

ORGANIZADORA
Vanusca Dalosto Jahno

R

ESÍDUOS POLIMÉRICOS EMPREGADOS EM FIXAÇÕES FERROVIÁRIAS

desafios e soluções sustentáveis



ORGANIZADORA
Vanusca Dalosto Jahno

R

ESÍDUOS POLIMÉRICOS EMPREGADOS EM FIXAÇÕES FERROVIÁRIAS

desafios e soluções sustentáveis



2026
São Paulo

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)

A642

Resíduos poliméricos empregados em fixações ferroviárias:
desafios e soluções sustentáveis / Organização Vanusca
Dalosto Jahno. – São Paulo: Pimenta Cultural, 2026.

Livro em PDF

ISBN 978-85-7221-605-0

DOI 10.31560/pimentacultural/978-85-7221-605-0

1. Fixações Ferroviárias. 2. Resíduos Poliméricos. 3. Isoladores.
4. Palmilhas. 5. Sustentabilidade. I. Jahno, Vanusca Dalosto
(Org.). II. Título.

CDD: 625.1

Índice para catálogo sistemático:

I. Engenharia Ferroviária

Simone Sales · Bibliotecária · CRB: ES-000814/O

Copyright © Pimenta Cultural, alguns direitos reservados.

Copyright do texto © 2026 os autores e as autoras.

Copyright da edição © 2026 Pimenta Cultural.

Esta obra é licenciada por uma Licença Creative Commons:

Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Internacional - (CC BY-NC-ND 4.0).

Os termos desta licença estão disponíveis em:

[<https://creativecommons.org/licenses/>](https://creativecommons.org/licenses/).

Direitos para esta edição cedidos à Pimenta Cultural.

O conteúdo publicado não representa a posição oficial da Pimenta Cultural.

Direção editorial	Patricia Bieging Raul Inácio Busarello
Editora executiva	Patricia Bieging
Gerente editorial	Landressa Rita Schiefelbein
Assistente editorial	Ana Flávia Pivisan Kobata Júlia Marra Torres
Diretor de criação/projeto gráfico	Raul Inácio Busarello
Assistente de arte	Naiara Von Groll
Editoração eletrônica	Stela Tiemi Hashimoto Kanada
Imagens da capa	alvaro_cabrera, cartoonstock, flatart, freelancereasin100, Harryarts, jayhermiony, jplenio1, loseyourself, macrovector_official, osman24, sergeiburtin, supandrigatot, vectorpouch, vectorstockstuff - Freepik.com
Tipografias	Acumin, Elizeth
Revisão	Landressa Rita Schiefelbein
Organizadora	Vanusca Dalosto Jahno

PIMENTA CULTURAL
São Paulo • SP
+55 (11) 96766 2200
livro@pimentacultural.com
www.pimentacultural.com



Apresentação..... 7

Panorama da sustentabilidade ferroviária 8

**Resíduos poliméricos
empregados em fixações
ferroviárias:**

desafios e soluções sustentáveis10

Introdução 11

Resíduos ferroviários 12

Resíduos de fixações poliméricas..... 13

Figura 1 - Disposição e destinação dos resíduos
industriais na Vale..... 13

Metodologia 14

Figura 2 - Resumo das etapas da metodologia 14

Resultados 16

Gerenciamento de resíduos sólidos (EFC)..... 16

Armazenamento dos resíduos
sólidos em ferrovia (EFC)..... 17

Figura 3 - Modelo de gestão dos resíduos da EFC..... 17

Figura 4 - Reaproveitamento de dormentes usados de concreto como muros de contenção	18
Figura 5 - Palmilhas fixadas nos dormentes de concreto reutilizados.....	19

Manuseio dos resíduos (EFC)..... 21

Figura 6 - Isoladores utilizados na via EFC	22
Figura 7 - Placas de identificação das palmilhas no local de armazenamento temporário	23
Figura 8 - Transporte de materiais novos pela via férrea por meio do trem.....	24
Figura 9 - Sugestão de containers que podem ser utilizados.....	25

Destinação final dos resíduos na EFC..... 26

Gerenciamento de resíduos (EFVM).....27

Figura 10 - Área administrativa da Vale CDMV	27
Figura 11 - Imagem dos isoladores utilizados na via EFVM.....	28

Armazenamento dos resíduos (EFVM) 29

Figura 12 - Pavilhão de armazenamento de materiais novos, sendo (a) lado sem parede de proteção aos raios solares e (b) lado com proteção ao intemperismo.....	29
Figura 13 - Materiais novos, sendo (a) Fardo de isoladores novos na prateleira do pavilhão e (b) Isoladores que retornaram da via (sobraram no fardo).....	30

Manuseio dos resíduos (EFVM)..... 31

Figura 14 - Isoladores utilizados na via EFVM, sendo (a) Isoladores em fim de vida e (b) Isoladores que sobraram do fardo	31
Figura 15 - Transporte de materiais novos pela via férrea através do trem, sendo (a) Vagão com materiais novos, (b) Grampos e dormentes e (c) Trem transportando materiais novos às sedes	33

Reciclagem de resíduos (EFVM)..... 34

Possibilidades de gerenciamento
dos resíduos das fixações
poliméricas ferroviárias 35

Figura 16 - Visão geral do capítulo Gerenciamento
de Resíduos das Fixações Poliméricas Ferroviárias.....36

Figura 17 - Etapas do gerenciamento de resíduos sólidos37

Figura 18 - Principais benefícios dos processos
de separação dos resíduos na fonte38

Figura 19 - Distribuição de organizações
de catadores de materiais recicláveis no ES 44

Cooperativa de recicladores
de Dois Irmãos, no Rio Grande do Sul..... 47

Figura 20 - Imagem dos cooperados
da Cooperativa de recicladores de Dois Irmãos 48

Figura 21 - Fluxograma de uma possível operação
de reciclagem mecânica das fixações poliméricas de ferrovia49

Quadro 1 - Equipamentos para reciclagem mecânica
de resíduos de fixações poliméricas ferroviárias 50

Quadro 2 - Etapas de reciclagem de palmilhas de
PU poliéster e de isoladores frontais e laterais de PA 6/6652

Considerações finais54

Referências 55

Sobre o autor e a autora 59

APRESENTAÇÃO

Prof.^a Dr.^a Vanusca Dalosto¹

O presente e-book, *Resíduos poliméricos empregados em fixações ferroviárias: desafios e soluções sustentáveis*, propõe uma reflexão técnica e crítica sobre a gestão de resíduos sólidos gerados por sistemas de fixação utilizados em ferrovias, com ênfase nos componentes poliméricos, como isoladores e palmilhas das ferrovias EFC (Estrada de Ferro Carajás) e EFVM (Estrada de Ferro Vitória a Minas), operadas pela Vale S.A. Em um contexto nacional, no qual a sustentabilidade e a economia circular se tornam estratégias para a competitividade industrial e a preservação ambiental, a pesquisa se insere como contribuição relevante para o desenvolvimento de soluções replicáveis e socialmente inclusivas no setor ferroviário brasileiro.

A abordagem metodológica contempla etapas de análise documental, caracterização físico-química dos materiais e elaboração de diretrizes de gerenciamento com foco na valorização dos resíduos. Destacam-se propostas de reprocessamento, logística reversa e integração com cooperativas de reciclagem, articulando os eixos ambiental, social e econômico da sustentabilidade. A partir de dados empíricos levantados *in loco* e respaldo técnico-científico, o trabalho apresenta alternativas viáveis de reaproveitamento dos resíduos poliméricos, como insumos em novos ciclos produtivos, alinhadas aos princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Este material busca não apenas disseminar conhecimento, mas também fomentar o diálogo entre a academia, o setor produtivo e a sociedade civil, contribuindo para o avanço de práticas inovadoras de gestão de resíduos nas infraestruturas de transporte do país.

¹ Coordenadora do Projeto "Desenvolvimento de Fixações Ferroviárias em Polímero" pela Cátedra Under Rail da Vale S.A. com a Universidade Feevale (Novo Hamburgo - RS, Brasil).

PANORAMA DA SUSTENTABILIDADE FERROVIÁRIA

Luciano Oliveira²

Iara Melo³

A sustentabilidade tornou-se um dos principais vetores de transformação no setor ferroviário brasileiro. Além de ser o modal de transporte mais eficiente em termos de consumo energético e emissões de gases de efeito estufa, as ferrovias têm se consolidado como símbolo de inovação ambiental e social no Brasil. O contexto atual aponta para uma transição definitiva rumo à economia circular, em que os resíduos deixam de ser vistos como passivos e passam a integrar cadeias produtivas que valorizam a eficiência de recursos e a

preservação ambiental. Essa mudança acompanha a tendência global liderada por organizações como a Ellen MacArthur Foundation, que defende o redesenho de sistemas produtivos para promover o reaproveitamento contínuo de materiais e reduzir a dependência de matérias-primas virgens.

Nesse cenário, as ferrovias da Vale S.A., representadas pela Estrada de Ferro Carajás (EFC) e pela Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM), ocupam posição de destaque na promoção de práticas operacionais sustentáveis. A Vale tem incorporado metas ambientais robustas, como a redução de 33% das emissões de carbono até 2030, o reaproveitamento de 100% da água industrial em diversas operações e a valorização crescente dos resíduos sólidos industriais. Tais compromissos estão alinhados aos Objetivos de

2 Mestre em Engenharia de Transportes. Engenheiro especialista em via permanente ferroviária na Engenharia de Ferrovias da Vale S.A., e líder técnico da Cátedra Under Rail. E-mail: oliveira.luciano@vale.com

3 Mestranda em Engenharia de Transportes. Engenheira sênior em pesquisa e desenvolvimento de ferrovias na Engenharia da EFC – Vale S.A., gestora e líder técnica de projetos P&D na Vale S.A. E-mail: iara.melo@vale.com

Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas e às diretrizes do International Council on Mining and Metals (ICMM), reforçando a visão de que o crescimento econômico deve estar associado à proteção ambiental e ao bem-estar das comunidades lindeiras às suas operações ferroviárias. Em regiões próximas à EFC e à EFVM, são desenvolvidos programas de educação ambiental, mobilidade urbana e logística reversa em parceria com prefeituras e cooperativas locais, promovendo desenvolvimento social e inclusão produtiva.

A Pesquisa e o Desenvolvimento (P&D) desempenham um papel essencial nesse processo. Parcerias estratégicas entre a Vale e instituições de referência em ensino e pesquisa vêm possibilitando o avanço de estudos sobre materiais poliméricos aplicados à via permanente e o reaproveitamento de resíduos de componentes ferroviários. Esses projetos buscam conciliar desempenho técnico, viabilidade econômica e benefícios ambientais, consolidando a integração entre engenharia de materiais, gestão de resíduos e inovação sustentável. No âmbito da

Cátedra Under Rail, por exemplo, a investigação sobre o uso de polímeros reciclados representa uma oportunidade concreta de transformar resíduos em insumos valiosos, reduzindo a geração de passivos ambientais e contribuindo para uma infraestrutura ferroviária mais durável e responsável.

Este trabalho está estruturado de forma sequencial e integrada. Inicialmente, apresenta um panorama sustentável do setor ferroviário brasileiro, com ênfase na evolução normativa e nas demandas ambientais contemporâneas. Em seguida, aborda a caracterização dos resíduos poliméricos provenientes das fixações ferroviárias das linhas férreas da EFC e da EFVM, destacando sua composição, origem e potencial de reaproveitamento. Na sequência, explora as principais rotas tecnológicas de valorização desses resíduos, incluindo processos de reciclagem mecânica e química aplicáveis a poliamidas e poliuretanos. Por fim, analisa casos de sucesso e propõe diretrizes para a integração social e a implementação de modelos locais de economia circular ao longo das ferrovias.

