

Gargalos de Desempenho em Centro de Triagem da Coleta Seletiva

Bianca Ruiz Ferro ^I

Ricardo Gabbay de Souza ^{II}

Resumo: A eficiência na recuperação de materiais em centros de triagem (CT) da coleta seletiva depende de fatores como a diversidade e quantidade dos resíduos, processos e tecnologias adotadas e condições de trabalho. Este trabalho tem como objetivo analisar os gargalos de desempenho dos processos operacionais do CT da coleta seletiva de São José dos Campos (SP). A metodologia envolveu a coleta de dados primários e análise dos resultados, adotando princípios do Lean Manufacturing para identificar desperdícios do processo. O CT recebe cerca de 70 toneladas/dia de resíduos da coleta seletiva, sendo 72,5% recicláveis, dos quais mais de 40% têm sido destinados como rejeitos. O desperdício de materiais representou perda de mais de R\$ 2 milhões em 2018. Há grande desperdício de tempo, principalmente para troca das caçambas de rejeitos (aproximadamente 1 hora). Outro desperdício é o número de sacos que permanecem fechados ao longo do processo, sendo descartados como rejeitos.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos Urbanos; coleta seletiva; centro de triagem; Produção Enxuta

^I Owens-Illinois, São Paulo, SP, Brasil.

^{II} Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, Departamento de Engenharia Ambiental, São José dos Campos, SP, Brasil.

São Paulo. Vol. 27, 2024

Artigo Original

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc0064vu27L3AO>



Todo o conteúdo deste periódico, exceto onde está identificado, está licenciado sob uma Licença Creative Commons.

Introdução

A falta de separação de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) causa sobrecarga do sistema de destinação final e da extração de recursos naturais (GODECKE et al., 2013). O esgotamento da vida útil dos aterros sanitários, a insuficiência de áreas para a criação de novos aterros, a poluição, a presença de catadores em lixões e os desperdícios de materiais são desafios da gestão dos RSU, exigindo uma reavaliação da forma que o material reciclável é tratado na fase pós-consumo (RIBEIRO et al., 2014).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, Lei nº 12.305/2010) tem como meta a destinação final ambientalmente adequada de resíduos, mas o Brasil ainda apresenta dificuldades para alcançá-la (Zago e Barros, 2019). Somente 75% dos municípios brasileiros contam com alguma iniciativa de coleta seletiva, cobrindo 38% da população (ABRELPE, 2022; CEMPRE, 2022).

Dentre os principais fatores de eficiência de um Centro de Triagem (CT) estão a quantidade de resíduos e a variedade de tipos de materiais a serem classificados. O ideal é que os rejeitos dos CTs representem cerca de 15% a 18% do total de entrada. Há duas abordagens para a triagem de recicláveis, que podem ser combinadas: manual ou automatizada. Para alcançar essa eficiência, recomenda-se usar equipamentos automatizados, mais sensíveis aos contaminantes e que favorecem a obtenção de frações mais puras (WRAP, 2006). Há várias configurações possíveis para um CT, e um nível de maturidade que garante materiais de alta qualidade, embora persistam grandes ineficiências que precisam ser melhoradas (CIMPAN et al., 2015).

Este estudo tem como objetivo analisar os gargalos de desempenho dos processos do CT da coleta seletiva de São José dos Campos (SP), a fim de recomendar melhorias na eficiência da segregação dos materiais recicláveis.

Referencial Teórico

Coleta Seletiva de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil

A Coleta Seletiva é um dos instrumentos da PNRS e é definida como a “coleta de resíduos sólidos previamente segregados conforme sua constituição ou composição”. Os programas mais bem-sucedidos são aqueles nos quais existe uma combinação de modelos, como os Pontos de Entrega Voluntária (PEV), sistema de trocas e coleta porta-a-porta (CEMPRE, 2022).

São José dos Campos foi um município pioneiro na implantação da coleta seletiva no Brasil, iniciando-se em 1990, e que hoje atua em 100% do perímetro urbano. Na cidade, a coleta de recicláveis pode acontecer porta-a-porta, realizada pela empresa URBAM, por cooperativas de catadores ou por sucateiros que coletam ou compram resíduos (URBAM, 2023).

Na coleta seletiva porta-a-porta, o RSU passa por um CT localizado na Estação de Tratamento de Resíduos Sólidos (ETRS) do município. Uma fração dos recicláveis é separada e enfardada para posterior comercialização (URBAM, 2023). Em 2017, as

cooperativas Coopertech, Cooperalfa e Futura passaram a ser responsáveis pela triagem dos materiais no CT (URBAM, 2023).

Centros de Triagem de Resíduos Sólidos Urbanos

A participação dos CTs nos canais reversos pós-consumo é situada como intermediária entre o processo de coleta de resíduos e o envio deste material para a reciclagem (SOUZA et al., 2012). Atualmente, os CTs são protagonistas no gerenciamento de resíduos e recuperação de materiais, atingindo altos níveis de maturidade e eficiência, embora ainda haja ineficiências associadas à contínua variação da composição dos RSU. Em CTs de referência internacional, a taxa de recuperação de recicláveis pode variar significativamente, em função da composição dos resíduos e das tecnologias adotadas, como por exemplo: 12-45% do papel e papelão; 61-72% dos metais ferrosos; 29-62% de metais não-ferrosos; 29-67% de plásticos PET; 14-73% de PEAD (CIMPAN et al., 2015). No caso dos CTs que recebem resíduos separados na fonte, a ocorrência de recicláveis como papéis, papelão, plásticos, vidros, alumínio e latas é mais comum. Além disso, a capacidade do CT depende do tipo de operação, escolha de equipamentos e exigências de instalação, impactando as taxas de recuperação (TCHOBANOGLIOUS E KREITH, 2002). As operações unitárias envolvidas no processamento de resíduos em um CT envolvem:

- Separação manual: realizada por operadores (ver *Separação Manual de Materiais*);
- Transporte: para transportar todos os tipos de materiais de um lugar para outro. Dentre os tipos de transporte estão: esteiras horizontais e inclinadas, arrasto, pneumático, vibratório e elevadores de baldes;
- Redução de tamanho (ex. trituração): busca remover contaminantes e desagregar materiais para que possam ser separados em outras operações;
- Recuperação de materiais: além da triagem manual, com a separação automatizada é possível segregar grande parte dos materiais (ver *Separação Automatizada*);
- Adensamento: a compactação reduz a necessidade de espaço de armazenamento de materiais processados, e custos de manuseio e transporte;
- Pesagem: permite manter um registro operacional do CT e controlar o balanço de massa;
- Equipamento móvel: geralmente, utiliza-se pá carregadeira para transportar o material do local de recebimento até a esteira. Empilhadeiras movem os fardos para as áreas de armazenamento ou caminhões;
- Áreas de armazenamento: dedicadas tanto para os materiais já processados, quanto para aqueles que ainda serão segregados (TCHOBANOGLIOUS E KREITH, 2002).

