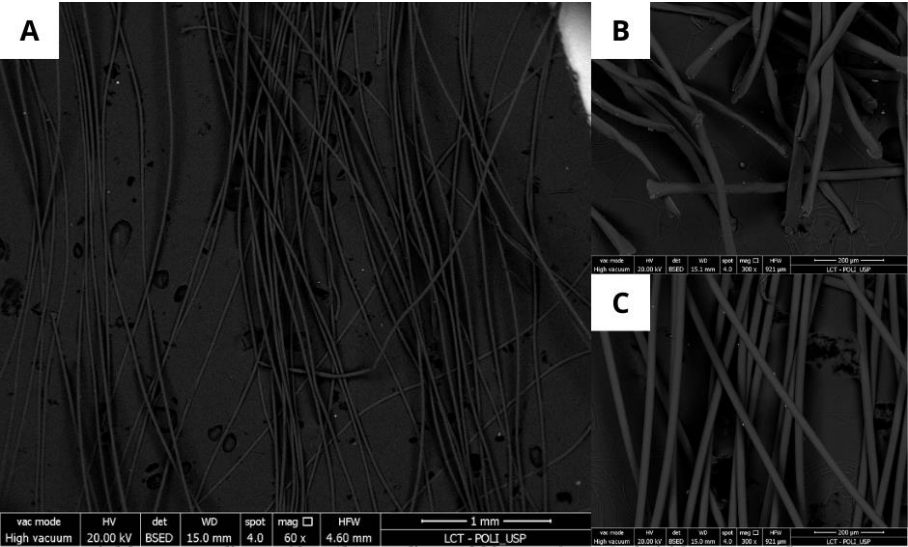
De acordo com a Ellen MacArthur Foundation (2017), a reciclagem de polímeros pode ser realizada tanto em fibras à base de celulose, como algodão, liocel e viscose, quanto em fibras à base de plástico, como poliéster. Além disso, a fundação aponta que o poliéster reciclado quimicamente pode ser até 30% mais caro em comparação com o poliéster virgem. Neste caso é importante observar o comportamento do material que é encontrado junto as fibras durante a reciclagem, estudos como esse não foram encontrados na literatura.

4.2.8. Material 8

O material 8 foi identificado como fio de poliéster, uma designação similar à atribuída ao material 7. No entanto, apesar de ambos serem fios de poliéster, suas funções no cabo são distintas. O material 8 é utilizado para o rasgamento da capa do cabo, enquanto o material 7 é empregado para a amarração dos materiais internos, apesar disto a composição química do material não deveria mudar.

Na Figura 4.25, é apresentada a visualização microscópica do material, que se assemelha às observadas nas Figuras 4.24 e 4.23. Verifica-se por meio da Figura 4.25. que o material está livre de qualquer material aderido, exibindo apenas as fibras.

Figura 4. 25: Imagem de MEV do material 8

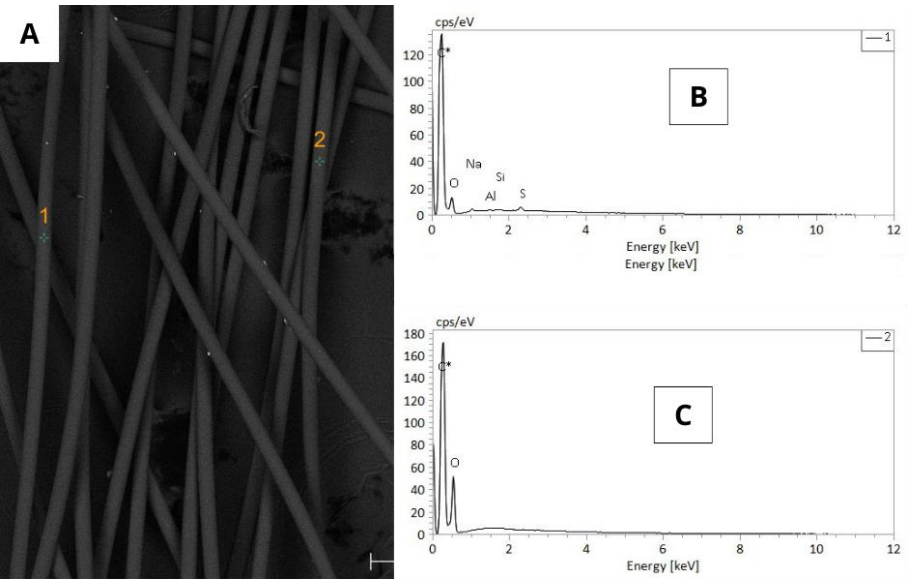


(a) material 8 com ampliação 60x; (b) ampliação 300x que é possível nitidamente os fios com superfície uniforme; (c) ampliação 300x na extremidade de um dos fios da amostra apresentando sua característica na ruptura.

Fonte: Autor, 2024.

A Figura 4.26(C), mostra que a composição química do material 8 é semelhante à do material 7. Verifica-se que os picos de intensidade no EDS são semelhantes aos picos do EDS do material 7. Na Figura 4.26(B) alguns elementos como Na, S, Si e Al, representados com picos de menor intensidade em comparação com o pico do C, de maior intensidade. Isso pode estar relacionado a materiais que se encontravam aderidos a superfície, ou para inserção da coloração desse material.

Figura 4.26: Análise EDS do material



(a) imagem MEV do material 8 com a demarcação dos pontos para análise EDS nas fibras; (b) análise EDS geral referente ao ponto 1; (c) análise EDS geral referente ao ponto 2.

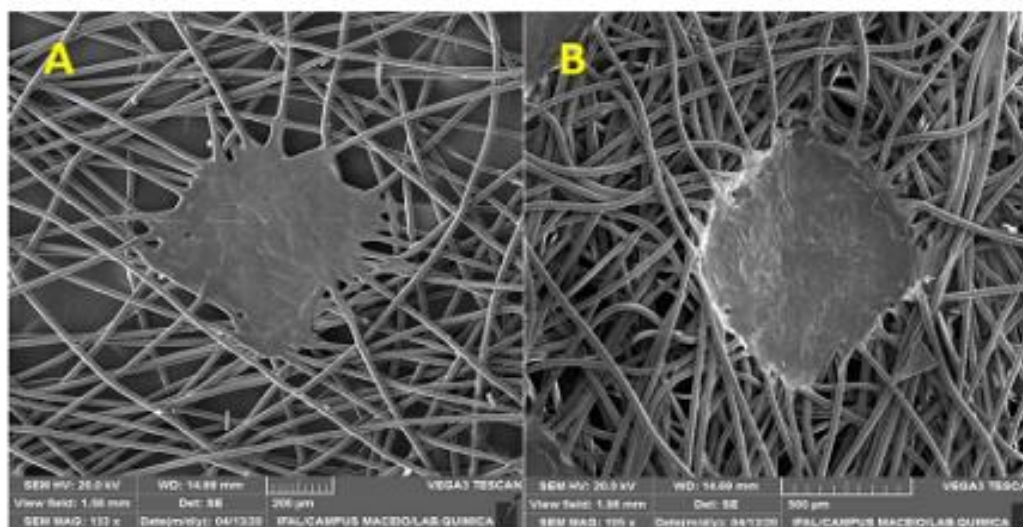
Fonte: Autor, 2024.

As possíveis destinações para o material podem ser semelhantes às sugeridas para o material 7, principalmente devido à sua maior pureza. Esta pureza adicional reforça a viabilidade das mesmas opções de destinação aplicadas ao material 7. Que é principalmente a possibilidade de retorno a indústria de polímeros, para que passe por processamento e sejam aplicadas na confecção de novos produtos.

4.2.9. Material 9

O fabricante não forneceu uma classificação específica para este material, que aparece exclusivamente em um modelo de cabos. Com base na análise visual, concluiu-se que ele possui características físicas semelhantes às de um Tecido Não Tecido (TNT). O TNT, que é amplamente utilizado na confecção de máscaras, foi analisado microscopicamente por Rodrigues (2020), conforme ilustrado na Figura 4.27.