O conteúdo reúne resultados de campo obtidos nas unidades operacionais da Vale – Pátio da Floresta (MA) e Centro de Distribuição de Materiais de Via (CDMV) João Neiva (ES) – e propõe recomendações técnicas e sociais para o gerenciamento responsável de resíduos poliméricos em operações ferroviárias. Essa abordagem reforça o compromisso da Vale e de suas instituições parceiras com a inovação sustentável, a inclusão social e a mitigação dos impactos ambientais associados ao transporte ferroviário, alinhando a engenharia ferroviária aos princípios da operação ferroviária circular e da economia de baixo carbono.



RESÍDUOS POLIMÉRICOS EMPREGADOS EM FIXAÇÕES FERROVIÁRIAS

DESAFIOS
E SOLUÇÕES
SUSTENTÁVEIS

*Thiago Tepasse de Brum
Vanusca Dalosto Jahno*

INTRODUÇÃO

A estrutura econômica definida atualmente como padrão global apresenta um comportamento linear, baseado na extração de recursos naturais, no incentivo ao consumo excessivo e na disposição final de resíduos. Dessa forma, o objetivo da sustentabilidade torna-se cada vez mais distante, trazendo à luz consequências ambientais crescentes e irremediáveis. Esse cenário contribui para a escassez de recursos financeiros, o aumento das incertezas relacionadas às empresas e a restrição de acesso a matérias-primas. Na busca por mudanças, lideranças globais apontam para uma alternativa à substituição do modelo linear, tendo em vista a possibilidade de controle do esgotamento dos insumos naturais e da intensificação da geração de resíduos sólidos por meio de fluxos circulares que recuperem e regenerem os materiais, em prol da economia circular.

No Brasil, a legislação vem caminhando ao encontro da busca por soluções para os problemas relatados. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelecida pela Lei Federal n.º 12.305/2010, prevê princípios, objetivos e instrumentos para a gestão integrada de resíduos sólidos e o seu gerenciamento. Um dos itens mínimos a ser incluído no gerenciamento de resíduos é a definição de indicadores de desempenho operacional e ambiental, permitindo o acompanhamento das ações e o envolvimento das partes interessadas, bem como auxiliando no planejamento e na tomada de decisões pela estrutura de gestão estabelecida. Tal envolvimento permite identificar locais em que os resíduos sólidos são um fator crítico para a sustentabilidade e, nesse caso, o setor de transporte, em todos os seus modais, tem um papel de destaque (Brasil, 2010).

A indústria ferroviária brasileira se caracteriza por um parque diversificado, no qual grande parte das vendas de produtos para o transporte de cargas é realizada no mercado nacional. Há desenvolvimento inovativo de vagões e na via permanente ferroviária, com engenharia e desempenho competitivos, além de projetos especializados e mais eficientes.

Conforme a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), o Brasil possui quase 30 mil km de estradas ferroviárias, compreendendo boa parte do país, principalmente as regiões Nordeste, Sudeste e Sul (ANTT, 2017), sendo que a maior parte desses 30 mil km de ferrovia está inoperante há vários anos. Em estudo realizado por Borchers *et al.* (2021), sobre as escolhas do modo de transporte dos

usuários antes, durante e a expectativa para depois da pandemia, os resultados indicaram que o transporte público, tanto por trem/metrô quanto por ônibus, perdeu participação modal durante a pandemia.

RESÍDUOS FERROVIÁRIOS

É importante destacar que não há, hoje, controle centralizado por parte da ANTT sobre o processo de gestão de resíduos das ferrovias brasileiras, nem mesmo por outro órgão relacionado. Segundo Capagio (2020), o regime de concessão ao qual as ferrovias brasileiras atuais estão submetidas é insuficiente no que tange às exigências ambientais, o que se justifica pelo fato de os processos de concessão terem sido desenvolvidos antes mesmo da criação do próprio órgão regulador, a ANTT.

Assim, qualquer informação relacionada aos resíduos gerados pelas ferrovias acaba sendo obtida diretamente junto às concessionárias ferroviárias e a fontes secundárias. Com a função de ampliar o conhecimento do tema para as ferrovias, foram realizadas pesquisas sobre a destinação de resíduos industriais diversos, bem como sobre dados existentes a respeito do tema nas empresas estudadas nesse projeto aplicativo: Vale, MRS e VLI. Foram pesquisados, nos relatórios anuais de sustentabilidade dessas organizações, os quantitativos de resíduos gerados, seus tipos e os métodos já elaborados para destinação, que serão apresentados nos tópicos seguintes (Cunha *et al.*, 2022).

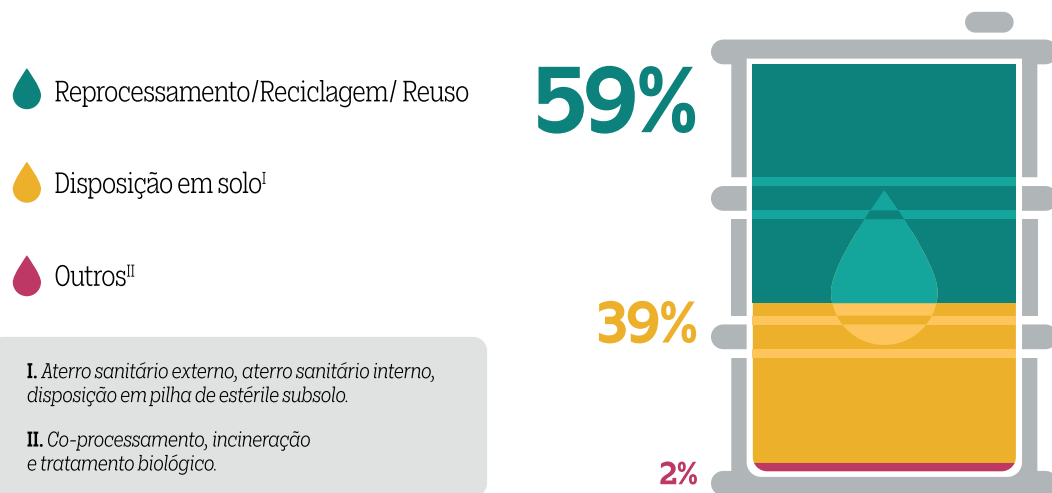
RESÍDUOS DE FIXAÇÕES POLIMÉRICAS

Cada unidade operacional da Vale S.A. desdobra o seu programa de gerenciamento de resíduos, adaptado à sua realidade e cultura locais, buscando metas específicas para o atendimento de suas prioridades e de acordo com o Plano Vale de Gerenciamento de Resíduos. As metas dos programas estão focadas, principalmente, em dois indicadores:

- Redução da geração e aumento da destinação ambientalmente adequada, como a compostagem, o reuso, o rerrefino e a reciclagem;
- Valorização do aproveitamento de resíduos, com o objetivo de reduzir o descarte em aterros, em atendimento ao ODS 12 – Consumo e produção responsáveis.

Do total de resíduos industriais gerados pela Vale, cerca de 59% tiveram uma destinação sustentável, ou seja, foram direcionados para processos de reprocessamento, reciclagem e/ou reuso, conforme destacado na Figura 1 (Vale, 2021).

Figura 1 - Disposição e destinação dos resíduos industriais na Vale



Fonte: Vale (2021).

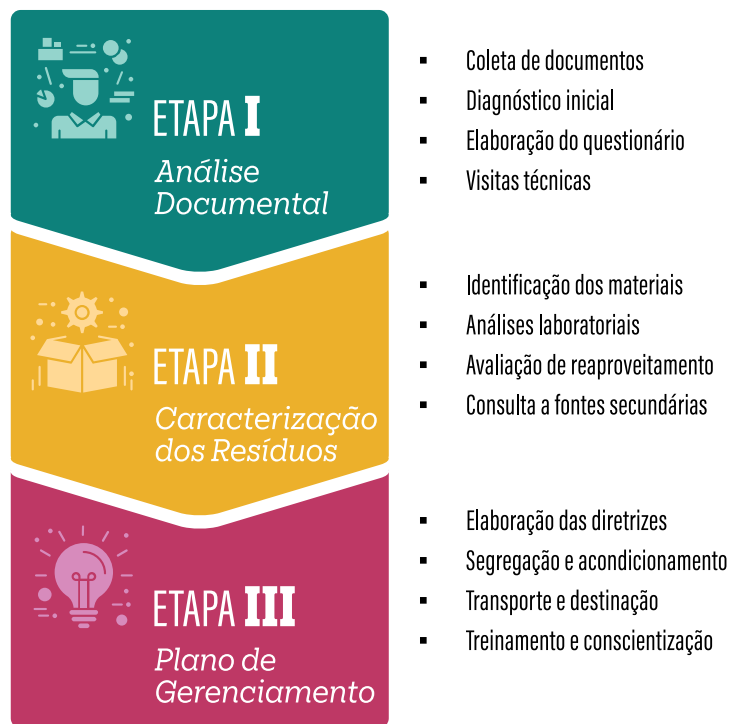
Em suma, é importante destacar a preocupação da empresa em desenvolver alternativas de destinação sustentável para os resíduos industriais gerados, especialmente pela sua dimensão – mais de 750 mil toneladas em um ano –, mas que ainda apresenta significativa oportunidade de avanço, visto que mais de 40% dos resíduos são destinados ao solo ou a outras destinações sem reaproveitamento (Cunha *et al.*, 2022).

O presente e-book tem como objetivo melhorar o processo de gerenciamento de resíduos sólidos dos componentes poliméricos de fixações ferroviárias da EFC e da EFVM. Dessa forma, procura realizar análises sobre o gerenciamento de resíduos oriundos do sistema ferroviário, mais precisamente a geração de resíduos por meio do descarte de elementos de fixações ferroviárias. A existência de demanda por materiais menos suscetíveis à degradação e ao desgaste nas ferrovias proporciona grande expectativa em relação à contribuição da pesquisa para a redução de seus impactos ambientais.

METODOLOGIA

A metodologia foi subdividida em três etapas para cada uma das duas ferrovias estudadas, EFC e EFVM.

Figura 2 - Resumo das etapas da metodologia



Fonte: os autores.

Etapa I

Análise Documental

- **Coleta de documentos:** solicitação e análise de arquivos da Vale;
- **Diagnóstico inicial:** identificação de práticas de gerenciamento;
- **Elaboração do questionário:** definição de perguntas para entrevista;
- **Visitas técnicas:** observação presencial do gerenciamento.

Para desenvolver a segunda etapa do projeto, os documentos analisados foram disponibilizados pela empresa Vale, objetivando contribuir com o trabalho. Nesse sentido, os documentos internos a seguir foram utilizados, com o intuito de compreender como ocorre o gerenciamento interno dos resíduos oriundos das palmilhas e dos isoladores: PGS-003922, PRO-022144, PRO-014202, PGS-001719, PRO-008082, PRO-024275, PRO-025326, Política de Sustentabilidade e Fluxograma de Resíduos Sólidos.

Etapa II

Caracterização dos Resíduos

- **Identificação dos materiais:** determinação da composição dos resíduos;
- **Análises laboratoriais:** estudo das propriedades dos materiais;
- **Avaliação de reaproveitamento:** possibilidades de reciclagem ou reutilização;
- **Consulta a fontes secundárias:** comparação com estudos e fabricantes.