Separação Manual de Materiais

A triagem manual é feita baseada na capacidade de inspeção visual humana. Fatores como surto de material (grande quantidade de materiais em pouco tempo), velocidade da esteira, cansaço causado por variáveis ambientais como temperatura, iluminação e ventilação, e problemas de saúde são alguns dos obstáculos observados nessa operação unitária (BONELLO, 2017). Há várias técnicas de triagem manual de RSU, que podem ser combinadas, como:

- Pré-triagem: busca itens que possam interferir nos processos posteriores (ex.: volumosos, perigosos);
- Puxar: os materiais de interesse são retirados de uma esteira ou mesa, puxados em direção ao operador e depositados em um contêiner;
- Plataformas elevadas: as esteiras ficam localizadas acima das baias de armazenamento. Classificadores manuais (e automatizados) removem os materiais e os depositam nas baias;
- Separação positiva: os materiais a serem recuperados são removidos de um fluxo de resíduos mistos (TCHOBANOGLIOUS E KREITH, 2002).

Separação Automatizada

A separação automatizada requer um grande investimento inicial e a necessidade de manutenção. Além disso, exige uma alimentação de resíduos pré-triados. A eficiência do processo está diretamente relacionada ao atendimento de requisitos de operação do equipamento (TCHOBANOGLIOUS E KREITH, 2002).

As técnicas de classificação automatizada podem ser divididas entre diretas ou indiretas. As diretas adotam propriedades do material como a magnetismo, condutividade elétrica e densidade (GAUSTAD et al., 2012; SVOBODA, 2004). As indiretas usam sensores para detectar tipos de materiais. A separação mecanizada ocorre de acordo com as propriedades dos materiais:

- Tamanho: a forma mais comum é o peneiramento, no qual os materiais podem passar por uma malha com determinada abertura. Requer atenção a alguns aspectos como: tamanho, distribuição, densidade e umidade das partículas; design da malha; eficiência de separação e características operacionais do equipamento;
- Magnetismo: método mais comum para segregar metais ferrosos, usando eletroímãs ou ímãs permanentes;
- Densidade: realizada pela utilização de ar ou solução líquida;
- Condutividade elétrica: por meio da indução elétrica no material condutor (metais), é possível separá-lo por repulsão eletromagnética;

- Óptica: pode ser feita seguindo características ópticas, como cores, formas, texturas e tamanhos (GUNDUPALLI et al., 2016; TCHOBANOGLIOUS E KREITH, 2002).

Planejamento e Melhoria de Processos em Centros de Triagem

Os CTs devem ser planejados para garantir um alto nível de eficiência em curto *lead time* e alta capacidade a baixo custo. O *lead time* é “o tempo desde o momento em que o resíduo entra no centro de reciclagem até sair dele”. Os CTs também devem estar preparados para receber uma variedade de tipos de resíduos em quantidades variáveis. Por isso, o *layout* influencia diretamente no fluxo dos materiais e, consequentemente, na prevenção de desperdícios (SUNDIN et al., 2011).

Para definir metas de eficiência, é importante construir um diagrama de fluxo dos processos. Determina-se quais materiais serão recuperados, para então integrar no diagrama o conjunto das operações unitárias do CT. Operações unitárias são blocos individuais que compõem um sistema de processamento para obter cada produto. Elas podem ser analisadas de forma individual ou sistematicamente, considerando as características dos materiais que serão processados, os tipos de equipamentos e instalações disponíveis, e os produtos desejados. Estudos recentes têm usado modelos computacionais para simular CTs, buscando identificar configurações otimizadas para os arranjos das operações unitárias, maximizando a eficiência da triagem (ex. IP et al., 2018; TANGUAY-RIOUX et al., 2022).

No planejamento de CTs, diversos fatores interferem na eficiência geral do processo de triagem. Particularmente no Brasil, CTs têm enfrentado desafios na integração entre mecanização e trabalho manual. Destacam-se:

- obstrução dos orifícios do *trommel* (peneira rotatória) por materiais “enroscantes”: gera perda de tempo com manutenção;
- ergonomia e precarização das condições de trabalho: esteiras com altura não projetada para trabalhadores brasileiros, com áreas inalcançáveis que geram aumento de rejeitos e menor qualidade do material triado; há fatores como trabalho em pé, ritmo intenso, e necessidade de triagem negativa de rejeitos como animais mortos, lixo de banheiro e até resíduos ambulatoriais;
- má disposição de funis para a separação manual “lançada para frente”, em regiões da esteira com fluxo muito denso (especialmente no início), onde materiais maiores escondem materiais menores, e gerando queda acidental de materiais nos funis;
- baixa qualidade do produto final e alto índice de rejeito: presença de muitas impurezas nas frações triadas (ex. 15% em fardos de papel misto), e desperdícios no rejeito da planta (ex. 40% de vidro no rejeito) (SOUZA et al., 2021).

Avaliação de Desempenho de CTs

Avaliar o desempenho de um programa de reciclagem é necessário para prever o fluxo de materiais processados, examinar estratégias, e desenvolver a economia circular. Após o processamento dos materiais no CT, pode-se estimar o fator de recuperação de cada material pela eficiência dos processos de separação. Alguns parâmetros críticos para avaliação de desempenho de CTs são: rentabilidade (pela venda dos recicláveis), taxa de recuperação de materiais (quantidade recuperada de cada material / quantidade de entrada), eficiência (soma das taxas de recuperação de todos os tipos de materiais), e qualidade dos materiais (concentração do material desejado no respectivo fluxo de saída) (TCHOBANOGLIOUS E KREITH, 2002; IP et al., 2018).

A taxa de carregamento, ou seja, a quantidade de materiais processados por hora em cada operação unitária, também pode ser calculada a fim de realizar o planejamento do CT. Trata-se de um balanço de materiais para determinar as quantidades que podem ser recuperadas, e as taxas de carregamento apropriadas para as operações unitárias do CT (SILVA ET AL., 2020). Também pode ser importante avaliar a eficiência do sistema em função de variações na composição e quantidade dos fluxos de entrada de resíduos (IP ET AL., 2018).

A avaliação destes parâmetros pode dar suporte a decisões importantes no planejamento de um CT. Por exemplo, pode não ser interessante aumentar a qualidade das frações separadas, já que seus valores de venda podem permanecer inalterados. Operações de triagem de determinado material mais a jusante do processo, combinadas com loops de recirculação, podem aumentar a eficiência da triagem (IP et al., 2018). Constatou-se que simplificar a caracterização das frações finas dos resíduos, ao assumir que possuem a mesma composição da fração bruta, tem profundas implicações econômicas, ao superestimar a quantidade de materiais recicláveis presentes nos resíduos (KIRK E MOKADDAM, 2021). Ainda sobre a composição dos resíduos, observou-se que a complexidade da natureza de embalagens leves (mistura de plásticos, papéis, papelão e metais), combinada com as condições de processamento dos resíduos, são fatores importantes que explicam taxas relativamente baixas de recuperação de materiais (CIMPAN et al., 2016).

Produção Enxuta (Lean Manufacturing) na Gestão de Resíduos Sólidos

Para o desenvolvimento de melhorias que visam a maior eficiência de um CT, pode-se adotar a metodologia Lean Manufacturing (Produção Enxuta). Esta filosofia foi desenvolvida buscando a melhoria nos processos através da eliminação de perdas e aumentando a eficiência (PERGHER ET AL., 2011).