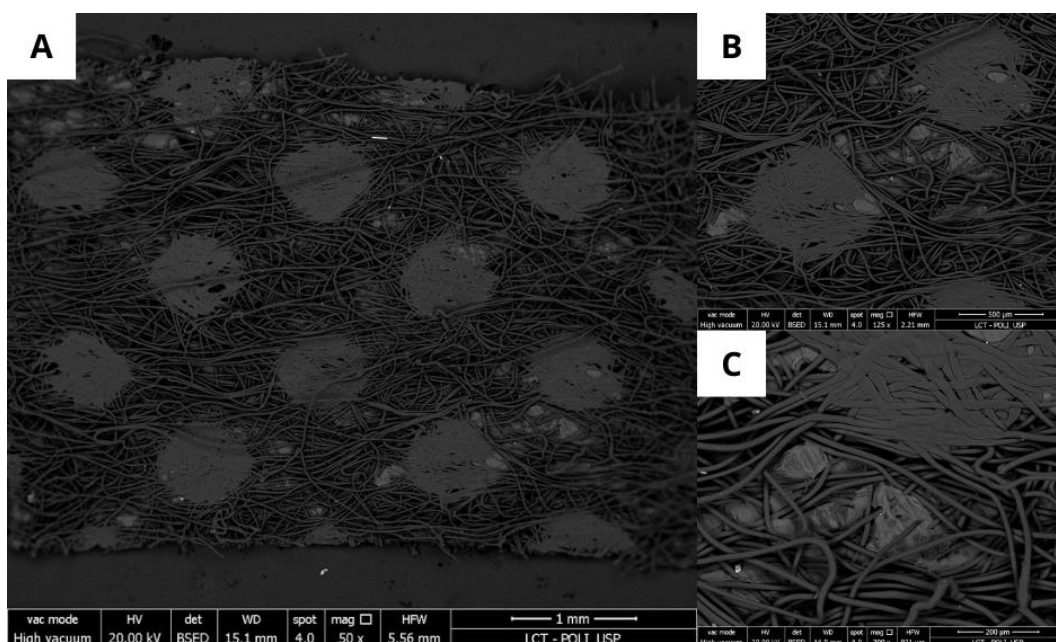
Figura 4.27: Microscopia realizada em TNT no Instituto federal de Alagoas



Fonte: Rodrigues (2020)

Rodrigues (2020) destaca que o TNT é caracterizado pela presença de fibras entrelaçadas e unificadas por pontos de solda, que são áreas onde as fibras são unidas por processos térmicos ou adesivos para formar um tecido coeso, como ilustrado na Figura 4.27. Na Figura 4.28, uma análise microscópica da amostra do material 9 revela características semelhantes às observadas na Figura 4.27, embora também se identifique um material adicional impregnado em algumas regiões da superfície, que podem ser melhor observadas na ampliação da imagem do material em 300x (Figura 4.28(C)).

Figura 4.28: Imagem de MEV do material 9



(a) material 9 com ampliação 50x, observa-se um tecido não tecido caracterizado pelos pontos de solda na imagem; (b) ampliação 125x, é pode ser observado a presença de um material diferente em alguns pontos do material; (c) ampliação 300x, confirma-se a presença de um material que aparece aderido as fibras.

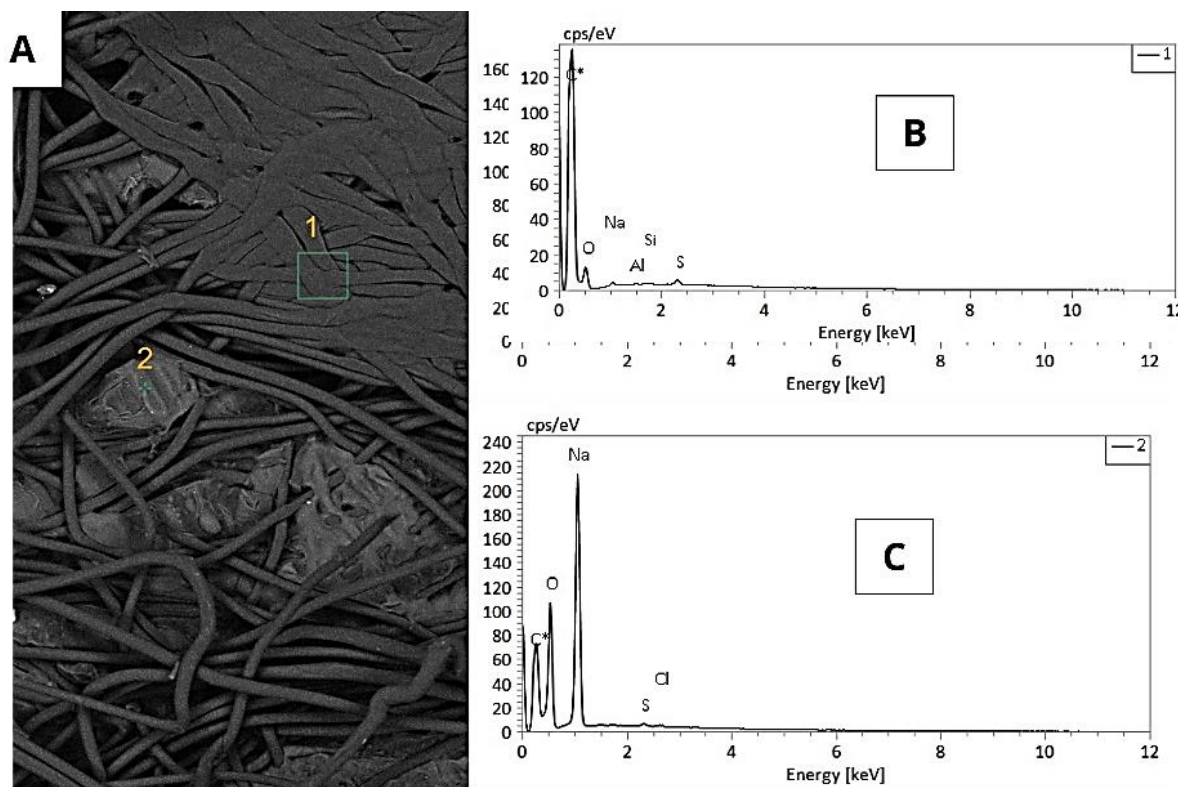
Fonte: Autor, 2024.

Quanto à composição química, Pimentel e Costa (2022) descrevem o TNT como sendo composto principalmente de polipropileno (PP), com a fórmula química $(C_3H_6)_N$. Ao analisar os elementos encontrados no EDS da amostra deste material (Figura 4.29), observa-se na Figura 4.29(B) que a análise pontual sobre as fibras revela uma composição predominantemente baseada em carbono, similar a outros polímeros anteriormente discutidos. Além do carbono, foram identificados outros elementos químicos, como Sódio (Na) e o Oxigênio (o) que podem estar associados ao material adicional observado em meio as fibras do TNT. Ou ainda dos outros materiais, como a pequena quantidade de Silício (Si) que pode representar fragmentos de vidro do bastão representado no material 3.

Quanto ao material presente em meio as fibras, na Figura 4.29(C) é apresentada a sua composição química, que é idêntica à que foi observada na impureza encontrada no material 7, o pó bloqueador de água, que segundo ELETROTRANSOL, 2024, contém elementos como carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O), sódio (Na).

Esse material, analisado no ponto 2 na Figura 4.29(A) parece estar aderido à vazios formados entre as fibras. Seus principais elementos característicos são o Oxigênio (O) e o Sódio (Na).

Figura 4.29: Análise EDS do material 9



(a) imagem MEV do material 9 com a demarcação dos pontos para análise EDS ; (b) análise EDS geral referente a área 1 ; (c) análise EDS geral referente ao ponto 2, aplicado ao material encontrado entre algumas fibras.

Fonte: Autor, 2024.

Quanto a sua destinação, a reciclagem mecânica de resíduos têxteis, segundo Velicko, Amrginski e Hemkemeier (2020), destaca-se como uma solução sustentável e eficaz, desde que seja precedida por uma análise criteriosa do tipo de tecido e de sua aplicação futura. Essa prática permite que resíduos de poliéster sejam transformados em mantas de isolamento de alta qualidade, superando em desempenho as mantas comercialmente disponíveis. Além de reduzir o volume de resíduos têxteis enviados para aterros, esse processo contribui para a economia circular, promovendo o reaproveitamento de materiais e a diminuição da demanda por recursos naturais.