Etapa III

Plano de Gerenciamento

- **Elaboração das diretrizes:** definição de boas práticas para descarte e reciclagem;
- **Segregação e acondicionamento:** organização dos materiais no armazenamento;
- **Transporte e destinação:** logística para reutilização, reciclagem ou disposição final;
- **Treinamento e conscientização:** orientação dos profissionais para a aplicação do plano.

Esta análise documental proporcionou a identificação de perguntas para a elaboração do questionário aplicado ao responsável pelo setor de armazenamento de resíduos das unidades da Vale – Unidade Pátio da Floresta (MA) e Unidade CDMV, em João Neiva (ES).

GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS (EFC)

O primeiro ponto visitado foi o local destinado ao centro de depósito de materiais novos para a EFC. A operacionalização da EFC possui licenciamento ambiental, que é uma exigência legal para a realização de atividades que utilizam recursos ambientais ou que tenham potencial de causar degradação ao meio ambiente, incorporado à legislação federal como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), Lei n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981 (Brasil, 1981).

O licenciamento é um dos instrumentos mais importantes da política ambiental pública por possuir caráter preventivo, uma vez que seu emprego visa evitar a ocorrência de danos ambientais (Sánchez, 2006). Ainda, está de acordo com a Resolução Conama n.º 237, de 19 de dezembro de 1997 (Brasil, 1997).

ARMAZENAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS EM FERROVIA (EFC)

Como premissa básica, todos os resíduos são coletados nas fontes de geração e separados em recicláveis e não recicláveis, levando-se em consideração a infraestrutura existente na região para a correta destinação final. O modelo de gestão de resíduos adotado pela EFC é sintetizado na Figura 3.

Figura 3 - Modelo de gestão dos resíduos da EFC



Fonte: adaptado de PERS-MA (2012).

Na ferrovia EFC, na Unidade Pátio da Floresta, em Açailândia (MA), os dormentes dos três tipos de materiais (madeira, concreto e aço) ficam armazenados, aguardando sua utilização. Os dormentes de concreto estão substituindo os de aço e os de madeira ao longo da via férrea da EFC. Os dormentes utilizados, que foram substituídos na via por novos, são reaproveitados como muros de contenção no Pátio da Floresta, conforme evidenciado na Figura 4.

Figura 4 - Reaproveitamento de dormentes usados de concreto como muros de contenção



Fonte: acervo dos autores (2025).

Na Figura 5, podem ser observados os dormentes de concreto que foram reutilizados em outra finalidade, com as palmilhas e os isoladores.

Figura 5 - Palmilhas fixadas nos dormentes de concreto reutilizados



Fonte: acervo dos autores (2025).

A substituição dos dormentes de concreto ocorre diariamente ao longo da via pelas equipes responsáveis, e uma parte desses dormentes que não são reutilizados para cercamento da unidade ou como piso é encaminhada para a reciclagem. Os dormentes de concreto são protendidos, ou seja, possuem cordoalhas de aço em seu interior, sendo muito valorizados para reciclagem.

A opção de reciclagem proporciona uma alternativa para minimizar os custos de manutenção e contribuir para a redução dos impactos ambientais negativos. A redução dos custos de manutenção foi apontada como um dos principais objetivos dos gestores de infraestruturas em um estudo realizado por Fontserè *et al.* (2016), uma vez que a Europa Ocidental gasta anualmente entre 15 e 25 milhões de euros para manter e renovar uma rede ferroviária de cerca de 225.000 km.

Por isso, a reciclagem se torna não só uma alternativa para reduzir custos, mas uma necessidade para a viabilidade desse modal para o transporte de carga e de passageiros. Maslennikovaa, Abu-Khasan e Babak (2017), em seu estudo, observam a possibilidade e comprovam a viabilidade técnica da utilização do material reciclado do concreto como matéria-prima para a fabricação do mesmo objeto que o gerou. Segundo Croce e Vettorato (2021), a literatura científica foi revista para identificar as soluções que concorrem para encontrar soluções integradas e inovadoras; dessa forma, atualmente, diversas possibilidades estão em desenvolvimento.

Essas soluções integradas e inovadoras surgem como alternativa para reduzir os custos, principalmente de manutenção, e minimizar os problemas ambientais. Apesar de o mercado global do setor ferroviário estar crescendo rapidamente, novas alternativas a serem utilizadas ainda mostram uma aceitação limitada pela indústria ferroviária, devido a vários obstáculos à sua aplicação generalizada (Ferdous *et al.*, 2015).

Além das alternativas possíveis de reciclagem dos dormentes de concreto, um estudo de Análise de Ciclo de Vida (ACV) que avaliou o desempenho ambiental de dormentes de concreto e de madeira em condições operacionais demonstrou, em seus resultados, diferenças relevantes entre os cenários, mas, em relação às diferenças potenciais de impactos entre as duas tipologias de dormentes, o resultado foi que são inferiores a 10% para a maioria das categorias examinadas, o que significa que não se observam diferenças ambientais significativas (Dolci; Rigamonti; Grosso, 2020).

Conforme resultados apresentados por Coimbra (2008), as anomalias na fixação são resultantes do desgaste mecânico dos componentes (grampo de linha, *tirefond*, placa de fixação, retensor etc.), originados pela ação dos diversos esforços verticais e horizontais que atuam dinamicamente sobre a Via Permanente. Esses componentes também podem sofrer outras intervenções do meio externo, como a oxidação das peças e o vandalismo (retirada de peças).

Essas palmilhas retiradas dos dormentes ou que caem pela ação do tempo são resíduos que precisam ser encaminhados para reciclagem ou para disposição final, tornando-se uma questão ambiental importante em todas as partes do mundo. Uma das soluções possíveis para a

utilização de resíduos poliméricos é incorporá-los na fabricação de novos dormentes, para substituir parte do agregado natural.

A reutilização ou reciclagem dos dormentes em fim de vida não só reduz os custos, mas também reduz a pegada de carbono global da empresa, uma vez que se reduz a necessidade de agregados naturais convencionais extraídos de pedreiras. Além disso, os custos incorridos na construção de infraestruturas de transporte podem, em muitos casos, ser substancialmente reduzidos quando são utilizados materiais alternativos reciclados ou secundários.

Sabendo dessa possibilidade, Correia *et al.* (2016) destacam que nem sempre é fácil implementar práticas não tradicionais, e que isso requer dedicação e perseverança de toda a equipe do projeto, incluindo designers, construtores e investidores,

para selecionar sistemas sustentáveis. Tais práticas conduzirão a uma melhor utilização de sistemas sustentáveis nas infraestruturas de transporte. Contudo, a fim de obter uma aceitação generalizada, devem ser desenvolvidas especificações que permitam a utilização regular de tais técnicas.

MANUSEIO DOS RESÍDUOS (EFC)

A segregação é a tarefa inicial do processo de gerenciamento de resíduos e, provavelmente, a mais importante. Uma separação correta, combinada com as demais tarefas desse processo, permite que os resíduos tenham a destinação final ambientalmente adequada. Por outro lado, resíduos segregados incorretamente podem provocar a impossibilidade da reciclagem desses materiais.

Os isoladores, após serem substituídos por isoladores novos, são transportados pela equipe de manutenção da via para a sede. Na sede, esses resíduos são segregados por tipos: grampos elásticos, isoladores de fixação em polímeros, dormentes de madeira e de concreto, além de outros resíduos plásticos.

Os dormentes de concreto usados são utilizados para cercamento da área de depósito, calçamento para via de pedestres e, ainda em fase experimental, há a possibilidade de encaminhá-los para reaproveitamento da estrutura interna de ferro.

Nesse sentido, entende-se que a segregação padrão dos isoladores e das palmilhas a ser implementada ao longo da ferrovia EFC deve observar a separação dos resíduos contaminados em fim de vida útil e dos resíduos gerados por falhas dimensionais ou de instalação dos mesmos, conforme a Figura 6.

Figura 6 - Isoladores utilizados na via EFC



Fonte: acervo dos autores (2025).

Todos os isoladores que foram utilizados na via e se tornam resíduos possuem algum tipo de contaminação, seja com minério de ferro ou com grãos. Tal segregação contemplará apenas os resíduos de isoladores e de palmilhas produzidos nos locais de atividades de manutenção; todavia,

não abrange os resíduos decorrentes de obras, reformas, atendimentos de saúde, limpeza, manutenção de veículos, entre outros.

O acondicionamento dos resíduos de isoladores e palmilhas é realizado em *big bags* (azuis e brancos) e tambores metálicos. Apesar de as embalagens de acondicionamento serem bem resistentes e possuírem coloração que auxilia na identificação, elas se abrem facilmente. A orientação, nesse caso, é que os resíduos de isoladores sejam acondicionados em sacarias de cores diferentes, de acordo com o tipo de resíduo de componentes poliméricos

do sistema de fixação ferroviária. Por exemplo, os isoladores e as palmilhas em fim de vida útil devem ser acondicionados em *big bags* e/ou sacarias amarelas, enquanto os isoladores e as palmilhas que não foram instalados na via, mas se tornaram resíduos, devem ser acondicionados em sacarias de coloração azul. Além disso, as sacarias precisam estar lacradas com alguma presilha, para evitar o rompimento ou mesmo a abertura das embalagens, de modo que os resíduos permaneçam isolados.

Essa iniciativa contribui não apenas para a identificação de cada resíduo de isolador e palmilha, mas também para o transporte e o manuseio dos mesmos pelos profissionais responsáveis pelo trabalho.

A identificação dos resíduos de isoladores e palmilhas é realizada por meio de placas de identificação no local destinado para o seu armazenamento (Figura 7).

Figura 7 - Placas de identificação das palmilhas no local de armazenamento temporário



Fonte: acervo dos autores (2025).

A coleta dos resíduos consiste no recolhimento do resíduo no ponto de geração e na remoção para local específico destinado ao armazenamento temporário. Essa coleta deve manter a segregação realizada na origem, e os resíduos não devem ser misturados. Essa etapa é predominantemente realizada pelos trabalhadores terceirizados das equipes de manutenção da via e, por essa razão, torna-se importante a sua participação em ações de capacitação sobre o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS).

Além disso, sempre que possível, a coleta deve evitar o uso de embalagens desnecessárias para o acondicionamento dos resíduos de isoladores e palmilhas, evitando a geração de novos resíduos. No que diz respeito aos resíduos de isoladores e palmilhas, eles são conduzidos em sacarias desde o ponto de origem na via até a unidade onde esses resíduos são armazenados, em um período de aproximadamente uma semana. Esse intervalo de tempo ocorre entre a passagem do trem, que traz os materiais novos, e o transporte dos resíduos para a Unidade de Açailândia (Figura 8).

Figura 8 - Transporte de materiais novos pela via férrea por meio do trem



Fonte: acervo dos autores (2025).

Como orientação, estabeleceu-se que as sacarias a serem utilizadas na coleta devem ser: amarelas, para os resíduos de isoladores e palmilhas que não foram instalados na via; e pretas, para os resíduos de isoladores e palmilhas em fim de vida útil. Além disso, os sacos plásticos devem estar corretamente fechados, em perfeitas condições de higiene e conservação, sem líquido em seu interior.