A eficiência em sua plenitude só é possível quando é obtido zero desperdício. Os sete desperdícios clássicos são: (1) Tempo de espera por materiais, pessoas, equipamentos ou informações; (2) Defeito; produto fora de especificação; (3) Transportes de materiais, que não agregam valor; (4) Movimentação de pessoas, que não agrega valor; (5) Excesso de estoque; (6) Excesso de produção; (7) Super processamento, etapa do processo que não agrega valor ao cliente (OHNO, 1997).

O Mapa de Fluxo de Valor (“Value Stream Map” - VSM) é uma ferramenta central do Lean. A ela são integrados dois fundamentos básicos: especificar o valor definido pelo consumidor e identificar o fluxo de valor mapeando todos os processos, permitindo a eliminação dos desperdícios. Esta metodologia tem como vantagem a obtenção de dados como tempo, qualidade e recursos, e permite localizar os gargalos onde podem ser implementadas melhorias (HINES et al., 1998). Após compreender totalmente o processo a partir do VSM do estado atual, é desenvolvido o VSM do estado futuro para definir planos de ação. Nesta etapa analisa-se o VSM atual para encontrar os locais de desperdícios e áreas de melhorias. Assim, é possível compreender quais etapas podem ser simplificadas, combinadas ou eliminadas para melhorar o fluxo. Além disso, o VSM do estado futuro permite a projeção dos impactos que alguma alteração pode ocasionar (JENSEN, 2015).

Além da grande aplicação em setores industriais e comerciais, a filosofia Lean também tem sido estudada em problemas de gerenciamento de resíduos. Porém, há poucos estudos concentrados no uso de Lean para melhoria de processos em CTs. Um estudo concentrou-se em pontos de entrega de recicláveis na Suécia, e identificou alguns gargalos de processo, como: trânsito no transporte de resíduos para o centro, e movimentação de veículos no seu interior; distância entre o estacionamento e os contêineres para entrega de resíduos; localização pouco intuitiva dos contêineres, levando a perdas de tempo; e limitações nos horários de funcionamento (SUNDIN et al., 2011).

Um estudo utilizou a filosofia Lean para analisar cinco CTs operadas por catadores no Brasil, identificando diversos gargalos relativos a:

- Diversidade dos resíduos: presença de resíduos tóxicos, incertezas nas quantidades e composições, entregas dependentes dos fornecedores;
- Complexidade no planejamento das operações: obsolescência ou ausência de tecnologias; *takt time* definido em função da rotina de entregas; baixa demanda para planejamento a longo prazo; falta de padronização de procedimentos;
- Trabalho: pouca ergonomia; alta variabilidade nos tempos de ciclos de processos; excessivo trabalho manual; baixa capacitação;
- Fatores externos: fatores de mercado; infraestrutura precária; preços totalmente determinados pelos clientes; função socioeconômica dos CTs nos municípios (TORTORELLA et al., 2018).

Visando implementar melhorias no processo, esse estudo definiu, no VSM futuro, algumas potenciais soluções (que não dependessem de atores externos), como: implementação de práticas de gestão visuais (ex. FIFO), reduzindo desentendimentos e erros; redesenho do balanço da carga de trabalho na triagem, melhorando a qualidade do material triado; redistribuição de tarefas focando trabalhadores em materiais específicos, permitindo maior especialização, padronização e assertividade; melhorias no abastecimento da triagem, como limitação do tamanho de cada batelada, uso da gravidade e gestão visual, permitindo um fluxo ininterrupto no abastecimento e a antecipação de ações antes de

acabar o material de triagem. Por outro lado, o estudo limitou-se a usar dados de séries históricas para construir o VSM, o que restringiu o potencial de análise do problema (TORTORELLA et al., 2018).

Procedimentos Metodológicos

O presente estudo usou ferramentas inseridas na metodologia Lean, e foi dividido em três etapas, sendo a primeira de embasamento teórico. Nela verificou-se o estado da arte do assunto, investigando estudos existentes e suas respectivas metodologias. De forma complementar a artigos científicos, foram verificados relatórios, livros e legislações pertinentes.

A segunda etapa consistiu na coleta de dados no CT de São José dos Campos, buscando mapear os processos atuais (VSM atual). Os dados primários foram coletados no CT durante cinco meses (julho a dezembro de 2019). As principais variáveis reunidas e usadas no estudo foram obtidas utilizando um cronômetro para determinar:

- Tempo ocioso dos catadores: cada catador presente no dia da coleta de informações foi observado durante trinta minutos, sendo cronometrado o tempo que deixavam de coletar materiais nas esteiras por diversos motivos, também observados;
- Tempo ocioso das esteiras: durante quatro dias foi cronometrado o tempo que as esteiras ficavam paradas durante a jornada de trabalho, mesmo contendo resíduos a serem segregados;
- Contagem de sacos: foram realizadas, durante três dias, quinze contagens de sacos que chegavam fechados ao final da esteira, em períodos de um minuto durante a atividade padrão dos catadores;
- Tempo de enchimento e troca de caçamba: foram cronometrados o tempo de enchimento da caçamba de rejeitos e o tempo de pausa das esteiras para realizar a substituição da caçamba cheia por uma vazia, durante quatro horas em três dias;
- Itens recuperados por minuto por catador: foi realizada a contagem de itens retirados da esteira por minuto em cada posição na esteira durante três dias, sendo três contagens para cada dia.

Foi fornecida pela URBAM a última caracterização gravimétrica do município, realizada no ano de 2018, e informações registradas pelo sistema de gerenciamento de balanças rodoviárias da ETRS, como a movimentação de resíduos, que engloba todo o material que entra e sai do CT. A saída dos materiais pode ser para venda de recicláveis ou destinação dos rejeitos ao aterro sanitário. A coordenação das cooperativas também colaborou com a disponibilização de planilhas de controle de contêineres de materiais recuperados por catador, aproveitamento e frequência de funcionários registrados diariamente.

Todos os dados foram incluídos em uma planilha de Excel para a formulação de hipóteses. Em seguida, foi feita uma entrevista com o gerente da ETRS e com membros da administração do CT para complementar, validar os dados coletados e desenvolver o Value Stream Map (VSM) do estado atual do CT para identificar os gargalos dos processos.

O VSM é uma ferramenta que representa o fluxo dos materiais por meio de um desenho do processo, em que são incorporadas caixas de dados abaixo de cada etapa para apresentar informações relacionadas a ela. Define-se onde o processo começa e termina, e as etapas são numeradas em sequência, ilustrando a situação real, assim como as entradas, saídas e métricas concernentes a cada uma. Em seguida, adiciona-se uma linha do tempo para totalizar o ciclo do processo. A linha deve ser dividida entre tempo de valor agregado e não agregado, decomposta a cada etapa. O tempo sem valor agregado compreende o gasto em retrabalho, etapas repetitivas, esperas e qualquer uso do tempo que não contribua para o processo (Jensen, 2015).