Conforme o estudo de Trajković *et al.* (2017), a eficiência de mantas de isolamento térmico e acústico, produzidas a partir de resíduos têxteis de poliéster, foi avaliada, destacando a utilização do TNT 100% polipropileno como revestimento para a estrutura de isolamento. Essa abordagem complementa a ideia de que a reciclagem mecânica de resíduos têxteis, como o poliéster, não só é viável, mas também resulta em produtos de alta performance,

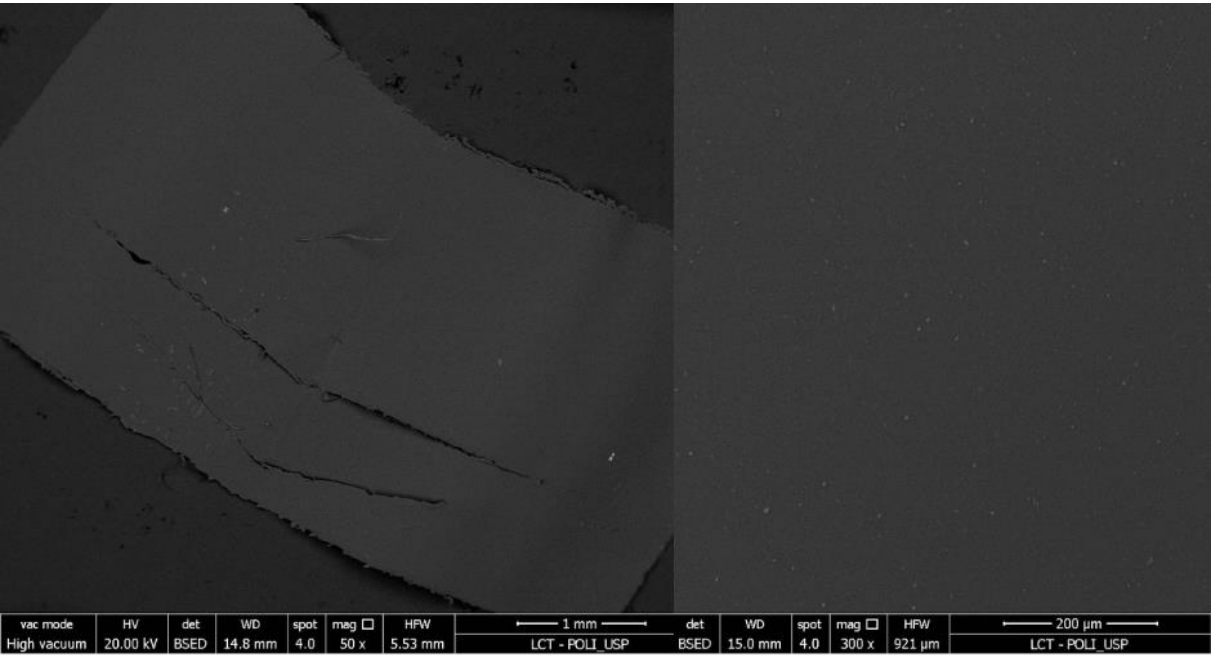
especialmente quando combinados com materiais como o TNT, reforçando o valor desses resíduos na criação de soluções sustentáveis e eficientes.

4.2.10. Material 10

O material 10, assim como o material 9, não foi indicado, pelos fabricantes, nas especificações dos materiais presentes no cabo, mas apareceu em um dos cabos estudados, conforme observado na caracterização visual. O material apresenta características que remetem ao celofane, sendo uma fina película transparente e maleável. Ele é utilizado para envolver e organizar os materiais internos dos cabos.

A imagem do MEV (Figura 4.30) mostra que a superfície do material apresenta uma homogeneidade, semelhante à observada em outros polímeros analisados neste trabalho.

Figura 4.30: Imagem de MEV do material 10

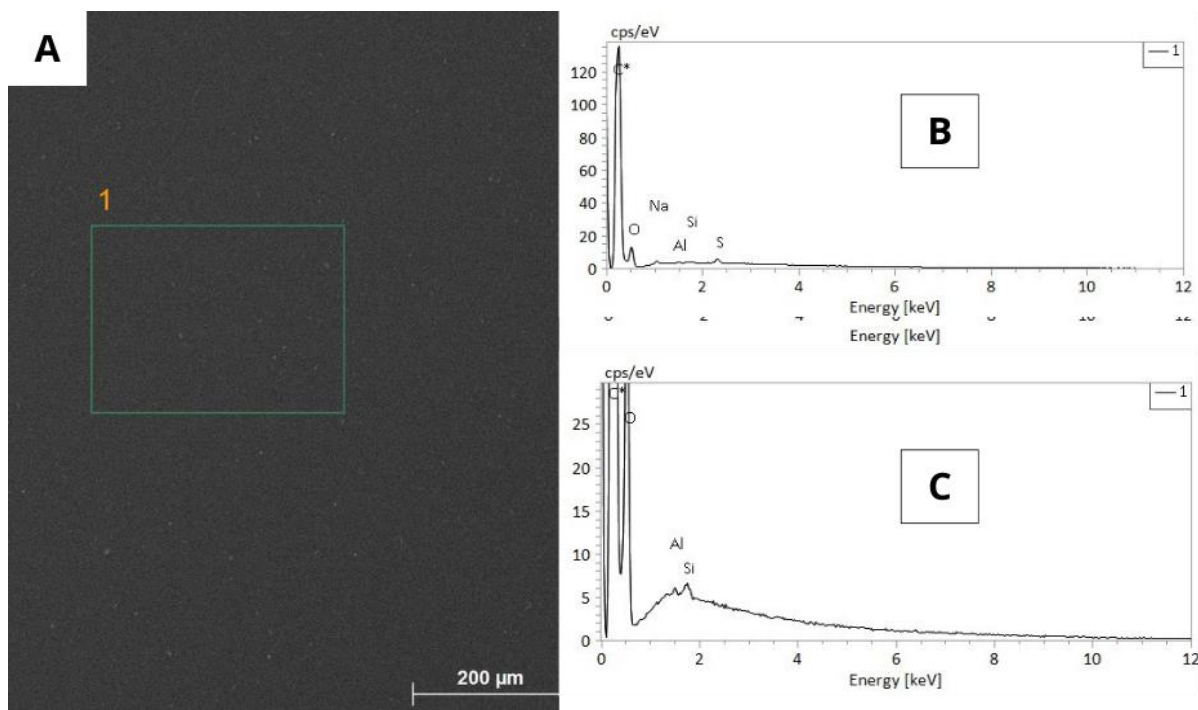


(a) imagem da face do material 10, ampliação 50x; (b) ampliação 300x da face.

Fonte: Autor, 2024.

No EDS da amostra (Figura 4.31) observa-se uma alta presença de carbono e oxigênio, características típicas de polímeros. No entanto, a ausência de informações específicas fornecidas pelos fabricantes dificulta a comparação com os diversos polímeros descritos na literatura.

Figura 4.31: Análise EDS do material 10



(a) imagem do material 10 com a demarcação da área para análise EDS; (b) análise EDS geral analisando todos os elementos presentes na área 1; (c) ampliação da figura B, visando observar melhor os materiais em menor quantidade.

Fonte: Autor, 2024.

Como não há uma determinação específica do polímero presente neste material, não é possível apresentar uma destinação específica. Entretanto, é importante destacar que a ampla variedade de polímeros existentes se destaca pela possibilidade de reciclagem, como foi observado anteriormente. Portanto, é essencial realizar análises adicionais por meio de outros experimentos para determinar a classificação adequada deste material.

Pode-se assim dizer que a identificação e aplicação adequada das destinações dos materiais reforçam a importância de estratégias para o manejo e reaproveitamento de resíduos, refletindo uma abordagem positiva e sustentável no tratamento de materiais.

4.3. CLASSIFICAÇÃO DO RESÍDUO DOS CABOS

Conforme discutido no Capítulo 03, existem diferentes formas de classificação dos resíduos. Considerando que os cabos são compostos por diversos materiais e chegam ao descarte inteiros, é possível adotar as classificações apresentadas no Quadro 4.3. Essas classificações foram estabelecidas com base em uma observação superficial dos cabos e na análise das características dos materiais que o compõe com base na caracterização apresentada no item 4.2, bem como na sua origem.