O armazenamento dos resíduos deve observar a segregação realizada na origem; assim, deverão ser dispostos dois tipos de contêineres no local destinado ao armazenamento na unidade de Açailândia: um para os resíduos de isoladores e palmilhas

em fim de vida útil e outro para os resíduos de isoladores e palmilhas que não foram instalados na via.

Conforme estabelece a NBR 11.174, o armazenamento dos resíduos sólidos não perigosos deverá ser realizado em local adequado, de forma que não altere a sua classificação nem provoque qualquer tipo de dano ao meio ambiente (ABNT, 1990). O local também deverá ser sinalizado, e o acondicionamento deve ser realizado, preferencialmente, em contêineres, conforme sugerido na Figura 9.

Figura 9 - Sugestão de containers que podem ser utilizados



DESTINAÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS NA EFC

Após o armazenamento em local adequado, o transporte e a destinação final dos resíduos sólidos não perigosos poderão ser realizados por associações e/ou cooperativas de reciclagem. Para isso, faz-se necessário identificar e articular parcerias com associações e/ou cooperativas existentes no município, garantindo que os resíduos gerados pela unidade e por suas sedes tenham destinação adequada. Nesse sentido, a PNRS prevê a integração de cooperativas e outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis – majoritariamente formadas por pessoas físicas de baixa renda – à gestão dos resíduos sólidos, reconhecendo e incentivando o trabalho organizado desses profissionais como instrumento da própria política.

Os materiais que se tornaram resíduos pelo tempo de armazenamento (prazo de validade) não estão contaminados, pois não foram utilizados na via; portanto, possuem maior

valor agregado para a reciclagem, razão pela qual foram separados e vendidos para a cooperativa em Parauapebas (PA). O Centro de Distribuição de Materiais (CMD) de Floresta, em Açailândia (MA), recebeu, na metade do mês de setembro, 27 toneladas de resíduos da unidade de Nova Vida. Esses resíduos ficam no CMD até completarem o volume necessário para encher uma carreta (9 toneladas). A cooperativa que recolhe esses resíduos chama-se Recipar, de Parauapebas (PA).

Esse encaminhamento atende à responsabilidade ambiental da Vale ao reduzir impactos ambientais negativos, ao mesmo tempo em que reforça seu compromisso com a responsabilidade social. Considerando a quantidade mensal de isoladores e palmilhas novos recebidos e o fato de que esses materiais se tornam resíduos após sua utilização, faz-se necessário o controle rigoroso de sua destinação. Todo o transporte terrestre de resíduos deve ser registrado no sistema local de transporte de resíduos, cabendo ao gerador, ao transportador e ao destinador atestar, de forma sucessiva, a realização do embarque, do transporte e do recebimento dos resíduos sólidos no documento emitido.

Dessa forma, a destinação final atende à hierarquia do manejo de resíduos sólidos definida pela PNRS, priorizando a reciclagem dos resíduos eventualmente gerados e evitando sua disposição final em aterros sanitários ou, ainda, em lixões que porventura existam no estado.

GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS (EFVM)

O primeiro ponto visitado foi o local destinado ao depósito de materiais novos de via permanente para a EFVM. Cinco funcionários da Vale acompanharam a visita durante todo o período de permanência no depósito e nos demais setores visitados, o que foi fundamental para compreender o gerenciamento de resíduos de forma sistêmica desde a sua geração, exatamente no depósito de materiais novos.

A operacionalização da EFVM possui licenciamento ambiental, que é uma exigência legal para a realização de atividades que utilizam recursos ambientais ou que tenham potencial de causar degradação ao meio ambiente, incorporado à legislação federal como um dos instrumentos da PNMA, Lei n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981 (Brasil, 1981). Na imagem aérea, é possível identificar a área total do CDMV da EFVM (Figura 10).

Figura 10 - Área administrativa da Vale CDMV



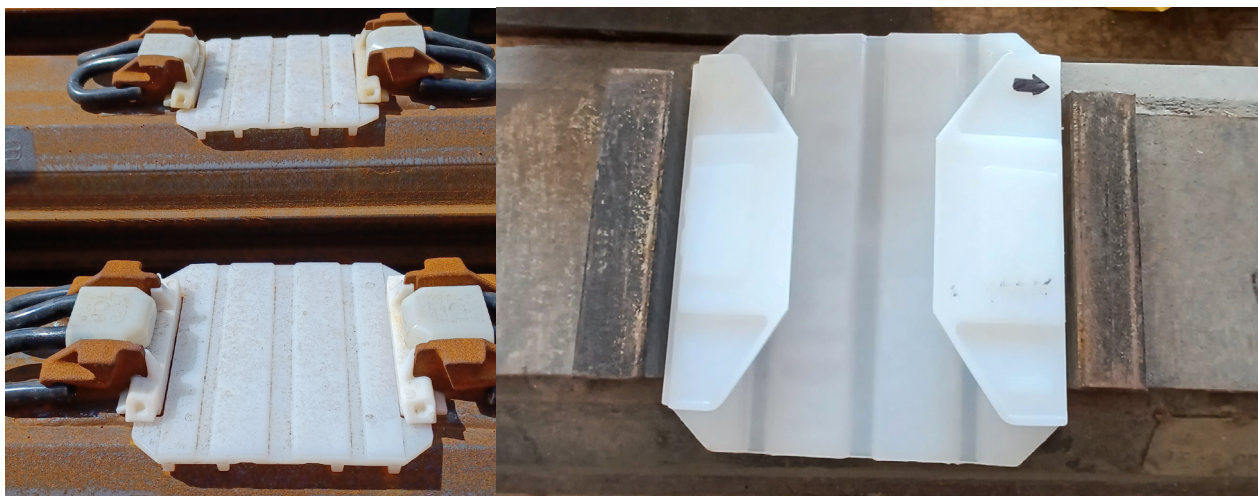
Fonte: captura de tela do Google Maps (2022).

A unidade da EFVM em João Neiva (ES) é responsável pelo recebimento, armazenamento e distribuição de materiais de via permanente ao longo da EFVM, bem como pelo gerenciamento de resíduos, como trilhos, dormentes e fixações. Além disso, a unidade visitada também aloca a equipe de “Planejamento e Logística”.

Os componentes poliméricos do sistema de fixação ferroviária, até o ano de 2006, eram utilizados na cor preta; essa pigmentação era realizada com negro de fumo. A partir do ano de 2006, a empresa passou a comprar isoladores para dormentes de aço sem pigmentação preta. Essa decisão foi tomada a partir do entendimento de que a baixa resistência e durabilidade desses materiais poderia estar relacionada ao uso do pigmento associado a outros materiais que prejudicavam as características dos isoladores.

No momento da visita, os isoladores eram fornecidos pela empresa *Wirklich*, que é uma das empresas homologadas tecnicamente para fornecer esses materiais, produzidos em poliamida e com 7 mm de espessura, conforme a Figura 11.

Figura 11 - Imagem dos isoladores utilizados na via EFVM



Fonte: acervo dos autores (2025).

ARMAZENAMENTO DOS RESÍDUOS (EFVM)

A unidade do município de João Neiva (ES) possui um pavilhão construído recentemente para armazenamento de materiais novos (Figura 12), que aguardam sua distribuição para as sedes ao longo da via. Esse pavilhão foi construído justamente para evitar problemas frequentes causados em consequência do intemperismo, como, por exemplo, a perda de durabilidade dos materiais e a negativa dos fornecedores em se responsabilizarem pelos problemas encontrados, justificada pelo armazenamento dos materiais de forma incorreta.

Figura 12 - Pavilhão de armazenamento de materiais novos, sendo (a) lado sem parede de proteção aos raios solares e (b) lado com proteção ao intemperismo



Fonte: acervo dos autores (2025).

O pavilhão é organizado em prateleiras com *pallets*, e os materiais novos são acondicionados em embalagens plásticas com cores específicas para cada tipo de material. Os corredores são amplos e proporcionam o trânsito de veículos e paletesiras, sendo um dos lados do pavilhão aberto para melhorar a circulação de ar interna. Os isoladores novos estão acondicionados em fardos azuis na prateleira, e em *big bags* brancas estão os isoladores que sobraram do fardo fechado, conforme a Figura 13.

Os isoladores novos chegam para o seu armazenamento em *pallets* de madeira com 57 pacotes de 22 unidades, totalizando 1.254 peças por *pallet*. Por mês, a média de recebimento de isoladores é de

Figura 13 - Materiais novos, sendo
(a) Fardo de isoladores novos na prateleira do pavilhão
e (b) Isoladores que retornaram da via (sobraram no fardo)



Fonte: acervo dos autores (2025).

80 mil peças. Os isoladores possuem, em média, 360g. Esses materiais novos são distribuídos nas sedes – a via possui 11 sedes –, que estão localizadas ao longo da via. Esses pontos de armazenamento temporário, por sua vez, distribuem os materiais conforme a demanda de manutenção do trecho.

MANUSEIO DOS RESÍDUOS (EFVM)

A segregação é a tarefa inicial do processo de gerenciamento de resíduos e, provavelmente, a mais importante. Uma separação correta, combinada com as demais tarefas desse processo, permite que os resíduos tenham a destinação final ambientalmente adequada. Por outro lado, resíduos segregados incorretamente podem provocar a impossibilidade da reciclagem desses materiais.

Os isoladores, após serem substituídos por isoladores novos, são transportados pela equipe de manutenção da via para a sede do distrito de manutenção de via permanente. Na sede do distrito, esses resíduos são segregados por tipos: grampos elásticos, isoladores plásticos, dormentes de madeira e outros resíduos plásticos.

A segregação padrão dos isoladores a ser implementada nas sedes da via da EFVM deve observar a separação dos resíduos contaminados em fim de vida útil e dos resíduos gerados por meio de falhas dimensionais ou de instalação dos mesmos, conforme a Figura 14.

Figura 14 - Isoladores utilizados na via EFVM, sendo (a) Isoladores em fim de vida e (b) Isoladores que sobraram do fardo



Fonte: acervo dos autores (2025).

Todos os isoladores que foram utilizados na via e se tornam resíduos possuem algum tipo de contaminação, seja com minério de ferro, cal, carvão mineral ou com grãos. Tal segregação contemplará apenas os resíduos de isoladores produzidos nos locais de atividades de manutenção; todavia, não abrange os resíduos decorrentes de obras, reformas, atendimentos de saúde, limpeza, manutenção de veículos, entre outros.

O acondicionamento dos resíduos de isoladores é realizado em sacarias de coloração amarela, mas foram registradas algumas outras cores, como azul, preto e branco. Apesar de as embalagens de acondicionamento serem bem resistentes e possuírem uma coloração que ajuda na identificação, elas abrem facilmente. A identificação dos resíduos de isoladores é realizada por meio de placas de identificação no local destinado ao seu armazenamento. A coleta dos resíduos consiste no recolhimento do resíduo no ponto de geração e na remoção para local específico destinado ao armazenamento temporário. Essa coleta deve manter a segregação realizada na origem, e os resíduos não devem ser misturados. Essa etapa é predominantemente realizada pelos trabalhadores terceirizados das equipes de manutenção da via e, por essa razão, faz-se importante sua participação em ações de capacitação sobre o PGRS.

Além disso, sempre que possível, a coleta deve evitar o uso de embalagens desnecessárias para o acondicionamento dos resíduos de isoladores, evitando a geração de novos resíduos.

No caso dos resíduos de isoladores, eles são transportados em sacarias do ponto de geração na via até a sede, na qual o resíduo fica armazenado por cerca de uma semana, tempo de intervalo entre a passagem do trem trazendo materiais novos e transportando os resíduos para o CDMV em João Neiva, conforme demonstra a Figura 15.