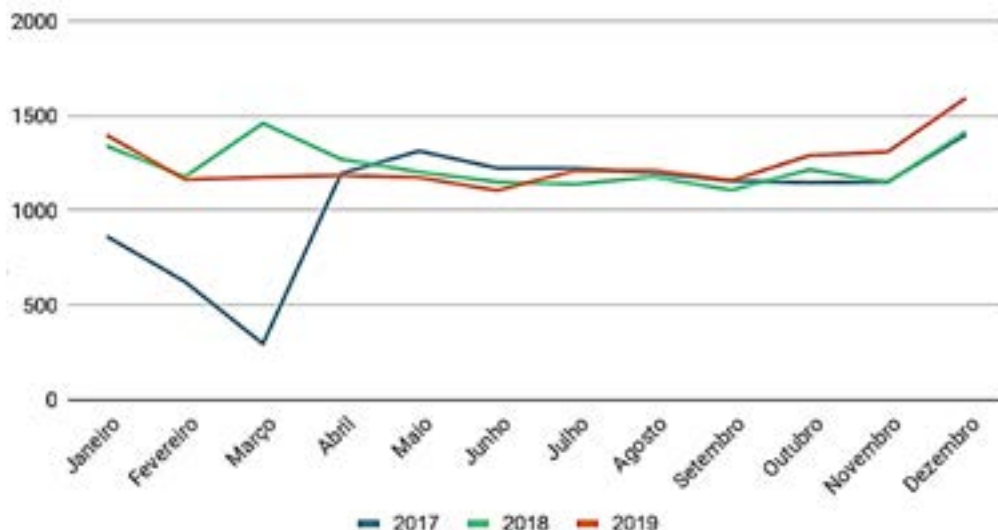
Na terceira etapa foi feita a análise das informações obtidas para identificar os desperdícios (gargalos) envolvidos no processo. Para isso, foram desenvolvidos gráficos para identificar possíveis padrões de desempenho. Com os resultados obtidos nas análises e com os gargalos identificados, partiu-se do embasamento teórico para propor melhorias ao CT.

Análise dos Resultados

Descrição do Processo no Centro de Triagem

A Figura 1 representa a variação da média mensal de materiais que chegam para serem triados por meio da coleta seletiva porta a porta, medida a partir das balanças rodoviárias nas quais todos os caminhões são pesados ao entrar e ao sair da ETRS. As informações compreendem as médias mensais dos anos de 2017, 2018 e 2019. Uma parte deste material é comprada das cooperativas e segregada por uma empresa privada em uma área dentro do próprio CT.

Figura 1 – Movimentação de resíduos no CT (entrada, em ton)



Fonte: Autores, a partir dados obtidos pelo Sistema de Gerenciamento de Balanças da URBAM

Observa-se na Figura 1 uma expressiva queda na movimentação de resíduos no mês de março de 2017, que se justifica por um incêndio no galpão de triagem. Também se observa que no mês de dezembro ocorrem picos cada vez maiores ao longo dos anos, e que há uma tendência de crescimento no recebimento de resíduos no primeiro e último mês dos anos. Isso é explicado pelo aumento do consumo de bens pela população durante as festas de fim de ano (sazonalidade). Esse fato também foi observado por um estudo sobre as influências sazonais na composição gravimétrica dos RSU em Maceió (AL). Neste caso, o aumento da geração de RSU em janeiro ocorreu devido a eventos como férias escolares, e em dezembro pelo maior volume de pessoas no comércio (SILVA et al., 2020). Com base nos dados coletados, complementando a Figura 1, observou-se que mais de 40% do que chegou no CT durante os anos de 2018 e 2019 foram considerados rejeitos (29% de rejeitos em 2017, 46% em 2018 e 42% em 2019).

Os principais recursos do CT são: um *trommel*, duas esteiras principais de separação manual com capacidade para trinta colaboradores cada, oito prensas, uma empilhadeira, uma pá carregadeira e contêineres de materiais recicláveis de 240 litros. Dentro do CT, os recicláveis misturados são descarregados pelo caminhão compactador. Em seguida, são transportados pela pá carregadeira até a primeira esteira onde há a remoção manual (pré-triagem) de materiais volumosos que podem prejudicar o funcionamento do *trommel* como, por exemplo, para-choques, papelão e sucatas metálicas. Esses materiais são armazenados e vendidos.

O material segue até o *trommel* para que os sacos plásticos sejam rasgados pelas lâminas internas. Os resíduos menores, que passam pela peneira, caem em uma esteira, onde é realizada a segregação manual de materiais pequenos por, em média, duas pessoas,

e os rejeitos seguem até o final da esteira, sendo despejados em uma caixa separadora.

As partículas maiores no *trommel* são direcionadas até um funil. A partir desse ponto, o resíduo pode seguir dois caminhos: ser encaminhado até a primeira esteira ou para um segundo funil que, por sua vez, direciona os materiais até a segunda esteira. A triagem dos materiais na esteira no. 2 é realizada em conjunto com os rejeitos da segregação feita pela empresa privada (esteira no. 1). Eventualmente, o fluxo dos resíduos é baixo, então uma parte dos materiais no primeiro funil é direcionada até o segundo, a fim de manter o fluxo constante em ambas as esteiras.

Posteriormente, os materiais são triados manualmente de forma puxada pelo catador, sendo retirados da esteira em movimento e depositados em contêineres. Ao encher, o contêiner é transportado manualmente por um colaborador até as prensas, onde os materiais são enfardados e armazenados na área externa do galpão, para venda. Não existe uma posição fixa para a segregação de cada tipo de resíduo nas esteiras. Cada operador coleta o material que tiver mais afinidade. Porém, há uma rotatividade entre os colaboradores tanto nas posições das esteiras, quanto no próprio quadro pessoal das cooperativas. Por isso, houve dificuldade em realizar um estudo fiel aos tipos de materiais coletados em cada posição.

Os rejeitos de ambas as esteiras são encaminhados até uma caçamba. Porém, antes eles passam por um separador magnético de correia cruzada, o qual, durante o estudo, não estava funcionando em sua plenitude. Todos os rejeitos gerados pelo CT são encaminhados diretamente para o aterro sanitário.

Características dos Resíduos

A URBAM realizou em 2018 a caracterização gravimétrica tanto dos resíduos da coleta seletiva e comum, quanto dos rejeitos do CT, a fim de conhecer a composição dos RSU do município (URBAM, 2023). Foram analisadas duas amostras para cada setor da cidade, coletadas em dias da semana e viagens diferentes, de aproximadamente 37 kg cada. Já em relação aos rejeitos, foram realizadas duas amostragens tanto para os rejeitos finos provenientes da saída do *trommel*, quanto para os rejeitos grossos, das esteiras principais.

De acordo com a gravimetria dos resíduos de coleta seletiva em São José dos Campos, apesar de 72,5% dos materiais serem considerados recicláveis, 46,10% destes materiais que chegaram ao CT foram destinados como rejeitos em 2018. Além disso, há 27,5% de materiais não passíveis de reciclagem, evidenciando a quantidade de contaminantes que geram desvalorização do material e menor eficiência da segregação de recicláveis. Já na coleta comum, 21,4% são recicláveis.