Quadro 4.3: Classificação dos Resíduos de cabos ópticos

CLASSIFICAÇÃO	CABO ÓPTICO
Perante a periculosidade	Classe IIB
Segundo a origem do material	Resíduo Industrial
Degradabilidade e Composição química	Resíduo Inorgânico/ Dificilmente degradável

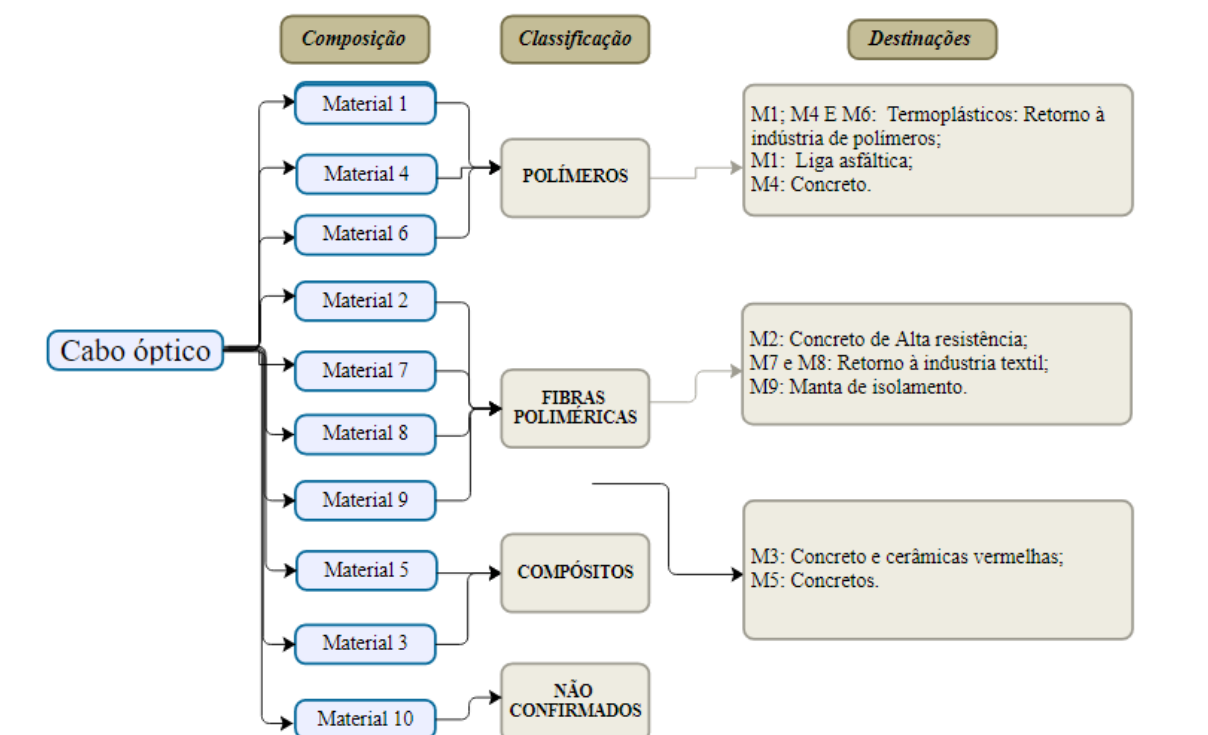
Fonte: Autor (2024)

Para definição quanto a sua periculosidade foi tomado o fluxo apresentado na Figura 2.7, consultado os anexos da ABNT NBR 10.004:2004 e considerando as observações do material, foi classificado como não perigoso e inerte recebendo a classificação indicada. Já a classificação por sua origem, diante das possibilidades se adequa no âmbito industrial estando ligado diretamente à indústria das telecomunicações. Por fim compreendendo a presença dos principais materiais do cabo, como citado também no Item 2.1, estes conferem materiais inorgânicos e que em sua grande maioria apresentam difícil degradabilidade, logo essas considerações foram tomadas para o cabo.

4.4 PROCESSO DE DESTINAÇÃO PARA O CABO

O processo de destinação dos materiais depende de várias fases, que começa no gerador, passando pela triagem, separação e em alguns casos processamento prévio. Na Figura 4.32 é apresentada uma síntese das destinações de cada um dos materiais conforme analisados no item 4.2. Neste tópico serão observadas as principais dificuldades do processo de destinação destes, bem como proposição de ações e ferramentas para facilitar esse processo.

Figura 4.32: Destinações e classificação apresentadas para os diferentes materiais



Fonte: Autor, 2024.

Como verificou-se anteriormente, existem diversos documentos legislativos sobre a destinação, classificação e movimentação de resíduos, como apresentado no Item 2.1.1. Assim, tem-se diversas possibilidades e indicações de destinação.

Com base no Quadro 4.4, todos os materiais do cabo identificados como polímeros podem ser reintroduzidos na indústria de produção e reciclagem de polímeros, uma vez que são classificados como termoplásticos, incluindo os materiais 1, 4 e 6. Além disso, os materiais 7, 8 e 9 também mostram viabilidade de reciclagem em suas respectivas indústrias de fabricação. Embora a composição do material 10 ainda não tenha sido confirmada, ele demonstra potencial para reciclagem na indústria. Essas possibilidades foram constatadas por meio dos estudos apresentados nas caracterizações dos materiais em cada um dos seus respectivos itens.

Além disso, os materiais 2, 3 e 5, que são compósitos, embora não sejam viáveis para reciclagem direta na indústria, foram testados em combinação com outros materiais na produção de concretos e cerâmicas, demonstrando viabilidade nessas aplicações. Essas utilizações permitiram atribuir características como maior resistência e transmitância de luz ao concreto tradicional, além de atuarem como substitutivos em pequenos volumes de agregados.

Todas essas destinações permitem que os materiais recebam tratamento adequado e sejam aplicados a novos usos, conforme apresentado no item do 4.2, onde foi demonstrada a viabilidade de cada aplicação. Se essas destinações forem realmente implementadas, garantem que não haverá necessidade de disposição final dos componentes do cabo, abordando a problemática da falta de destinação correta que ainda é enfrentada em algumas regiões do Brasil, conforme apresentado no item 2.2.

Tendo em vista a possibilidade de destinação dos materiais, é crucial discutir as problemáticas que interferem no processo para que esses materiais realmente recebam a destinação adequada. Apesar de existirem destinações definidas, tanto para os materiais estudados quanto para outros, muitos acabam não sendo devidamente direcionados, devido a diversos obstáculos no processo.

Um dos principais pontos do não tratamento dos resíduos é a comunicação e trabalho conjunto entre todos os envolvidos. Esse é um processo de construção da cidadania que exige políticas públicas eficazes, destacando a importância do poder público em sua estruturação e condução. Porém, é essencial a participação de outros atores sociais, como o setor empresarial, que tem um papel crucial na consecução dos objetivos da PNRS, pois sua responsabilidade vai além da venda do produto, incluindo sua destinação final (pós-consumo). Além disso, talvez é importante o envolvimento da população, já que o nível de sua participação determina o resultado a ser alcançado, pois a construção de uma cidade sustentável com um ambiente saudável depende do destino dado aos resíduos produzidos (Silva, 2013).

De acordo com a PNRS, a responsabilidade compartilhada consiste em um conjunto de atribuições individualizadas e interligadas entre fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e os responsáveis pelos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, visando minimizar a quantidade de resíduos gerados (Brasil, 2010). Se os setores não tomarem a responsabilidade de forma conjunta os processos e propostas tornam-se sem utilidade uma vez que os ciclos não se fecham.

Outro problema comum em várias situações, especialmente quando se trata de logística reversa, é a localização, pois estar distante dos grandes centros do país dificulta a contratação de empresas credenciadas pelos órgãos ambientais para serviços de destinação correta de resíduos, conforme exigido pela legislação, além de acarretar altos custos devido às grandes distâncias necessárias para o transporte desses resíduos (Faria; Santos, 2020).

Além das dificuldades geográficas, é relevante mencionar a questão da diversidade de materiais disponíveis, onde alguns possuem valor comercial enquanto outros são amplamente

reconhecidos pela sociedade como problemáticos, quase como um senso comum, tais como lixo eletrônico, hospitalar e resíduos de construção civil, além daqueles que geralmente não são do conhecimento do público em geral, como cápsulas de café, EPS e vidro (Palombini; Cidade, 2022). Muitos produtos são tratados como problemáticos pelo fato da sua complexidade e quantidade de diferentes materiais na composição, sem contar na evolução tecnológica em que avança rapidamente e ainda não se possui tratamento específico para todos os materiais.