Figura 15 - Transporte de materiais novos pela via férrea através do trem, sendo (a) Vagão com materiais novos, (b) Grampos e dormentes e (c) Trem transportando materiais novos às sedes



Fonte: acervo dos autores (2025).

RECICLAGEM DE RESÍDUOS (EFVM)

Dentro do CDMV em João Neiva (ES), após armazenados em local adequado, os resíduos sólidos não perigosos recebem transporte e destinação final apropriados. Os materiais que se tornam resíduos pelo tempo de armazenamento (prazo de validade) não estão contaminados, pois não foram utilizados na via; portanto, possuem maior valor agregado para a reciclagem, razão pela qual são separados e vendidos para a empresa de reciclagem Primaplast. Essa mesma empresa também recolhe os resíduos contaminados, destinando-os à reciclagem quando a Vale acumula a quantidade mínima de 3 toneladas para compensar o recolhimento. Esse processo cumpre a responsabilidade ambiental da Vale ao reduzir os impactos ambientais negativos e, quando os resíduos são encaminhados para uma cooperativa local de reciclagem, também atende à responsabilidade social, gerando renda e beneficiando a comunidade local.

Considerando a quantidade de isoladores novos recebidos mensalmente, que se tornam resíduos após sua utilização, e considerando que a EFVM não está em ampliação – ou seja, a utilização de isoladores é regular e constante, com pequena variação mensal – pode-se constatar que a geração desse tipo de resíduo na unidade de João Neiva é de 28,8 toneladas/mês.

The background of the slide features a photograph of railway tracks receding into the distance. A semi-transparent grid with lines in shades of teal and orange is overlaid on the image. The title text is positioned in the lower right quadrant of the grid.

POSSIBILIDADES DE GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS DAS FIXAÇÕES POLIMÉRICAS FERROVIÁRIAS

Gerenciamento de Resíduos das Fixações Poliméricas Ferroviárias

Reciclagem, inclusão produtiva e economia circular

Figura 16 - Visão geral do capítulo Gerenciamento de Resíduos das Fixações Poliméricas Ferroviárias



O gerenciamento de resíduos sólidos envolve diferentes etapas, iniciando pela geração, seguida de segregação, acondicionamento, coleta e transporte externo, podendo os resíduos ser encaminhados para uma central de transbordo para

triagem. Na central de triagem, uma parte é direcionada à reciclagem e outra à disposição final em aterro, envolvendo diferentes partes interessadas, desde os geradores, passando pelos funcionários da coleta de resíduos, empresas públicas e privadas, até organizações sociais que atuam na cadeia de resíduos, conforme apresentado na Figura 17.

Figura 17 - Etapas do gerenciamento de resíduos sólidos



Fonte: adaptado de Brasil (2010).

De todo o gerenciamento de resíduos sólidos e suas etapas, a segregação (em destaque na Figura 18) é fundamental para que etapas posteriores, como a reciclagem, sejam mais eficientes.

A reciclagem e a reutilização são alternativas para processos que minimizem os seus impactos negativos, precedidas da segregação dos resíduos na fonte geradora e da coleta específica (seletiva). A segregação dos resíduos em sua origem é fundamental para fins de reciclagem, visando reprocessá-los ou utilizá-los como matéria-prima nos processos produtivos. Conforme a Figura 16, trata-se de uma alternativa viável e uma tendência internacional (Huang *et al.*, 2017).

Figura 18 - Principais benefícios dos processos de separação dos resíduos na fonte



Fonte: adaptado de Huang *et al.* (2017).

Segundo a PNRS, os resíduos de aeroportos, assim como os gerados nos portos, enquadram-se na mesma categoria de classificação quanto à origem, denominada “resíduos de serviços de transporte” (Brasil, 2010).

Nas estradas de ferro, um dos resíduos gerados em grande escala são os dormentes, que são as peças utilizadas na via férrea, onde os trilhos são fixados. O tipo de dormente utilizado na via influencia nas características dos resíduos gerados, assim como os sistemas de isolamento e fixação dos trilhos também variam em quantidade e características. Portanto, além de ser observada a qualidade do material e suas funções na via, é preciso analisar possibilidades de reciclagem e/ou reutilização desses materiais após o fim da vida útil, quando se tornarem resíduos.

Segundo a PNRS (Brasil, 2010), a **reciclagem** é o processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes. Já o **reaproveitamento** é a adoção de procedimentos para reaproveitar os resíduos sólidos reutilizáveis oriundos dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos.

A **reciclagem de resíduos plásticos**, como os **isoladores ferroviários**, quando *separados por tipo de material polimérico*, demonstra potencial para **reciclagem mecânica**. No entanto, caso a separação dos diferentes polímeros não seja viável, as opções incluem a reciclagem química, recuperação energética ou, em último caso, destinação ao aterro sanitário, dependendo do nível de contaminação (Yugue; Mancini; Roveda, 2022).

A reciclagem mecânica de plásticos, especialmente os flexíveis, como embalagens pós-consumo, enfrenta desafios devido à menor espessura, baixa densidade, contaminação e complexidade na separação de materiais, tornando o processo economicamente inviável em muitos casos. Apesar do interesse no desenvolvimento de tecnologias economicamente viáveis, há poucas informações disponíveis, principalmente para aplicação industrial, com muitas tecnologias ainda em fase de teste. Grande parte do progresso na indústria não é publicado na literatura científica (Yugue; Mancini; Roveda, 2022).

A reciclagem dos materiais é classificada como sendo mecânica, química ou térmica. Isso é, em muitos casos, uma simplificação da realidade, já que as rotas de reciclagem muitas vezes consistem em uma mistura de processos mecânicos, químicos e térmicos. Por exemplo, a reciclagem química, na maioria das vezes, refere-se a uma rota de reciclagem na qual os polímeros são despolimerizados (no caso do polímero sintético, fibras derivadas de produtos petroquímicos, como o poliéster) ou dissolvidos (no caso de fibras celulósicas naturais ou sintéticas, como o algodão e a viscose). Tendo sido assim dissimulados em níveis moleculares, monômeros ou oligômeros são repolimerizados, e os polímeros reaparecem em novas fibras (Sandin; Peters, 2018).

O processo de separação de materiais pode ocorrer de forma automática, manual ou semiautomática, individualmente ou em combinação. A triagem manual, comum em resíduos domésticos coletados por cooperativas de catadores, é de baixo custo, mas apresenta baixa produtividade e depende da habilidade da mão de obra. A separação automatizada, mais eficiente e rápida, é indicada para volumes significativos de materiais recicláveis, demandando maior investimento e espaço. A qualidade do material reciclado depende da limitação de impurezas, idealmente abaixo de 1% m/m. Macrocontaminantes, mesmo em pequenas concentrações, podem afetar as propriedades do polímero reciclado (Horodytska; Valdés; Fullana, 2018).

Para eliminar a contaminação em materiais plásticos moídos, é realizado um processo de lavagem em duas etapas, utilizando tanques abertos com eixos rotativos e aletas para movimentar o material. A primeira etapa envolve uma solução aquosa com detergente, seguida por um tanque com água para enxágue. Em alguns casos, dependendo das condições do material pós-industrial, a lavagem pode não ser necessária. No entanto, essa etapa exige investimentos em equipamentos, tratamento do efluente, custos operacionais e licenças ambientais específicas, o que limita a expansão de recicladores de embalagens plásticas flexíveis pós-consumo no mercado brasileiro (Yugue; Mancini; Roveda, 2022).

Após a lavagem, o material passa pelo processo de aglutinação para aumentar a densidade, facilitando a alimentação em injetoras ou extrusoras. A secagem é crucial, sendo tolerável uma umidade residual de cerca de 1% m/m

para poliolefinas e inferior a 0,02% m/m para poliésteres ou poliamidas. O excesso de umidade pode causar imperfeições no material final ou sobrecarregar o sistema da extrusora (Mckinlay; Morrish, 2016).

Outras classificações de rotas de reciclagem também merecem ser mencionadas. Por exemplo, se o material reciclado for de valor inferior (ou qualidade) ao produto original, isso é denominado *downcycling*. Em contraste, se um produto resultar com material reciclado de maior valor (ou qualidade) que o produto original, é denominado *upcycling* (Palme *et al.*, 2014). A reciclagem de polímeros, oligômeros e monômeros normalmente produz materiais de qualidade semelhante às matérias-primas virgens.

Há também outra classificação para essas rotas, denominada reciclagem fechada ou aberta. A reciclagem de circuito fechado refere-se à situação em que o material de um produto é reciclado e usado em um produto idêntico, enquanto a reciclagem de ciclo aberto (também chamada de reciclagem em cascata) se refere a processos em que o material de um produto é reciclado e usado em outro produto (Ostlund *et al.*, 2015).

O interesse pelo aumento da reutilização e reciclagem está consistente com a maior atenção dada à economia circular, conceito presente na política internacional e nacional, como, por exemplo, o Plano de Ação de Economia Circular da UE de 2015 (EC, 2015). Dentro do mundo dos negócios, a economia circular ganhou impulso através do trabalho da *Ellen MacArthur Foundation*, cujo diagrama do sistema de economia circular destaca o importante papel da reutilização e reciclagem em uma futura economia circular (Ellen MacArthur Foundation, 2017a). Por exemplo, na Europa, cerca de 15 a 20% dos têxteis descartados são recolhidos (o resto é depositado em aterro ou incinerado), dos quais aproximadamente 50% são reciclados e 50% reaproveitados, principalmente por meio da exportação para países em desenvolvimento (Ellen MacArthur Foundation, 2017b).

Observando a caracterização dos resíduos oriundos da malha ferroviária, integrantes do sistema de fixação ferroviária, surgem possibilidades para a reciclabilidade desses resíduos, por exemplo, por meio da reciclagem química. A despolimerização por solvólise (hidrólise, alcoólise, metanólise, glicólise e amilose) e a fragmentação por métodos térmicos (pirólise em baixas e altas temperaturas, gaseificação, hidrogenação) representam os principais processos de reciclagem química (Yugue; Mancini; Roveda, 2022).

A pirólise é amplamente empregada na reciclagem de poliolefinas e outros polímeros de adição. Notável por sua versatilidade na mistura de materiais no reator, a pirólise evita custos elevados e baixa eficiência associados à operação de separação, ao mesmo tempo em que gera produtos reciclados utilizáveis como combustíveis ou outros produtos químicos de valor agregado (Horodytska; Valdés; Fullana, 2018).

A pirólise de materiais plásticos demonstra eficácia em países densamente povoados, com opções limitadas de fontes energéticas convencionais e alto desenvolvimento econômico. Uma vantagem significativa é a capacidade de utilizar diversos tipos de matérias-primas, incluindo resíduos industriais e domésticos, com diferentes métodos de pirólise desenvolvidos, como rápida, catalítica, lenta, flash e a vácuo (Piecuch; Da Browiski, 2014).

Os processos de transformação energética, como a pirólise e a incineração, contribuem para a substancial redução do volume de resíduos de embalagens pós-consumo descartados sem destinação adequada no meio ambiente ou em aterros sanitários, quando não há alternativas viáveis de reciclagem. Além disso, possibilitam considerável diminuição da dependência de outras fontes de matérias-primas, como a queima de madeira, e até mesmo de fontes não renováveis, como o óleo combustível extra (Yugue; Mancini; Roveda, 2022).