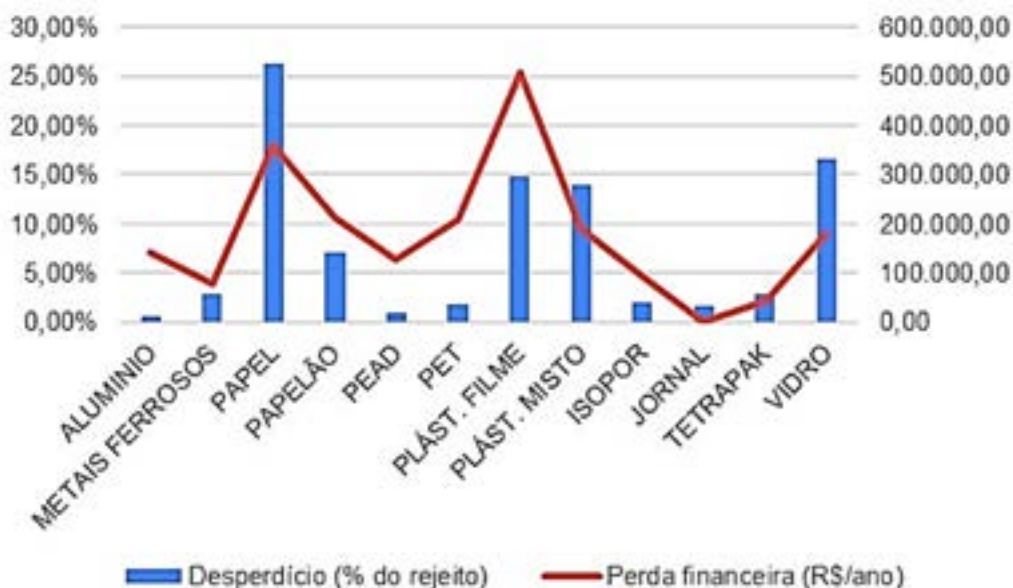
Outro dado importante é em relação aos rejeitos finos, cuja quantidade chega a zero para o PEAD, PET e Tetrapak. Verifica-se que, nos rejeitos, a maior concentração refere-se aos vidros, com 13,29%. Já nos rejeitos grossos, o maior desafio está nos papéis/papelão, que somados compreendem 28,45% da amostra, e plásticos, somados todos os tipos, representam 23,92%.

Análise dos Desperdícios

A partir de dados obtidos pelo sistema de gerenciamento de balanços da URBAM, calculou-se a quantidade total de rejeitos acumulados pós-triagem no CT em 2018, equivalente a 6.817,22 toneladas. A esse valor foi multiplicada a concentração média de cada material na composição dos rejeitos, estimando-se a quantidade aproximada, em kg, de cada material desperdiçado durante um ano. Por fim, para descobrir o valor que as cooperativas deixaram de arrecadar com a venda desses materiais, foi multiplicada a quantidade de material desperdiçado no ano pelo valor de venda em 2018 fornecido pela coordenação do CT. Os resultados são apresentados na Figura 2.

A partir da análise da Figura 2, chega-se ao resultado de perda total de aproximadamente R\$ 2.139.311,81 durante o ano de 2018. O valor mais significativo corresponde ao plástico filme (sacolas), seguido do papel, papelão, PET, plástico misto, vidro, alumínio, PEAD, isopor, metais ferrosos e, por fim, Tetrapak. Os alumínio são enviados para as cooperativas e o isopor não possuía comprador. Por isso, os valores foram retirados do Anuário da Reciclagem de 2019, com valores referentes ao ano de 2018. Já o jornal é doado, motivo pelo qual não aparece no cálculo. Nota-se que o plástico filme apresenta a maior perda financeira, apesar de não ser o material mais desperdiçado. No caso do papel, além de ser o segundo material com a maior perda financeira, também apresenta o maior desperdício de material. Além disso, destacam-se o vidro e o plástico misto, pois possuem um alto valor percentual de material desperdiçado que, juntos, correspondem a 17,25% da perda financeira total.

Figura 2 – Comparação entre perda financeira e desperdício nos rejeitos



Fonte: Autores, a partir dados da URBAM

A coordenação do CT controla os contêineres entregues por cada coletor diariamente, por material. Com base nesses dados foram analisadas duas situações: o desempenho dos quatro catadores que atingiram a meta de entrega de 460 contêineres no mês de julho de 2019, e a atividade dos quatro cooperados com a menor entrega de materiais no mesmo período. Verifica-se que em ambos os casos a sacola plástica é o material mais segregado e ainda assim é o terceiro material mais desperdiçado. É notável também a discrepância do desempenho na segregação de materiais como papelão, PET, plástico misto, PEAD branco e colorido, Tetrapak e papel. Destaca-se que os únicos materiais mais segregados por aqueles com pior desempenho são vidro, garrafa de óleo, metais ferrosos, alumínio e isopor, apesar da pouca diferença.

Outro dado primário analisado é o tempo ocioso das posições em que os catadores são dispostos, ou seja, o tempo em que a esteira permanece em movimento, mas o catador em dada posição não realiza a segregação do material. Foram consideradas como tempo ocioso as seguintes situações:

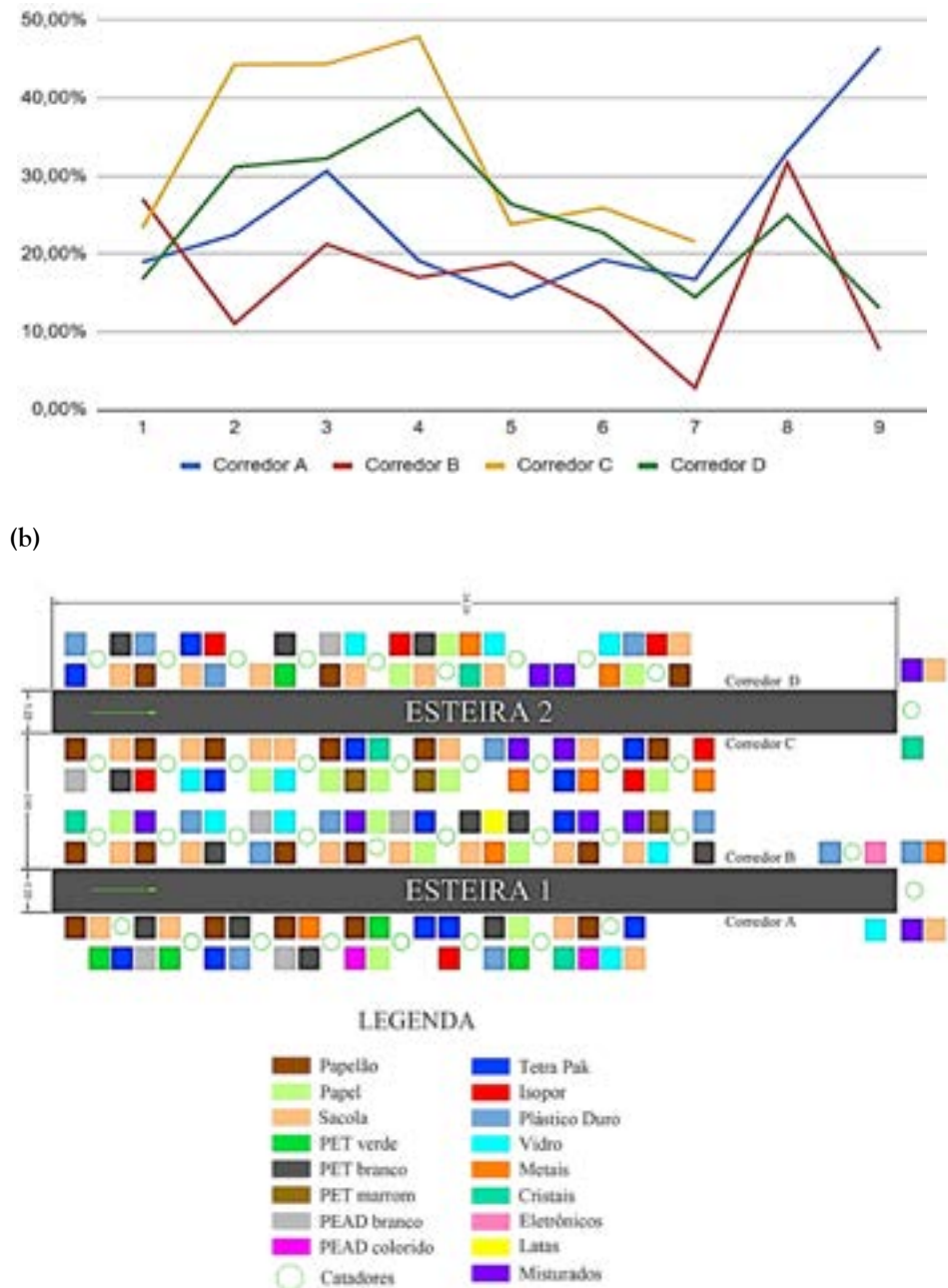
- O CT realiza o controle de contêineres entregues por pessoas por meio de fichas. Ao encher o contêiner, um responsável por movimentá-lo até as prensas recebe a ficha e entrega para o indivíduo responsável em registrar em uma planilha a informação. Porém, nota-se uma falta de confiança dos catadores, já que grande parte dos colaboradores desperdiça parte do tempo fazendo o controle de entrega de material em cadernos pessoais para verificar posteriormente com o CT, enquanto a esteira continua em movimento;
- Distração com objetos, principalmente livros, revistas, carteiras, bolsas e roupas. Ao se deparar com esses objetos, os catadores tendem a deixar de focar no material que deve ser segregado para separar itens que podem ser úteis a eles;
- Apesar das pausas em horários estabelecidos para o café e o almoço, grande parte dos catadores demora para retornar às esteiras, que voltam a funcionar dentro do horário determinado;
- Verificou-se que, quando a caçamba de rejeitos das esteiras enche, ocorre a paralisação das esteiras para que seja possível efetuar a troca por uma nova caçamba vazia. Nesse momento, apesar de a esteira estar parada e com resíduos a serem segregados, a grande maioria dos catadores deixa suas posições, principalmente para fumar, e acaba demorando muito tempo para retornar.