É crucial ressaltar que determinados tipos de resíduos, mesmo sendo considerados simples e de fácil reprocessamento, também requerem atenção das esferas administrativas e da população, já que muitos materiais de fácil processamento não são visualizados e não despertam o interesse da população em algumas realidades, mesmo possuindo valor agregado considerável (Palombini; Cidade, 2022). Esse é um papel voltado para disseminação de conhecimento, que neste caso pode-se frisar não somente o conhecimento técnico dos materiais, mas também a demanda de educação ambiental da sociedade.

As principais problemáticas podem ser classificadas como voltadas à falta de informação entre os indivíduos, seja por desconhecimento de onde reciclar, falta de conhecimento sobre os materiais e suas aplicações, ou insuficiência de educação ambiental. Além disso, questões relacionadas à consciência ambiental e à implementação da logística reversa nas empresas também desempenham um papel significativo.

Salienta-se que a busca por uma maior eficiência no processo de destinação adequada aos resíduos demanda um trabalho conjunto na pesquisa, na educação ambiental e principalmente na conscientização por parte dos geradores sejam estes pequenos ou grandes geradores e, ainda por parte dos gestores públicos.

Visando facilitar os processos de destinação principalmente voltados aos cabos de fibra óptica, foi pensado na proposta de uma aplicação que tem por finalidade a universalização das informações, inserção de comunicações voltadas as características e possibilidades de descartes dos materiais dos cabos.

Neste trabalho foi realizada a criação de interfaces que permitem esboçar a estrutura dessa aplicação, entendendo onde se esquadriariam os usuários e quais finalidades este teria, de acordo com as demandas relacionadas ao processo de destinação para esses cabos.

Na Figura 4.33 é apresentada a tela principal desta aplicação com as suas principais funcionalidades que são:

- I. Notícias: Área em que podem ser inseridos conteúdos e informações relevantes aos usuários, podendo ser atualizadas de acordo com a necessidade;

- II. Quero reciclar: Permite ao usuário realizar um cadastramento na plataforma, onde seus dados serão apresentados quando outros usuários procurarem por recicladores;
- III. Recicladores: Possibilita realizar uma busca aos recicladores cadastrados por meio da região que se deseja destinar resíduos;
- IV. Catálogo de cabos: Aciona o acervo de informações de cabos ópticos que foram cadastrados, conforme características analisadas nesse trabalho, como diâmetro e composição de materiais;
- V. Calculadora de medidas: A função tem como objetivo realizar conversões de grandezas de massa e comprimento, facilitando a elaboração de documentos e a obtenção de informações essenciais para a destinação adequada dos materiais. Por exemplo, converter metragens em massa, ou vice-versa.

Figura 4.33: Interface da proposta de Aplicação



Fonte: Autor (2024)

A arquitetura do aplicativo proposto visa abordar várias das problemáticas relacionadas à destinação de resíduos, especialmente aquelas mencionadas anteriormente, como a falta de

informação, a dificuldade de encontrar locais para reciclagem e o desconhecimento dos materiais e suas aplicações. A função de Notícias é particularmente importante, pois oferece um espaço para a inserção de conteúdos e informações relevantes aos usuários, atualizando-os sobre legislações, tecnologias e práticas sustentáveis. Esse recurso contribui para a educação ambiental e aumenta a conscientização sobre a importância da destinação adequada dos resíduos.

Além disso, o aplicativo ajuda a superar a dificuldade de encontrar pontos de reciclagem através das funções Quero Reciclar e Recicladores. A função "Quero Reciclar" permite aos usuários se cadastrarem na plataforma, facilitando a conexão com recicladores que podem destinar seus resíduos de forma adequada. Por sua vez, a função Recicladores possibilita a busca por recicladores cadastrados de acordo com a região desejada. Essa funcionalidade ajuda a resolver problemas relacionados à localização e à logística reversa, conectando geradores de resíduos com empresas especializadas na destinação correta.

O aplicativo também oferece um Catálogo de Cabos, que fornece informações detalhadas sobre os cabos ópticos estudados, incluindo suas características, como diâmetro e composição de materiais. Esse recurso é essencial para ajudar os usuários a entender melhor os materiais com os quais estão lidando e suas possíveis aplicações para destinação e reutilização.

Por fim, a Calculadora de Medidas do aplicativo é uma ferramenta fundamental para a conversão de grandezas de massa e comprimento, o que facilita a elaboração de documentos precisos e a obtenção de informações essenciais para a destinação adequada dos materiais. Ao simplificar a medição e a documentação, essa função ajuda a garantir que as quantidades de resíduos sejam corretamente mensuradas e comunicadas, otimizando os processos burocráticos e operacionais.

Em resumo, o aplicativo seria uma ferramenta crucial para conectar diversos atores na cadeia de reciclagem e destinação de resíduos, promovendo a sustentabilidade e aumentando a eficiência do processo. Ele resolve questões relacionadas à falta de informação, dificuldades logísticas e desconhecimento dos materiais, facilitando a implementação de práticas de destinação correta e contribuindo para uma gestão dos recursos.

Ela foi projetada para ser intuitiva e prática, facilitando a busca por recicladores, o acesso a informações sobre os cabos e a conversão de medidas. Todas as interfaces e funções especiais da aplicação foram esboçadas para o seu funcionamento, estas podem ser observadas no Apêndice I.

Capítulo 5

CONCLUSÕES

O conhecimento dos materiais dos cabos de fibra óptica e as possibilidades de destinação fomentam a sua reciclagem. O objetivo desse trabalho foi propor estratégias para destinação sustentável de cabos de fibra óptica pós-uso, baseado na caracterização dos materiais que os compõe. Assim, as seguintes conclusões foram alcançadas:

- a) os cabos não são constituídos de um material perigoso, entretanto apresentam condições de difícil degradabilidade no meio, o que mostra a necessidade da tomada de medidas quanto à destinação adequada;
- b) Os materiais mais presentes nos cabos analisados são: polietileno linear de baixa densidade, a fibra de vidro e poliolefina com carga antichama. Estes materiais também representam maior percentual de massa nos cabos.
- c) A análise microscópica das amostras revelou uma estrutura homogênea e características específicas das superfícies dos materiais. O EDS mostrou que os elementos mais presentes são: carbono, oxigênio, silício, enxofre, cloro e nitrogênio. A identificação desses elementos permitiu indicar a correta destinação dos materiais.
- d) Os materiais dos cabos têm destinação direcionada para retorno à indústria, processamento em ligas asfálticas, concretos de alta resistência e cerâmicas vermelhas, bem como para a produção de mantas de isolamento, evidenciando a versatilidade e a inovação nas aplicações.
- e) A arquitetura de interface do aplicativo mostra-se como uma importante ferramenta para a gestão eficiente de resíduos, especialmente de cabos de fibra óptica. Sua importância está em melhorar a comunicação, fornecer dados atualizados e incentivar a participação ativa na reciclagem. Além disso, ao possibilitar testes para a criação real de uma aplicação, ela pode contribuir para uma gestão sustentável dos resíduos.

Portanto, a pesquisa demonstrou que os cabos de fibra óptica possuem viabilidade para separação e destinação adequada dos seus materiais, conforme detalhado nos resultados. Conhecer os materiais dos cabos pode proporcionar a destinação adequada e, assim a redução do volume de resíduos gerados. Salienta-se que a utilização de ferramentas, como a arquitetura de aplicativo sugerida, é importante para superar as lacunas no processo de destinação. Com a

implementação dessas ferramentas, é possível otimizar a gestão dos resíduos, garantindo que os materiais sejam corretamente separados e reaproveitados, contribuindo para uma gestão sustentável.

5.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

1. Mapeamento e Realização do estudo com outros modelos e marcas de cabos ópticos disponíveis no mercado Brasileiro;
2. Desenvolvimento de aplicação para disseminação das informações e contato entre os interessados;
3. Levantamento do volume de geração desse resíduo por tipologia e geradores;
4. Levantamento das possíveis cooperativas que trabalham com materiais presentes nos cabos;
5. Estudo da viabilidade financeira de reciclagem dos cabos mediante os materiais;
6. Estudo e elaboração de proposta de usina de triagem e beneficiamento dos cabos.
7. Estudo da aplicação de fibra de aramida proveniente de cabos ópticos pós-uso em concreto de alta resistência.