Por meio de diferentes processos, como hidrólise, glicólise, pirólise, gaseificação e hidrogenação, é possível reaproveitar matérias-primas e produtos químicos valiosos. Os polímeros mais propensos a esse tipo de reciclagem são os polimerizados por condensação, como o poli(tereftalato de etileno) – PET, náilon e poliuretano; já os obtidos por adição, como as poliolefinas, produzem misturas mais complexas e difíceis de serem reutilizadas como matéria-prima (Camargo; Saron, 2020).

Cerca de 400 mil catadores atuam na coleta de aproximadamente 60% do papel e papelão reciclados, bem como de cerca de 90% do material-base da indústria recicladora brasileira (IBGE, 2021). Tais números evidenciam a importância dessa categoria na cadeia produtiva nacional (Bentes, 2024; Pinhel *et al.*, 2013), sobretudo na região Sudeste, onde se verifica a maior densidade demográfica de catadores. Nessa região, chegam a mais de 150 mil, configurando-a como a área que mais demanda políticas públicas direcionadas à garantia de melhorias progressivas em sua qualidade de vida e condições de trabalho (IPEA, 2017).

No Espírito Santo, existem 78 Organizações de Catadores de Materiais Recicláveis (OCMR), distribuídas em 71 municípios, sendo a Microrregião Metropolitana aquela com o maior número de OCMRs (MPES, 2024). Cabe ressaltar que é nesta região que são gerados os maiores volumes de resíduos sólidos (SNIS, 2018).

Essas organizações são definidas como sociedades sem fins lucrativos, distinguindo-se em suas finalidades, o que as leva a serem classificadas como associações ou cooperativas de catadores de materiais recicláveis. Enquanto as associações visam à promoção social, as cooperativas buscam a viabilização de uma atividade comercial (Fuzzi; Leal, 2018). No estado, as associações correspondem à grande maioria dessas organizações, denotando assim seu papel no desenvolvimento de indivíduos em situação de vulnerabilidade social.

A distribuição dessas organizações de catadores de materiais recicláveis no Espírito Santo evidencia sua atual situação de funcionamento. Nessa, os municípios de Águia Branca, São Roque do Canaã, Fundão, Santa Leopoldina, Alfredo Chaves, Divino de São Lourenço e Vargem Alta não dispõem de OCMR operando em seus limites territoriais. Tal fato se justifica pela simples ausência de catadores, de modo que essas prefeituras encaminham todo o material reciclável coletado para organizações situadas em municípios vizinhos.

No Espírito Santo, algumas iniciativas foram implantadas a fim de consolidar a participação desses profissionais no ciclo de vida dos materiais recicláveis. Dentre elas, destaca-se o "Programa Capixaba de Materiais Reaproveitáveis", uma iniciativa precursora firmada em 2006 entre esferas públicas e privadas, que propôs projetos concebidos e executados de forma participativa e integrada pelos governos estadual e municipais e pela sociedade civil organizada, com o intuito de transformar problemas em oportunidades de negócio.

O Sindimicro também contribuiu com o projeto "Fortalecimento dos Catadores/as de Materiais Recicláveis do Estado do Espírito Santo". Este buscou a inclusão social e produtiva desses profissionais por meio do incentivo a ações coletivas e cooperativas que estruturassem um trabalho em rede. Seus resultados alcançaram a qualificação de cerca de 900 catadores de materiais recicláveis, além do crescimento do número de organizações no estado em 4 anos (2014 a 2018).

Em paralelo à transição do emprego de lixões e aterros controlados para a efetiva utilização de aterros sanitários, cabe mencionar as atividades de coleta seletiva e o papel dos catadores de materiais recicláveis. Embora a Política Nacional de Resíduos Sólidos tenha estabelecido um sistema de gestão compartilhada, no qual a participação de pessoas físicas de baixa renda em organizações é assegurada como parte fundamental do processo, a situação desses profissionais ainda é delicada.

Alguns atuam em organizações formalizadas; porém, outros ainda trabalham de forma autônoma, marginalizada e, por vezes, até criminalizada. Estes ficam constantemente expostos a condições de higiene precária e não participam efetivamente da gestão. São reduzidos à condição de triadores de resíduos, operando apenas como intermediários no processo (MPES, 2024).

Enquanto as dimensões ambientais, econômicas e sociais da gestão dos resíduos não forem tratadas de maneira simétrica e em conjunto com a implementação efetiva da coleta seletiva e a desativação dos lixões, os conflitos verificados nesse cenário tendem a permanecer. Além disso, a falta de ações como capacitação e operacionalização das organizações, campanhas de educação ambiental, inclusão social e divulgação dos resultados da coleta seletiva acaba contribuindo para o descrédito no sistema, deixando o princípio da responsabilidade compartilhada cada vez mais distante (Berticelli; Pandolfo; Korf, 2017).

Para o Plano Municipal de Saneamento Básico de João Neiva (2018), as principais formas de tratamento a serem adotadas no município concentram-se na reciclagem da parcela de secos, na compostagem da parcela de úmidos e na disposição final dos rejeitos. Na adoção de tecnologias que possibilitem atuar nas formas de tratamento apresentadas, será fundamental conhecer as características intrínsecas dos resíduos, para determinar com maior precisão a tecnologia mais adequada para cada tipo de tratamento.

No município de João Neiva, todas as alternativas de tratamento apresentadas poderão ser adotadas; entretanto, as tecnologias escolhidas para a implementação das alternativas deverão ser avaliadas em termos de viabilidade econômica (João Neiva, 2018).

O PMSB prevê a implantação de sistema de compostagem e articulação para a logística reversa. O município possui coleta seletiva implantada e dispõe de galpão de triagem em Juá. Também conta com catadores de materiais recicláveis e faz parte do Consórcio Condoeste. Atualmente, os serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos são terceirizados.

COOPERATIVA DE RECICLADORES DE DOIS IRMÃOS, NO RIO GRANDE DO SUL

A Cooperativa de Recicladores de Dois Irmãos, situada no Rio Grande do Sul, representa um modelo bem-sucedido de gestão de resíduos sólidos urbanos e de promoção da sustentabilidade socioambiental. Com três décadas de atuação, a cooperativa integra um sistema de coleta seletiva eficiente, responsável por uma das maiores taxas de reciclagem da região. Sua trajetória evidencia o potencial transformador da articulação comunitária e da cooperação entre sociedade civil e poder público, servindo como referência para gestores municipais e demais iniciativas voltadas à economia circular e à inclusão socioambiental (OICS, [2025]).

A Cooperativa de Catadores Dois Irmãos, em Dois Irmãos (RS), recebeu equipamentos para reciclagem de plástico por meio do programa “Recicla Mais Brasil”, uma iniciativa da Braskem em parceria com outras empresas. Os equipamentos incluem itens como prensas, esteiras e separadores, que visam otimizar o processo de reciclagem e melhorar as condições de trabalho dos cooperados. Além disso, em parceria com a Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos (ABIHPEC), por meio do projeto “Dê a Mão para o Futuro – Reciclagem, Trabalho e Renda”, e com contrapartida da cooperativa, houve um investimento em uma extrusora de plástico, permitindo aumentar a produção, além de reduzir o consumo de energia elétrica (Figura 20).

Figura 20 - Imagem dos cooperados da Cooperativa de recicladores de Dois Irmãos



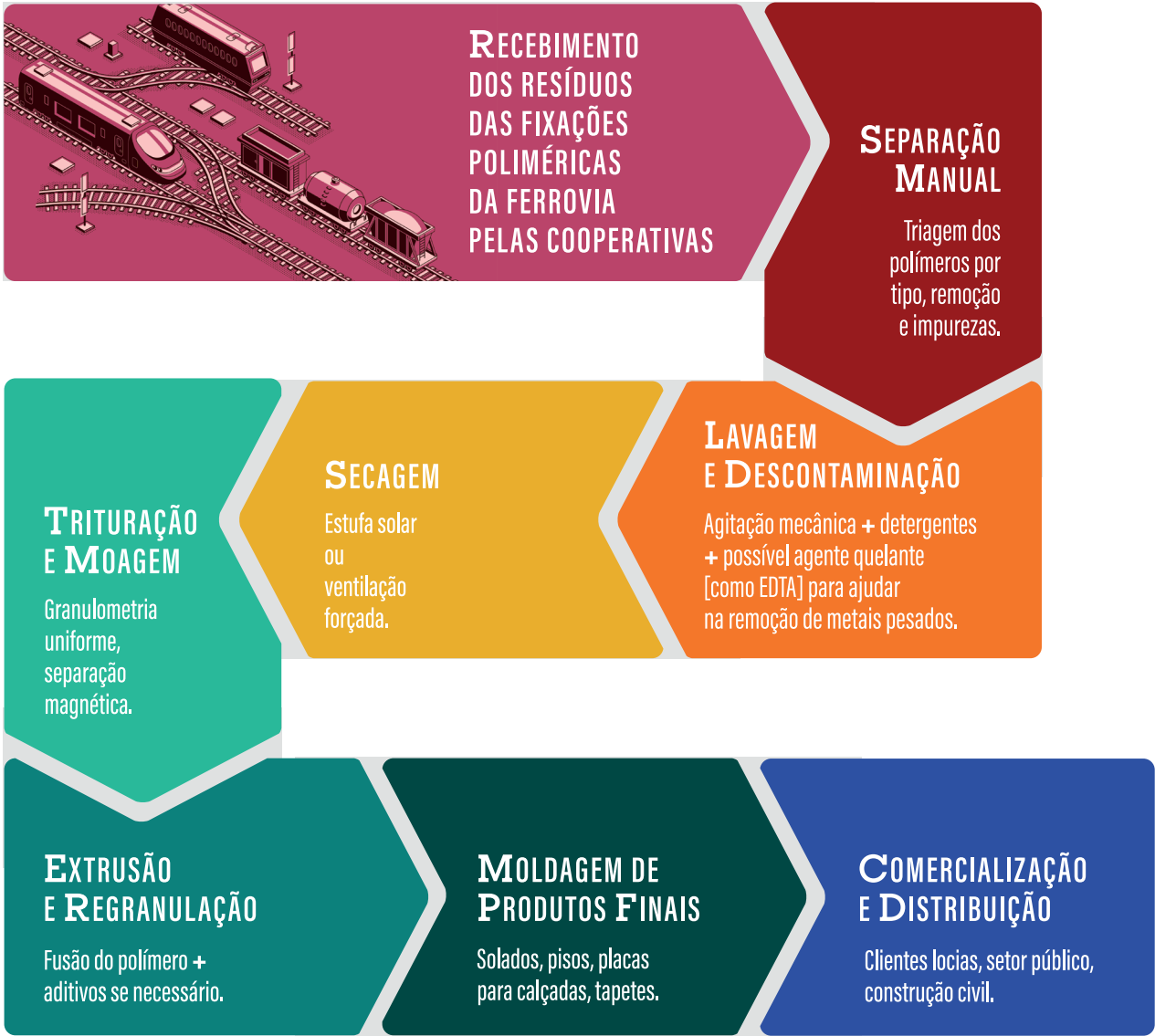
Da direita para a esquerda: Roberto, Justino, Paulo e Adriano

Fonte: CAMP (2014).

Esse exemplo poderia ser replicado para cooperativas do entorno da EFC e da EFVM que desejem reciclar mecanicamente palmilhas e isoladores poliméricos, contaminados ou não por minério de ferro, transformando resíduos poliméricos em matérias-primas reutilizáveis para gerar renda, reduzir impactos ambientais e promover a economia circular localmente.