Foi cronometrado por três vezes o tempo ocioso de cada posição durante um período de 30 minutos. Este valor foi convertido para termos de porcentagem em relação à jornada de trabalho total de 8 horas, gerando o gráfico da Figura 3a. O eixo x corresponde à posição de cada catador na esteira, seguindo a direção do fluxo de material, conforme a Figura 3b, que apresenta o layout das esteiras principais durante a coleta de dados. Os Corredores A e B correspondem à Esteira 1, enquanto os Corredores C e D pertencem à Esteira 2. Os catadores na Posição 1 do Corredor A ficam localizados de frente para a

mesma posição do Corredor B, e assim por diante. O mesmo ocorre na Esteira 2.

Ao analisar a Figura 3, identifica-se que, de maneira geral, a Esteira 2 apresenta maior tempo ocioso, sendo as posições do início ao centro as mais preocupantes. Destaca-se que essa esteira carrega os materiais que deixaram de ser coletados pela empresa privada. De acordo com os coordenadores do CT, a empresa acaba coletando materiais de melhor qualidade antes de passar pelos catadores das cooperativas. Já na Esteira 1, verifica-se que as posições extremas são as piores. É compreensível que, em ambos os casos, as primeiras posições sejam as mais problemáticas, pois neste ponto ainda há um maior volume e maior mistura dos resíduos.

Figura 3 – (a) Tempo ocioso por posição nos corredores; (b) layout das esteiras



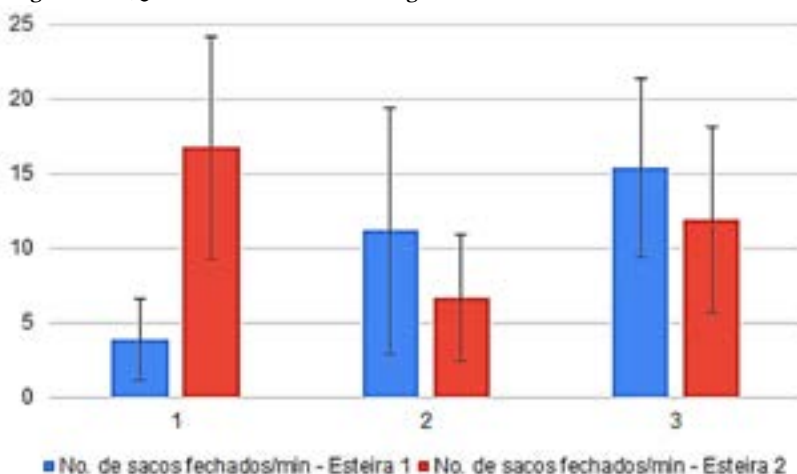
Fonte: Autores

Outro dado primário coletado foi a contagem de materiais (itens) recolhidos por minuto por posição na esteira. Nota-se que as posições ao final das esteiras possuem diferenças estatisticamente significativas em relação a um maior número de posições. Esse fato poderia ser justificado se fosse verificada a ausência de materiais a serem segregados ao final das esteiras por já terem sido recolhidos pelas posições anteriores, mas não é o que se observou durante a pesquisa. Outro fator que pode explicar essa variação é que o último coletor de cada esteira fica responsável por desafogar a esteira inclinada que encaminha os rejeitos até a caçamba, além de pausar a movimentação dos resíduos nas esteiras quando há muitos materiais acumulados ou durante a troca das caçambas.

De forma similar ao tempo ocioso das posições, foi realizada uma análise para as esteiras por quatro dias, desta vez considerando o tempo de troca de caçamba e possíveis quebras na correia. Também foi cronometrado o tempo de enchimento das caçambas, chegando a uma média de 62 minutos por caçamba. Já para o tempo de troca de caçambas, a média é de 10 minutos. Também foi verificado que a troca pode ocorrer de seis a sete vezes ao dia, totalizando uma média de 60 a 70 minutos de esteira paralisada somente para a troca das caçambas. Ressalta-se que, ao melhorar a eficiência de segregação dos materiais, a quantidade de rejeitos deverá ser reduzida, bem como as trocas de caçamba.

Durante a coleta de dados primários, chamou atenção a quantidade de sacolas que chegam ainda fechadas ao final das esteiras e acabam indo para o aterro sanitário sem a oportunidade de segregação do material interno. Por isso, foi realizada a contagem dessas sacolas durante períodos de 1 minuto em três dias para ambas as esteiras (Figura 4). Comparando a Figura 4 aos dados de entrada de resíduos da coleta seletiva nas esteiras nestes mesmos dias, não foi possível identificar um padrão. Assim, não é possível estabelecer uma correlação entre a quantidade de material de entrada e o número de sacos fechados. Destacam-se os altos desvios padrões em todas as medições realizadas, indicando uma alta variância na eficiência em abrir sacos ao longo da linha de triagem.