REFERÊNCIAS

ABDUL-RAHMAN, F. *Reduce, Reuse, Recycle: Alternatives for Waste Management*. Guide G-314, New Mexican, 2014. Disponível em: http://aces.nmsu.edu/pubs/_g/G304.pdf. Acesso em: 19 ago. 2024.

AKABANE, G. K.; BUSSOLA, F. J. A importância da logística reversa no processo de “recall” como fator de melhoria numa indústria automobilística. *Brazilian Journal of Business*, v. 4, n. 4, p. 2602–2613, 2022.

ALMEIDA, Ricardo Laguardia Justen de. Comportamento mecânico do concreto de alta resistência reforçado com fibras. 2023. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/19007>.

ALVES, CARLOS ANTONIO DIAS; SOUZA, CHM; PINTO, G. A. Tecnologias e Novos Modos de Comunicação: a (re) invenção do conhecimento no ciberespaço na percepção dos docentes imigrantes digitais de uma universidade pública. 2013. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Cognição e Linguagem)–Uenf. Campos dos Goytacazes, RJ.

AŞKAN, Vala Can *et al.* APMAS 2020 Livro de Resumos. Em: Acta Materialia Turcica. Gebze: Universidade Gebze Teknik, 2020. p. 1-33.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2020. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2020>. Acesso em: 22 jun. 2024.

AWASTHI, A. K. *et al.* Zero waste approach towards a sustainable waste management. Elsevier B.V., 2021.

BARBOSA, F. T. Uma abordagem teórica da logística, oportunidade de negócio: estudo de caso numa empresa de rebeneficiamento de pallets e papelão ondulado. *Revista CIENTEC*, v.

9, n. 1, p. 105–119, 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/375769174>. Acesso em: 19 ago. 2024.

BERTOLOTO, D.; GUSHIKEN, Y. Intercom-Sociedade Brasileira de Estudos Interdisciplinares da Comunicação. 2022.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 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. *Diário Oficial da União*, 2010.

BRASIL, R. G. A. *et al.* Proposta de plano de gerenciamento de resíduos sólidos do processo de reparo de redes de fibra óptica. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 6, p. 39491–39505, 2020.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 481, de 03 de outubro de 2017. Ministério do Meio Ambiente: 2017.

BRASIL, Anna Maria; SANTOS, Fátima. Dicionário: o ser humano eo meio ambiente de A a Z. FAARTE, 2007.

BUENO, C. N. *et al.* Influência nas propriedades de concretos de pós reativos com a incorporação de fibras de aramida. *+Ingenio*, n. Jul-Dic 2021 V3 N2, p. 90–101, 2022.

CAI, Yaping; MITRANO, Denise M.; HEUBERGER, Manfred; HUFENUS, Rudolf; NOWACK, Bernd. The origin of microplastic fiber in polyester textiles: The textile production process matters. *Journal of Cleaner Production*, v. 267, p. 121970, 2020. ISSN 0959-6526. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121970>. Acesso em: 14 ago. 2024.

CALLISTER JR, William D.; RETHWISCH, David G. Ciência e engenharia de materiais: uma introdução . John wiley & sons, 2020.

CAMPOS, M. L.; PACHECO, M. dos A. F.; PINHEIRO, É. C. N. M. Estudo de caso: aumento na geração de energia elétrica no aterro sanitário de Manaus pelo uso do biogás. *Brazilian Journal of Development*, v. 8, n. 11, p. 70668–70689, 2022.

CHIADIGHIKA OBI, P. C. *et al.* A review of the structural properties of translucent concrete as sustainable material. *The Open Construction & Building Technology Journal*, v. 17, n. 1, 2023.

DA SILVA, F.; CERVIERI, L. Tratamento de resíduos sólidos: uma grande contribuição para o meio ambiente. *Revista Maiêutica*, Indaial, 2015.

COELHO, Dayse Natália Matos *et al.* Estudo fractográfico de compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras de Açaí e Curauá. 2021.

DE JESUS, Á. F. S. Gerenciamento sustentável de resíduos sólidos urbanos e rurais. *Cadernos de Graduação Ciências Exatas e Tecnológicas*, v. 2, n. 2, Aracaju, out. 2014, p. 11–22.

DE PAULA, J. C. M.; FERONI, R. de C. Utilização do ciclo PDCA e aplicação do milk run em um processo de logística reversa em uma indústria de alimentos. *Brazilian Journal of Production Engineering - BJPE*, p. 16–30, 2021.

DE SOUZA, E. A. Fibra óptica: redes de fibra no meio urbano, 2022.

DESCLAUX, L. Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos: comparação dos impactos ambientais com a disposição em aterro sanitário e a geração de eletricidade de gás natural. *Revista Brasileira de Energia*, v. 28, n. 4, 2023.

DOS, J. A. *et al.* Caminhos sustentáveis para a fibra óptica: reduzindo impactos ambientais através do descarte responsável e reciclagem. 2023.

DURÁN, D. M. F.; SÁNCHEZ, E. P.; HERNÁNDEZ, R. A. C. Uso de metacaolín, vidro reciclado e fibra óptica na elaboração de um concreto translúcido. *ITECKNE*, p. 158–166, 2010.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. A new textiles economy: Redesigning fashion's future. 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/41279/1/MétodosReciclagemGestão.pdf>. Acesso em: ago. 2024.

ELETROTRANSOL. Cabo óptico totalmente seco TS. Disponível em: <https://institucional.elektrotransol.com.br/cabo-optico-totalmente-seco-ts/>. Acesso em: 24 ago. 2024.

FARIA, A. R.; SANTOS, A. C. Logística reversa: dificuldades e desafios para empresas de alimentos do norte do Paraná. *Revista Americana de Empreendedorismo e Inovação*, 2020.

FARIA, Érica Aparecida de; SILVA, Gabriela Francisca do Carmo; FANTONI, João Pedro. Caracterização e reciclagem de carretéis plásticos de indústria de circuitos eletrônicos. 2024.

FONSECA, A. R. *et al.* Recyclable plastics without absorption in the recycling market: an overview of the (non) circular economy of plastics and the contributions of design. *IX Simpósio de Designer Sustentável*, 2023, p. 651–664.

FORSTER, A. L. *et al.* Desembaraçando fibras de aramida de copolímero de alta resistência para permitir a determinação de suas propriedades mecânicas. *J. Vis. Exp.* (139), e58124, 2018. DOI: 10.3791/58124.

FURUKAWA. Relatório Técnico Furukawa: Material alternativo para cruzeta de cabos cat. 6. Curitiba, 2013. Disponível em: <https://www.furukawatam.com/pt-br/catalogo-de-produtos-detalhes/cabo-multilan-cat6-uutp-cm>. Acesso em: ago. 2024.

GONÇALVES DE BARROS, Á.; MEDEIROS DE SOUZA, C. H.; TEIXEIRA, R. Evolução das comunicações até a internet das coisas: a passagem para uma nova era da comunicação humana. 2021.

HU, Y. *et al.* Assessing resource productivity for industrial parks using adjusted raw material consumption (ARMC). *Resources, Conservation and Recycling*, v. 124, p. 42–49, 2017.

JOHANN, D.; CAVALHEIRO, C. C. de M. A logística reversa como prática ambiental em uma cooperativa agroindustrial. *Revista de Gestão e Organizações Cooperativas*, v. 9, n. 18, p. e7, 2023.

KRAUCZUK, H. M. Reciclagem. *FESPPR Publica*, 2019.

LIMA, Tais Moura Pereira de et al. Impactos da degradação do plástico no meio ambiente e na saúde humana: uma revisão. 2022.

MARTELLI, A. *et al.* Análise de metodologias para execução de pesquisas tecnológicas. *Brazilian Applied Science Review*, v. 4, n. 2, p. 468–477, 2020.

MARTELLO, A.; CRISTINA, N.; BLEICHVEL, T. Análise sobre o uso de fibra de carbono e aramida em reforço estrutural, 2020.

MARTINS, B. L. *Gestão dos resíduos sólidos urbanos: análise documental e estudo comparativo entre aterro sanitário e incineração para geração de energia*. Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Campus de Botucatu, 2017.

MICHELE SANTOS ROCHA, T.; DE CALASANS, R. A. Gerenciamento de resíduos sólidos em pequenas empresas: O caso da padaria Pão Quente. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, 2022.