Na Figura 21, é apresentado um fluxograma de como poderia ser uma operação de reciclagem mecânica das fixações poliméricas de ferrovia.

Figura 21 - Fluxograma de uma possível operação de reciclagem mecânica das fixações poliméricas de ferrovia



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Os possíveis equipamentos que uma cooperativa irá precisar estão elencados no Quadro 1.

Quadro 1 - Equipamentos para reciclagem mecânica de resíduos de fixações poliméricas ferroviárias

Nº	Equipamento	Finalidade técnica	Informações
1	Lavadora rotativa industrial	Lavagem de poliamidas e PU	Ideal com agitação mecânica
2	Estufa elétrica ou solar	Secagem controlada de PA e PU	Controlar temperatura até 80 °C
3	Triturador industrial	Redução granulométrica do material	Lâminas reforçadas recomendadas
4	Separador magnético	Remoção de partículas metálicas pós-trituração	Equipamento simples, boa relação custo-benefício
5	Extrusora para PA 6/66	Regranulação e modelagem de poliamidas	Confirmar se suporta material com fibra de vidro
6	Estação de lavagem química	Lavagem de PU contaminado com tanques/EDTA	Usar com quelantes biodegradáveis
7	Infraestrutura e instalações	Rede elétrica, hidráulica, base física	Pode ser feita em etapas

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

O processo começa com a triagem dos resíduos, na qual os materiais são separados por tipo de polímero, como PU ou poliamidas (PA). Essa etapa também envolve a remoção de elementos não poliméricos, como metais, tecidos e impurezas visuais. Além de ser tecnicamente fundamental, essa fase pode ser realizada com

mão de obra da própria comunidade, promovendo inclusão produtiva e redução de custos operacionais. Após a triagem, os materiais passam por um banho de limpeza em lavadoras com agitação mecânica, utilizando detergentes neutros e, quando necessário, agentes quelantes, como EDTA, para remover traços de minério de ferro ou metais pesados. A água utilizada pode ser filtrada e reciclada no próprio processo, diminuindo o consumo hídrico e o impacto ambiental.

Com os resíduos limpos, eles são submetidos à secagem em estufas solares com ventilação forçada ou estufas elétricas, dependendo da infraestrutura da cooperativa. A secagem adequada previne mofos, umidade residual e possíveis falhas durante o aquecimento posterior. Além disso, contribui para preservar as propriedades físico-químicas dos polímeros. Em seguida, os resíduos plásticos são triturados em granuladores ou moinhos industriais até atingirem partículas uniformes entre 5 e 10 mm. Para os materiais que possam conter resíduos metálicos, é recomendada a instalação de um separador magnético para garantir a pureza do polímero triturado antes da fusão.

Com os polímeros secos e moídos, realiza-se a fusão do material em extrusoras de baixa ou média rotação. Essa etapa transforma os resíduos em grânulos reutilizáveis para a indústria. Em alguns casos, é possível adicionar aditivos compatibilizantes para melhorar o desempenho do novo material reciclado, especialmente em misturas de diferentes tipos de polímeros.

O material regranulado pode ser transformado em diversos produtos de baixa ou média exigência técnica, como tapetes, solados de calçados, pisos industriais, blocos de vedação, buchas ou peças para construção civil. Esses produtos têm boa aceitação no mercado institucional e ajudam a fechar o ciclo da economia circular.

Alguns cuidados devem ser tomados para a reciclagem de resíduos de isoladores (laterais e frontais) e de palmilhas de PU. No caso dos isoladores de PA 6 ou PA 66, com ou sem fibra de vidro, podem ser reciclados mecanicamente, pois fundem. O PA 6 tem ponto de fusão mais baixo (aproximadamente 215-220 °C), o que facilita o processamento, enquanto o PA 66 exige temperaturas mais altas (aproximadamente 255-265 °C), mas oferece maior resistência térmica e mecânica. Isoladores sem fibra de vidro são mais fáceis de fundir e reprocessar; quando possuem fibra de vidro, esta não funde, permanecendo como reforço no material. Isso exige extrusoras com parafuso adequado e controle térmico preciso para evitar degradação. Após regranulação, o PA reciclado pode ser usado em componentes automotivos não estruturais, peças para eletrodomésticos, ferramentas manuais e solados técnicos.

As palmilhas de poliuretano de base poliéter também podem ser recicladas mecanicamente, com cuidados específicos, já que o poliuretano (PU) é um polímero termofixo, ou seja, não funde novamente como os termoplásticos. Ainda assim, há soluções viáveis e sustentáveis para reaproveitá-lo, como trituração

e moagem, nas quais as palmilhas são transformadas em partículas pequenas. Essas partículas podem ser misturadas com adesivos poliuretânicos e prensadas para formar blocos de espuma aglomerada, utilizáveis como tapetes, pisos esportivos, bases para colchões, isolamento acústico e térmico. A presença de contaminantes, como minério de ferro, pode exigir pré-lavagem e secagem rigorosa. As possíveis etapas são apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Etapas de reciclagem de palmilhas de PU poliéter e de isoladores frontais e laterais de PA 6/66

Aspecto	PU de Base Poliéter	Poliamida (PA 6/PA 66)
Tipo de polímero	Termofixo (não funde)	Termoplástico (fundível e extrudável)
Contaminação comum	Minério de ferro, graxas	Minério de ferro, fibras, graxas industriais
Pré-lavagem	Água morna (40-50 °C), detergente + EDTA	Água morna (40-50 °C), detergente neutro
Secagem	Estufa solar ou elétrica (60-70 °C)	Pré-secagem + secagem final (80-90 °C por 4-6h)
Trituração	Sim, para uso em aglomerados	Sim, granulometria de 5-8 mm
Processamento térmico	Não derrete; usa-se moldagem com adesivo	Sim; regranula por extrusão (230-280 °C)
Possui reforço	Não	Alguns possuem fibra de vidro (30%)
Equipamento necessário	Triturador + prensa (não extrusora)	Triturador + extrusora + separador magnético
Cuidados especiais	Não superaquecer o PU na secagem	Não misturar PA 6 com PA 66 sem compatibilizante

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Em projetos de reciclagem mecânica que envolvem resíduos contaminados, como palmilhas de poliuretano com minério de ferro ou isoladores de poliamida (PA 6/66) com resíduos metálicos, é altamente recomendável que a cooperativa instale uma pequena Estação de Tratamento de Efluentes (ETE). Mesmo em pequena escala, o processo de pré-lavagem desses materiais gera águas residuais que contêm detergentes, partículas sólidas e, em alguns casos, metais pesados. Esses efluentes não podem ser descartados diretamente na rede pública ou em corpos d'água sem tratamento, sob risco de causar impactos ambientais e descumprir a legislação sanitária e ambiental.

Para isso, a cooperativa pode utilizar uma ETE compacta, construída com tanques simples, mas eficientes. Ela deve ter, ao menos, etapas básicas como gradeamento inicial para remoção de resíduos sólidos, decantação, ajuste de pH em tanque de neutralização e uma etapa de floculação química com posterior decantação de partículas. Um filtro

de areia ou de carvão ativado pode ser adicionado para polimento final antes da água ser reutilizada no processo ou descartada com segurança.

Existem soluções modulares no mercado, algumas adaptadas a tanques IBC (1.000 litros), com preços acessíveis que variam entre R\$ 15.000 e R\$ 30.000. Os tanques IBC (do inglês *Intermediate Bulk Container*) são recipientes industriais projetados para armazenar e transportar líquidos, pastas ou sólidos a granel de forma segura e eficiente. Eles são muito utilizados em setores como químico, alimentício, agrícola e, cada vez mais, em projetos de reciclagem e reaproveitamento de resíduos. Esses tanques geralmente têm capacidade de 1.000 litros, estrutura metálica externa (geralmente de aço galvanizado) e um recipiente interno de polietileno de alta densidade (PEAD). São empilháveis, reutilizáveis e possuem válvula de descarga na base, o que facilita o escoamento do conteúdo. Além disso, podem ser movimentados com empilhadeiras ou paleteiras, o que os torna ideais para cooperativas que precisam de soluções práticas e modulares. Eles são chamados de “intermediários” porque ocupam um espaço entre os tambores de 200 litros e os grandes tanques fixos de 3.000 litros ou mais.

Além disso, universidades podem colaborar com o projeto técnico da estação, assim como acompanhar o monitoramento da água. Recursos para essa estrutura podem ser captados por meio de editais ambientais, como os da FAPs, do MMA ou do BNDES. Mesmo sendo uma etapa muitas vezes esquecida, a implantação de uma ETE é essencial para que a operação seja ambientalmente segura e legalmente sustentável.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os PGRS elaborados para o gerenciamento adequado dos resíduos oriundos dos sistemas de isolamento e fixação das ferrovias vão contribuir, de forma geral, com todos os resíduos gerados no interior das unidades e ao longo das estradas, e o diagnóstico possibilitará o monitoramento da geração de resíduos, subsidiando metas factíveis e o controle dos materiais, proporcionando redução de custos, além dos benefícios ambientais que estão inseridos intrinsecamente no processo.

Há diversas ações que podem ser adotadas para aprimorar a gestão de resíduos sólidos nos empreendimentos. Uma delas é a redução na geração de resíduos por meio de campanhas de conscientização. No que diz respeito ao acondicionamento, práticas de melhoria operacional são amplamente difundidas, como a sinalização das lixeiras de acordo com os tipos de resíduos, a distribuição de acondicionadores adequados e identificados, e a manutenção e troca dos sacos e/ou *big bags*. Na etapa de estocagem temporária, existem várias ações que podem ser exploradas para trazer benefícios financeiros e ambientais, como a redução do volume de resíduos destinados ao aterro sanitário.

É importante reconhecer que empreendimentos de grande porte estão sujeitos a mudanças constantes, incluindo atualizações nos contratos de prestadores de serviços e alterações na região em que estão localizados. Portanto, os documentos de gestão e os procedimentos operacionais também devem ser atualizados regularmente. O PGRS não foge a essa regra e deve ser revisado a cada dois anos, além de ser constantemente ajustado às particularidades das unidades.

ABNT. **NBR 11.174**. Armazenamento de resíduos classes II – não inertes e III – inertes. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1990.

ANTT. Agência Nacional de Transportes Terrestres. Acompanhamento das concessões ferroviárias: Relatório Anual. Brasília: Ministério dos Transportes, 2017.

BENTES, T. O trabalho realizado por catadores de resíduos sólidos no Lixão do Aurá: As influências do neoliberalismo na cadeia produtiva dos materiais recicláveis. **Laborare**, [s. l.], v. 7, n. 12, p. 325-342, 2024.

BERTICELLI, R.; PANDOLFO, A.; KORF, E. P. Gestão integrada de resíduos sólidos urbanos: perspectivas e desafios. **R. gest. sust. ambient**, Florianópolis, v. 5, n. 2, p. 711-744, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/318217988_GESTAO_INTEGRADA_DE_RESIDUOS_SOLIDOS_URBANOS_PERSPECTIVAS_E_DESAFIOS. Acesso em: 01 fev. 2026.

BORCHERS, T.; FERREIRA, V. G. F.; RIBEIRO, R. A. Perception of public transportation in Brazilian capitals in the context of the COVID-19 pandemic. *In*: I Congresso Latino-americano de Desenvolvimento Sustentável. **Anais...**, [s. l.], 2021.