Figura 4 – Quantidade de sacos chegando fechados ao final das esteiras



Fonte: Autores

Por fim, os processos que contemplam o fluxo de materiais no CT, assim como os tempos avaliados, foram compilados na Figura 5, que apresenta o VSM do estado atual do CT. Observa-se que o tempo total sem valor agregado é significativamente maior que o tempo que adiciona valor, sendo o grande responsável por isso o tempo de enchimento da caçamba de rejeitos. Isto também representa dois desperdícios discutidos por Ohno (1997): (1) tempo de espera de materiais e; (2) transporte de materiais ou produtos que não agregam valor.

Além disso, foi calculado o *Uptime*, isto é, a disponibilidade de tempo de um equipamento, medida em percentual, para compreender se existem problemas de manutenção severos que prejudicam o fluxo. O resultado mais significativo foi encontrado nas esteiras principais, 84,27%. Isso significa que o tempo ocioso das esteiras representa 15,73% da jornada de trabalho diária. À separação manual também foram adicionados os valores médios, e respectivos desvios-padrões, de tempo ocioso e objetos coletados por minuto.

Proposta de Soluções

Verificou-se que os materiais que apresentam o maior potencial de recuperação em termos financeiros também são os maiores desafios durante a triagem: papéis/papelões, vidros e plásticos, principalmente as sacolas, PET e plásticos mistos. Visto que o maior gargalo para triagem de vidros está nos rejeitos finos, sugere-se a instalação de um separador pneumático na saída das partículas menores de resíduos do *trommel*. Desta forma, seria possível classificar os vidros e encaminhá-los diretamente para o estoque.

As partículas maiores do *trommel*, destinadas para a separação manual, deveriam passar por um processo eficaz de rasgar sacolas, e pela pré-triagem de materiais volumosos (sacolas, papéis e os papelões) no início das esteiras. Outra forma de melhorar a eficiência na abertura das sacolas seria aumentar a frequência da manutenção das lâminas do rasga-sacos do *trommel*. A retirada de volumosos auxiliaria o desempenho das etapas posteriores no fluxo de materiais.

O fluxo de materiais brutos na esteira passaria por uma sequência de classificadores diretos para separar metais. Primeiramente, os metais ferrosos seriam segregados pelo separador magnético, já existente no CT, sendo necessária somente a mudança de posição, o reparo e manutenção. Em seguida, seria feita a classificação de metais não-ferrosos por separador de Corrente de Eddy.

Os demais materiais no fluxo passariam pela separação manual. Recomenda-se diminuir a quantidade de tipos de materiais a serem segregados por cada operador, buscando uma maior eficiência na triagem. Nessa etapa seriam segregados os mesmos materiais indicados na Figura 3.b, com maior alocação de operadores para os papéis, papelão e plásticos.

Para maior qualidade, é importante a separação por tipos de papéis. A maior eficiência é obtida por sensores espectrais, que podem ser programados para reconhecer aspectos como rigidez, lignina, brilho e cor (GUNDUPALLI et al., 2016).

18 de 23

A separação indireta por sensores de NIR pode ser utilizada para a classificação dos plásticos misturados, um dos maiores gargalos do estudo. Pode ser obtida uma segregação mais precisa separando os plásticos pertencentes a uma família específica de polímeros, como PEBD e PEAD (GUNDUPALLI et al., 2016). Alternativamente, os plásticos podem ser triados de forma manual em um loop ou outra linha. Se for de interesse automatizar mais a segregação, poderiam ser aplicados sensores ópticos para a classificação de materiais pela cor. Esse método é interessante para aqueles que possuem maior valor agregado quando classificados dessa forma, como PEAD e PET.

Antes da coleta dos rejeitos grossos ao final da esteira, pode-se ainda buscar a triagem de cacos de vidros (predominantemente) por separador pneumático. Este último pode separar vidros e metais remanescentes (fração pesada) de papeis e plásticos (fração leve), sendo esta última fração aquela com maior valor calorífico e potencial de conversão em Combustível Derivado de Resíduos (CDR).

Com o objetivo de aumentar a eficiência na separação manual, é também relevante promover a motivação dos catadores. Sugere-se avaliações para identificar possíveis fatores de fadiga, como a temperatura e ventilação, e treinamentos complementares de acordo com a necessidade, em temas como: planejamento familiar, educação ambiental, financeira e sexual. A literatura também recomenda, para motivação, exibir um quadro com os principais resultados atingidos, para acompanhamento do desempenho por todos os funcionários (JENSEN, 2015).

Considerações Finais

O CT de São José dos Campos recebe cerca de 70 toneladas/dia de resíduos da coleta seletiva, sendo considerados 72,5% passíveis de reciclagem, dos quais mais de 40% têm sido destinados como rejeitos. O desperdício de materiais representa perda financeira estimada em mais de R\$ 2 milhões em 2018. Há um grande desperdício de tempo, expresso principalmente pelo período necessário para troca das caçambas de rejeitos (aproximadamente 1 hora). Uma causa relevante dos desperdícios é o número de sacos contendo resíduos que permanecem fechados ao longo do processo, sendo descartados como rejeitos.

Sugere-se a utilização de tecnologias para promover o aumento da eficiência de segregação, como os separadores pneumáticos e magnéticos, corrente de Eddy e sensores espectrais. Esta proposta é complementar ao objetivo da PNRS de inclusão de cooperativas de reciclagem na atividade de segregação. Neste formato, ao triar uma menor variedade de materiais, a classificação manual pode maximizar a pureza dos produtos e agregação de valor.

Observou-se que muitas mudanças ocorrem em um curto período, como a rotatividade de colaboradores nas cooperativas e posições nas esteiras, o que dificulta a obtenção de dados mais sólidos para análise.

Por falta de qualificação profissional e recursos financeiros, alta heterogeneidade e questões culturais inerentes aos próprios catadores, as cooperativas possuem dificuldades em direcionar suas ações para melhorar a sua atividade operacional. Para isso sugere-se a

padronização nos processos e implantar um sistema de gestão, independente da instalação de novos equipamentos. Isto favorece a avaliação de indicadores e identificação de gargalos, bem como a realização de caracterizações gravimétricas com maior frequência e detalhamento de tipos de materiais.

Também recomenda-se definir posições específicas para segregar determinado material, observando a necessidade de abertura de sacos ainda fechados e a retirada de resíduos mais volumosos, como as sacolas, papelões e PET, no início das esteiras. É interessante a realização de treinamentos voltados para a identificação dos tipos de materiais.

Agradecimentos

Os autores agradecem à URBAM e às cooperativas Coopertech, Cooperalfa e Futura.

Referências

ABRELPE (2022). **Panorama dos Resíduos Sólidos No Brasil**. Brasil: ABRELPE, 2022. Disponível em: <https://abrelpe.org.br>. Acesso em: 22/12/2022.

BONELLO, D.; SALIBA, M. A.; CAMILLERI, K. P. An Exploratory Study on the Automated Sorting of Commingled Recyclable Domestic Waste. **Procedia Manufacturing**, v. 11, p. 686–694, 2017.

BRASIL (2010). Lei No. 12.305/2010 – Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

CEMPRE - COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Ciclossoft** - 2022. Disponível em: <http://cempre.org.br/ciclossoft>. Acesso em: 22/12/2022.