MONTAGNA, Larissa. Desenvolvimento de polipropileno ambientalmente degradável. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1856.4085>. Acesso em: ago. 2024.

MURPHY, J. D. *et al.* Development of a novel solid waste management strategy incorporating mechanical biological treatment for Ireland. *Waste Management*, v. 27, n. 4, p. 509-518, 2007.

ROCHA, L. G. *et al.* Análise das propriedades mecânicas de concreto de alta resistência incorporado com fibras de aço. *Revista Concreto & Construções*, v. 15, n. 87, p. 42-49, 2023.

SANTAELLA, Sandra Tédde et al. Resíduos sólidos e a atual política ambiental brasileira. 2014.

SATHIYAGOTHAI, B.; SARAVANAN, S. Reverse logistics in food processing industries in India. *International Journal of Economics & Management Sciences*, v. 6, n. 2, p. 1-4, 2017.

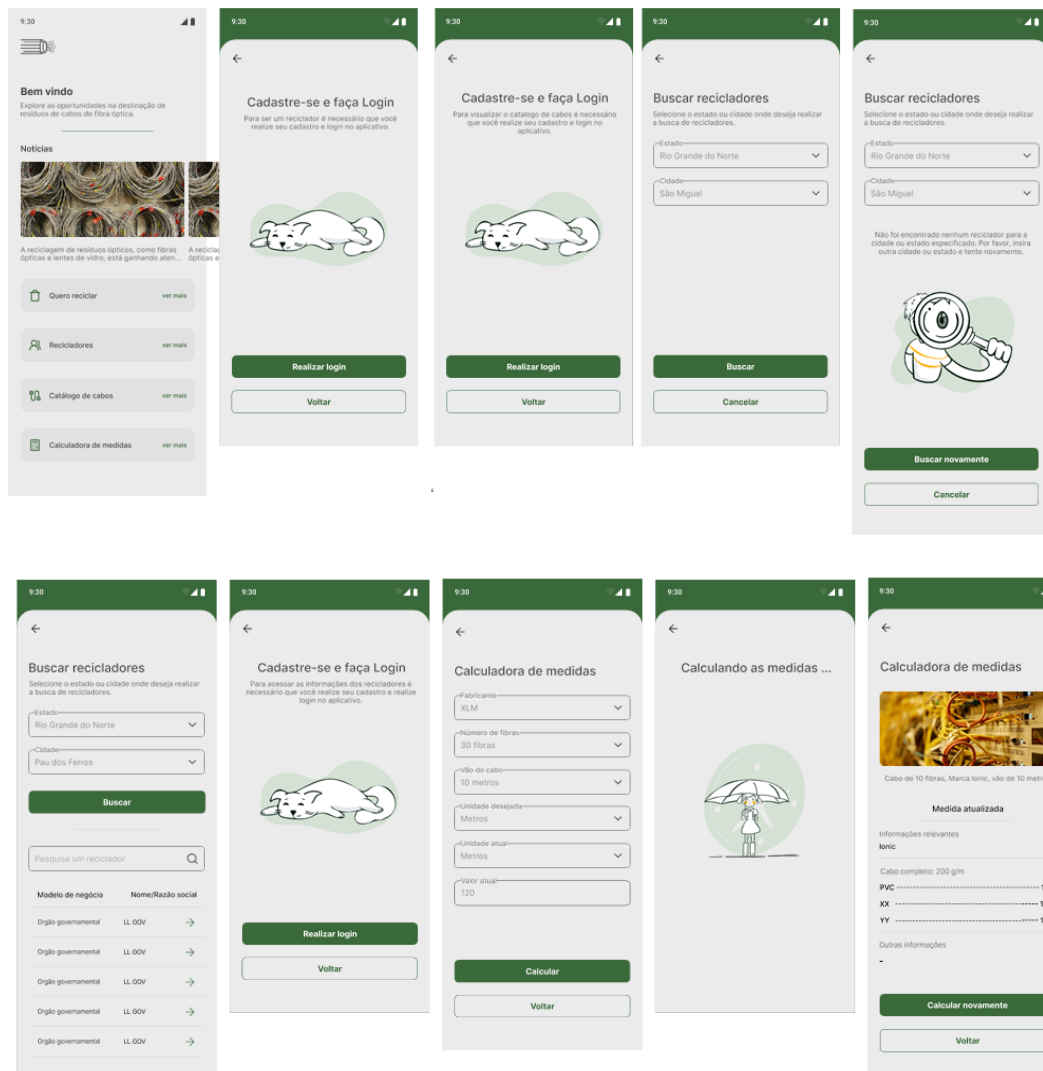
SCHNEIDER, C. L. *et al.* Desenvolvimento de compósitos de matriz cimentícia com fibras de aço. *Revista de Materiais, Processos e Manufatura*, v. 8, n. 1, p. 15-23, 2022.

SILVA, G. F. do C.; FARIA, É. A. de. *Caracterização de polímeros reciclados para fabricação de componentes eletrônicos*. São Paulo, 2024.

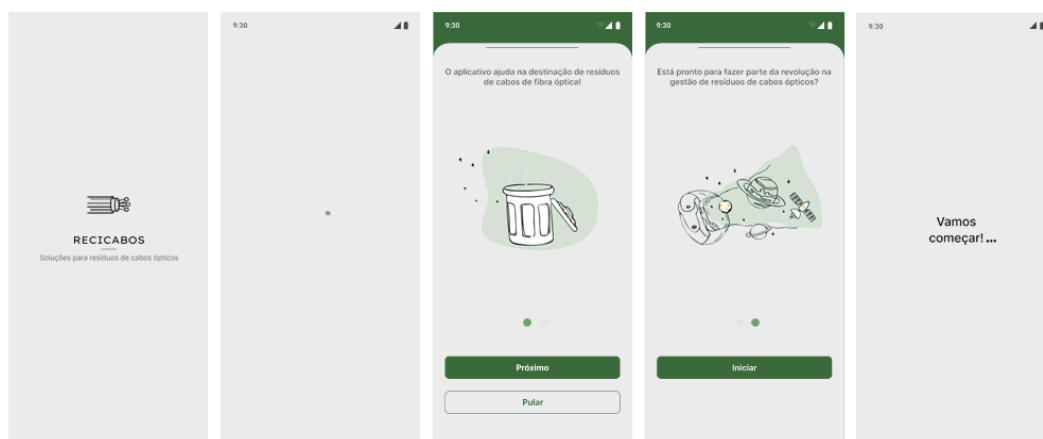
TOMÉ, G. R. *et al.* Gestão de resíduos em obra: Estudo de caso em uma construtora do estado de São Paulo. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 10, n. 1, p. 23-35, 2021.

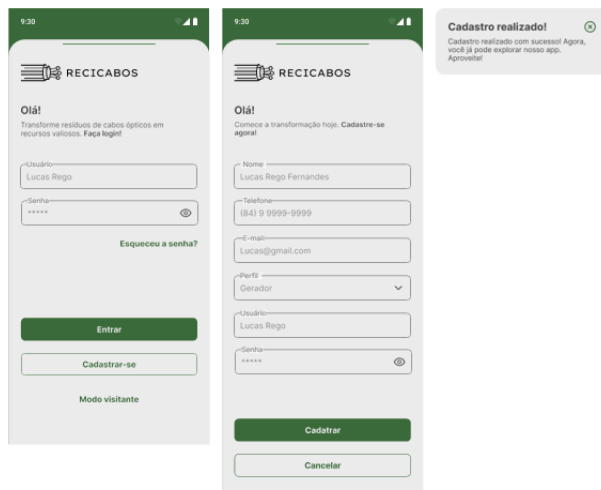
APÊNDICE I – Interfaces da aplicação sugerida