BRASIL. **Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 01 fev. 2026.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 1981.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 17 de fevereiro de 1986.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 22 de dezembro de 1997.

CAMARGO, R. V.; SARON, C. Mechanical-chemical recycling of low-density polyethylene waste with polypropylene. **Journal of Polymers and the Environment**, [s. l.], v. 28, n. 12, p. 794-802, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10924-019-01642-5>. Acesso em: 01 fev. 2026.

CAMP. Projetos e parcerias do CAMP na área da reciclagem. **Vento Sul: Reciclagem em debate**, Porto Alegre, caderno n. 4, 2014. Disponível em: <https://camp.org.br/files/2014/07/Caderno-vento-sul-4-Reciclagem.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2026.

CAPAGIO, Á. do C. Índice de desempenho ambiental ferroviário, sustentabilidade e smart regulation. *In*: Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET, 34., 2020, Online.

Anais eletrônicos... Disponível em: https://www.anpet.org.br/anais34/documentos/2020/Aspectos%20Econômicos%20Sociais%20Políticos%20e%20Ambientais%20do%20Transporte/Gestão%20do%20Transporte%20Ferroviário%20e%20Hidroviário/5_490_AC.pdf. Acesso em: 12 dez. 2022.

COIMBRA, M. do V. **Modos de falha dos componentes da via permanente ferroviária e seus efeitos no meio ambiente.**

2008. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2008.

CORREIA, J.; MARANGONI, C.; DAL FORNO, A. J.; VALLE, J. A. B. Diagnóstico da Produção de Resíduos da Indústria da Confecção na Região de Blumenau. *In*: 4º Congresso Científico Têxtil e Moda. Blumenau, 2016. **Anais...** Disponível em: <https://proceedings.science/contextmod/contextmod-2016/trabalhos/diagnostico-da-producao-de-residuos-da-industria-da-confeccao-na-regiao-de-blume?lang=pt-br#>. Acesso em: 01 fev. 2026.

CROCE, S.; VETTORATO, D. Urban surface uses for climate resilient and sustainable cities: A catalogue of solutions. **Sustainable Cities and Society**, [s. l.], v. 75, 103313, 2021.

CUNHA, A. P.; MACHADO, B. V.; CLAUDIO, F. P.; SILVA, G. L. T.; COSTA, M. P. DO C.; SANTOS, P. D. DE J. **Sustentabilidade na ferrovia brasileira:** destinação de resíduos como uma abordagem estratégica de negócio. 2022. 84 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão do Negócio) – Fundação Dom Cabral, Instituto de Transporte e Logística, Belo Horizonte, 2022.

DOLCI, G.; RIGAMONTI, L.; GROSSO, M. Potential for improving the environmental performance of railway sleepers with an outer shell made of recycled materials. **Transportation Research Interdisciplinary Perspectives**, [s. l.], v. 6, p. 100160, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100160>. Acesso em: 02 fev. 2026.

EC. First circular economy action plan. **European Comission**, 2015. Disponível em: https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy-topics/first-circular-economy-action-plan_en. Acesso em: 02 fev. 2026.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **A New Textiles Economy:** Redesigning Fashion's Future. 2017b. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/a-new-textiles-economy>. Acesso em: 01 fev. 2026.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **The butterfly diagram:** visualising the circular economy. 2017a. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-diagram>. Acesso em: 02 fev. 2026.

FERDOUS, M. H.; BILLAH, A. A. M.; MEHRAJ, H.; TAUFIQUE, T.; UDDIN, A. F. M. BAP and IBA pulsing for in vitro multiplication of banana cultivars through shoot-tip culture. **Journal of Bioscience and Agriculture Research**, [s. l.], v. 3, n. 2, p. 87-95, 2015.

FONTSERÈ, V. PITA, A. L.; MANZO, N.; AUSILIO, A. NEOBALLAST: new high-performance and long-lasting ballast for sustainable railway infrastructures. **Transportation Research Procedia**, [s. l.], v. 14, p. 1847-1854, 2016.

FUZZI, F. R.; LEAL, A. C. Cooperativas e associações de catadores de materiais recicláveis organizadas em rede: Rede Cataoeste, São Paulo, Brasil. **Formação**, [s. l.], v. 25, n. 45, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Fernanda-Fuzzi/publication/335183772_COOPERATIVAS_E_ASSOCIACOES_DE_CATADORES_DE_MATERIAIS_RECICLAVEIS_ORGANIZADAS_EM_REDE_REDE_CATAOESTE_SAO_PAULO_BRASIL/links/6054ea2b92851cd8ce529369/COOPERATIVAS-E-ASSOCIACOES-DE-CATADORES-DE-MATERIAIS-RECICLAVEIS-ORGANIZADAS-EM-REDE-REDE-CATAOESTE-SAO-PAULO-BRASIL.pdf. Acesso em: 01 fev. 2026.

HORODYTSKA, O.; VALDÉS, F.J.; FULLANA, A. Plastic flexible films waste management – A state of art review. **Waste Management**. [s. l.], v. 77, p. 413-425, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.04.023>. Acesso em: 01 fev. 2026.

HUANG, J.; TIAN, C.; XING, L.; BIAN, Z.; MIAO, X. Green and Sustainable Mining: Underground Coal Mine Fully Mechanized Solid Dense Stowing-Mining Method. **Sustainability**, [s. l.], v. 9, p. 1418, 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Brasileiro de 2021**. Brasil: IBGE, 2021.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Brasil 2035**: cenários para o desenvolvimento. Brasília: Ipea: Assecor, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/bitstreams/36de30dc-ff96-44c7-9726-7d5200f10737/download>. Acesso em: 01 fev. 2026.

JOÃO NEIVA. **Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB)**. Prospectiva e Planejamento Estratégico de João Neiva – Produto D (Versão Final). João Neiva, 2018. Disponível em: <https://www.joaoneiva.es.gov.br/uploads/files/PRODUTO-D--PMSB.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2026.

MASLENNIKOVAA, L. L.; ABU-KHASAN, M. S.; BABAK, N. A. The use of oil-contaminated crushed stone screenings in construction ceramics. **Procedia Engineering**, [s. l.], v. 189, p. 59-64, 2017.

MCKINLAY, R.; MORRISH, L. **Reflex project**: A summary report on the results and findings from the REFLEX Project. [s. l.]: Axion Consulting, 2016. Disponível em: https://cefex.eu/public_downloads/REFLEX-Summary-report-Final-report-November2016.pdf. Acesso em: 01 fev. 2026.

MPES. Ministério Público do Espírito Santo. **Diagnóstico situacional das associações de catadores e catadoras de materiais recicláveis do Espírito Santo**. Relatório 2023/2024. Vitória: Fórum capixaba de resíduos sólidos, 2024. Disponível em: https://mpes.mp.br/wp-content/uploads/2024/06/Diagnostico_das_Associacoes_de_Catadores_e_Catadoras_de_Materiais_Reciclaveis_FCRS.pdf. Acesso em: 01 fev. 2026.

OICS. Cooperativa de Catadores de Materiais Recicláveis Dois Irmãos. OICS, [2025?]. Disponível em: https://oics.cgee.org.br/estudos-de-caso/cooperativa-de-catadores-de-materiais-reciclaveis-dois-irmaos_5ecfde404bae723c6ae879cf.

ÖSTLUND, Å.; WEDIN, H.; BOLIN, L.; BERLIN, J.; JÖNSSON, C.; POSNER, S.; SMUK, L.; ERIKSSON, M.; SANDIN, G. **Textilåtervinning**: Tekniska möjligheter och utmaningar. Stockholm: Naturvårdsverket, 2015. Disponível em: <https://www.naturvardsverket.se/publikationer/6600/textilatervinning/>. Acesso em: jun. 2021.

PALME, A.; IDSTROM, A.; NORDSTIERNA, L.; BRELID, H. Chemical and ultrastructural changes in cotton cellulose induced by laundering and textile use. **Cellulose**, [s. l.], v. 21, 4681e4691, 2014.

PERS-ES. Plano Estadual de Resíduos Sólidos. Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEAMA). **Caracterização Socioeconômica e Ambiental do Espírito Santo**. 2019. Disponível em: <https://seama.es.gov.br/Media/seama/Documentos/Residuos%20Solidos/2%20-%20CARACTERIZA%C3%87%C3%83O%20SOCIOECON%C3%94MICA%20E%20AMBIENTAL%20DO%20ESP%C3%8DITO%20SANTO.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2024.

PERS-MA. Plano Estadual De Resíduos Sólidos. Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Naturais (SEMA). **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos do Estado do Maranhão**. 2012. Disponível em: <https://observatoriopnrs.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/11/maranhc3a3o-plano-estadual-de-resc3adduos-sc3b3lidos.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2024.

PIECUCH, T.; DA BROWSKI, J. Conceptual project of construction of waste incineration plant for Polczyn Zdrój (in Polish). Ann. **Set Environ. Prot.**, [s. l.], v. 16, p. 21-38, 2014.

PINHEL, J. R.; VIEIRA, A. J. N. L.; MARONI, B. C.; ALBUQUERQUE, F. P.; BESEN, G. R.; SANTOS, L. Y. B.; LOPES, L.; CARDO, M. B. **Do lixo à cidadania**: guia para a formação de cooperativas de catadores de materiais recicláveis. São Paulo: Peirópolis, 2013.

IBATIBA. Projeto de Fortalecimento de Catadores de Materiais Recicláveis e Reutilizáveis. **Prefeitura Municipal de Ibatiba**, 2017. Disponível em: <https://www.ibatiba.es.gov.br/noticia/ler/199/pagina/ler/2133/politica-de-privacidade-e-seguranca>. Acesso em: 02 fev. 2026.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental**: conceitos e métodos. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

SANDIN, G.; PETERS, G. M. Environmental impact of textile reuse and recycling e a review. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 184, 353e365, 2018.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR). **Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - 2018**. Brasília: MDR. SNS, 2018.

VALE. Resíduos: Nossa Gestão – Gerenciamento e tecnologia ambiental. **Vale**, 2021. Disponível em: <https://vale.com/pt/esg/gestao-de-residuos>. Acesso em: 16 out. 2022.

YUGUE, E. T.; MANCINI, S. D.; ROVEDA, J. A. F. Desafios e potenciais soluções para reciclagem de embalagens plásticas flexíveis pós-consumo no Brasil. **Revista DAE**, São Paulo, v. 70, n. 237, p. 100-120, 2022.

SOBRE O AUTOR E A AUTORA

Thiago Tepasse de Brum

Doutor em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais. Egresso do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais da Universidade Feevale.

E-mail: thiagotepasseh@gmail.com

Vanusca Dalosto Jahno

Doutora em Medicina e Ciências da Saúde. Docente do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais da Universidade Feevale. Coordenadora do Projeto "Desenvolvimento de Fixações Ferroviárias em Polímero" pela Cátedra Under Rail da Vale S.A. com a Universidade Feevale (Novo Hamburgo-RS, Brasil).

E-mail: vanusca@feevale.br

SUMÁRIO

FIGURAS E QUADROS

O e-book aborda a gestão de resíduos poliméricos das fixações ferroviárias da Vale S.A., destacando soluções sustentáveis e alinhadas à economia circular. A pesquisa propõe reprocessamento, logística reversa e integração com cooperativas, articulando dimensões ambientais, sociais e econômicas. Com base em dados técnicos, apresenta alternativas de reaproveitamento em novos ciclos produtivos, em consonância com a PNRS e os ODS.