CIMPAN, C. et al. Central sorting and recovery of MSW recyclable materials: A review of technological state-of-the-art, cases, practice and implications for materials recycling. **Journal of Environmental Management**, v. 156, p. 181-199, 2015.

CIMPAN, C. et al. Techno-economic assessment of central sorting at material recovery facilities - the case of lightweight packaging waste. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 4387-439, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.011>

GAUSTAD, G.; OLIVETTI, E.; KIRCHAIN, R. Improving aluminum recycling: A survey of sorting and impurity removal technologies. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 58, p. 79–87, 2012.

GODECKE, M. V.; NAIME, R. H.; FIGUEIREDO, J. A. S. O Consumismo e a Geração de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 8, n. 8, 2013.

GUNDUPALLI, S. P.; HAIT, S.; THAKUR, A. A review on automated sorting of source-separa-

ted municipal solid waste for recycling. **Waste Management**, v. 60, p. 56–74, 2017.

HINES, P.; RICH, N.; BICHENO, J., et al. Value Stream Management. The **International Journal of Logistics Management**, v. 9, n. 1, p. 25–42, 1998.

IP, K. et al. Performance evaluation of material separation in a material recovery facility using a network flow model. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 131, p. 192–205, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.11.021>

JENSEN, M. **Lean waste stream: reducing material use and garbage using lean principles**. Boca Raton: Crc Press/Taylor & Francis Group, 2015.

KIRK, A. R. M.; MOKADDAM, Z. B. A fair CoP? MRF sampling, testing and reporting: Big problems caused by small particles. Part 2: Operational realities and financial implications. **Waste Management & Research**, v. 39, n. 1, p. 140–145, 2021. <https://doi.org/10.1177/0734242X20941098>

OHNO, T. **O sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997.

PERGHER, I.; RODRIGUES, L. H.; LACERD, D. P. Discussão teórica sobre o conceito de perdas do Sistema Toyota de Produção: inserindo a lógica do ganho da Teoria das Restrições. **Gestão & Produção**, v. 18, n. 4, p. 673–686, 2011.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. **Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de São José dos Campos**. São José dos Campos: PMSJC, 2015.

RIBEIRO, L. C. S. et al. Aspectos econômicos e ambientais da reciclagem: um estudo exploratório nas cooperativas de catadores de material reciclável do Estado do Rio de Janeiro. **Nova economia**, v. 24, n. 1, 2014. <https://doi.org/10.1590/103-6351/1390>

SILVA, C. D. O.; KONRAD, O.; CALLADO, N. H.; et al. Resíduos sólidos urbanos de Maceió/AL: análise da composição gravimétrica sob influências sazonais. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 3, p. 426–439, 2020.

SOUZA, M. T. S.; PAULA, M. B.; SOUZA-PINTO, H. O papel das cooperativas de reciclagem nos canais reversos pós-consumo. **Revista de Administração de Empresas**, v. 52, n. 2, p. 246–262, 2012.

SOUZA, M. A.; LIMA, F. P. A.; VARELLA, C. V. S. A conformação social do lixo e das tecnologias de triagem: o caso da transferência de Centrais Mecanizadas de Triagem em São Paulo. urbe. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 13, 2021. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.012.e20200073>

SUNDIN, E.; BJÖRKMAN, M.; EKLUND, M., et al. Improving the layout of recycling centres by use of lean production principles. **Waste Management**, v. 31, n. 6, p. 1121–1132, 2011.

SVOBODA, J. **Magnetic Techniques for the Treatment of Materials**. London: Springer Scien-

ce & Business Media, 2004.

TANGUAY-RIOUX, F. et al. Mixed modeling approach for mechanical sorting processes based on physical properties of municipal solid waste. **Waste Management**, v. 144, p. 533–542, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.04.025>

TCHOBANOGLIOUS, G.; KREITH, F. **Handbook of solid waste management**. New York: McGraw-Hill, 2002.

TORTORELLA, G. et al. Productivity improvement in solid waste recycling centres through lean implementation aided by multi-criteria decision analysis. **Benchmarking: An International Journal**, v. 25, n. 5, 2018. DOI 10.1108/BIJ-01-2017-0013

URBAM (2023). Áreas de atuação: Gestão Integrada e Gerenciamento de Resíduos Sólidos. Disponível em: https://www.urbam.com.br/atuacao_residuos_solidos. Acesso em: 12/04/2023

WRAP. **MRFs Comparison of efficiency and quality Materials Recovery Facilities**. The Old Academy, 21 Horse Fair, Banbury, Oxon OX16 0AH: WRAP, 2006.

ZAGO, V. C. P.; BARROS, R. T. V. Gestão dos resíduos sólidos orgânicos urbanos no Brasil: do ordenamento jurídico à realidade. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 2, p. 219–228, 2019.

Bianca Ruiz Ferro

✉ bianca.rferro@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1304-3308>

Submetido em: 04/09/2023

Aceito em: 16/04/2024

2024;27:e00064

Ricardo Gabbay de Souza

✉ ricardo.souza@unesp.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6665-9228>

Cuellos de Botella de Rendimiento en el Centro de Clasificación de la Recolección Selectiva de Residuos

Bianca Ruiz Ferro
Ricardo Gabbay de Souza

Resumen: La eficiencia en la recuperación de materiales en los centros de triaje (CT) de la recolección selectiva depende de factores como la diversidad y cantidad de residuos, los procesos y tecnologías adoptadas y las condiciones de trabajo. Este trabajo tiene como objetivo analizar los cuellos de botella de rendimiento de los procesos operativos del CT de la recolección selectiva en São José dos Campos (SP). La metodología involucró la recolección de datos primarios y el análisis de resultados, adoptando principios del Lean Manufacturing para identificar desperdicios del proceso. El CT recibe aproximadamente 70 toneladas/día de residuos de la recolección selectiva, de los cuales el 72,5% son reciclables, pero más del 40% han sido destinados como rechazos. El desperdicio de materiales representó una pérdida financiera de más de R\$ 2 millones en 2018. Existe un gran desperdicio de tiempo, principalmente para el cambio de contenedores de rechazo (aproximadamente 1 hora).

São Paulo. Vol. 27, 2024

Artículo original

Palabras-clave: Residuos Sólidos Urbanos; recolección selectiva; centro de triaje; Lean manufacturing.

Performance Bottlenecks in a Materials Recovery Facility for Selective Waste Collection

Bianca Ruiz Ferro
Ricardo Gabbay de Souza

Abstract: The efficiency in material recovery at selective collection sorting centers (SC) depends on factors such as the diversity and quantity of waste, adopted processes and technologies, and working conditions. This study aims to analyze the performance bottlenecks of the operational processes at the SC of selective collection in São José dos Campos (SP). The methodology involved the collection of primary data and analysis of results, adopting Lean Manufacturing principles to identify process wastes. The SC receives approximately 70 tons/day of waste from selective collection, of which 72.5% are recyclable, but over 40% have been designated as rejects. The waste of materials represented a financial loss of over R\$ 2 million in 2018. There is a significant waste of time, especially for the exchange of reject containers (approximately 1 hour). Another waste is the number of bags that remain closed throughout the process and are discarded as rejects.

Keywords: Municipal Solid Waste; selective collection; sorting centre; Lean manufacturing.

São Paulo. Vol. 27, 2024

Original Article