- Telas referente a navegação sem cadastro

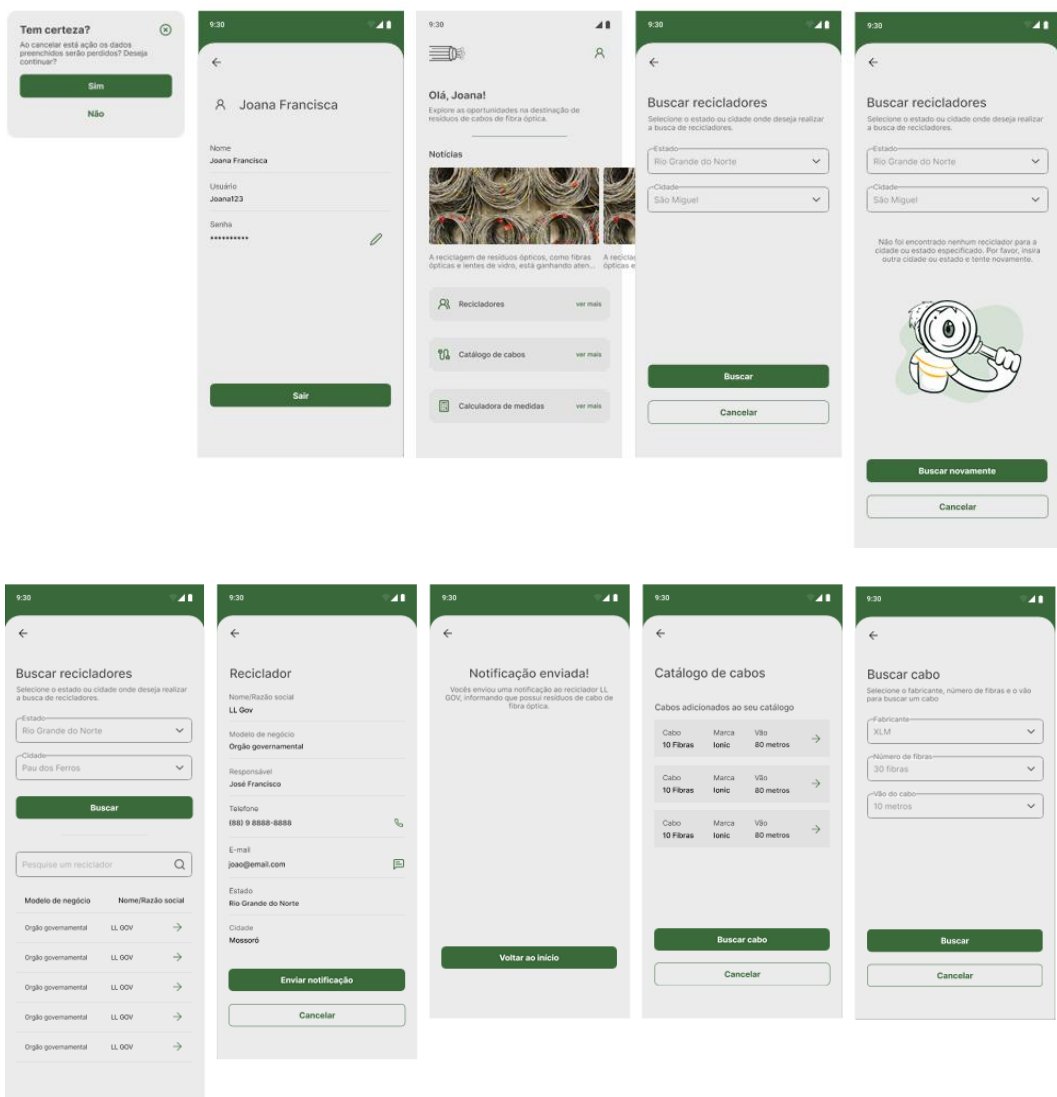


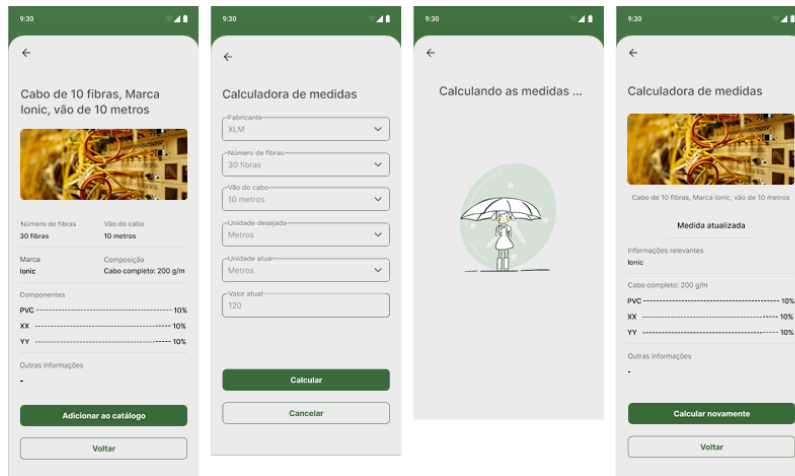
- Telas referente a criação de cadastro



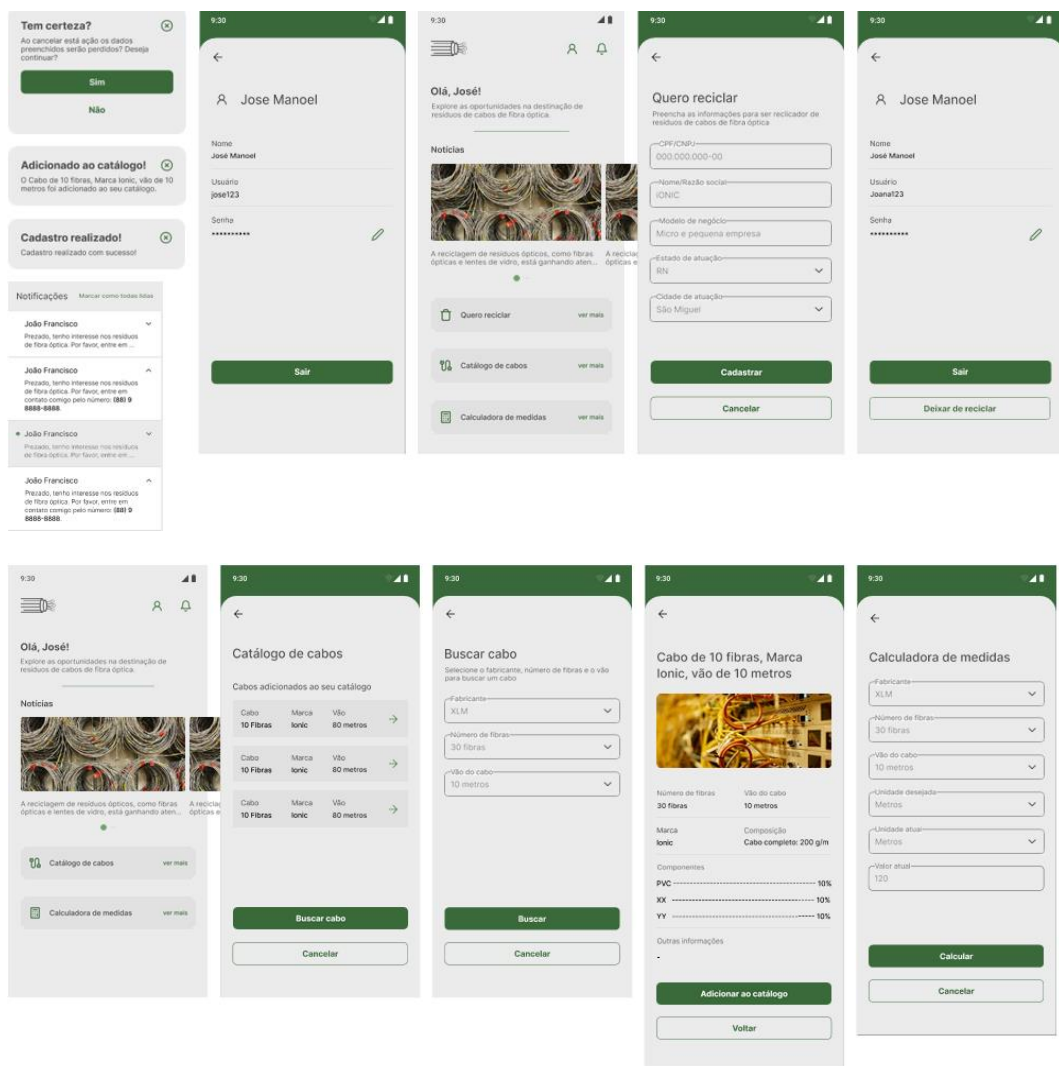


- Telas referente a navegação do usuário “gerador de resíduos”





- Telas referente a navegação do usuário “Reciclador”



- Telas referente a navegação do usuário “Reciclador”



- Telas referente a recuperação de senha

