

## LOGÍSTICA REVERSA DE RESÍDUOS DE EMBALAGENS DE VIDRO: ALTERNATIVAS DE COLETA E SUAS IMPLICAÇÕES

Ana Carolina Gonçalves Caetano (\*), Mônica Maria Mendes Luna

\* Universidade Federal de Santa Catarina, carol-caetano7@hotmail.com

### RESUMO

Os municípios brasileiros, por meio de seus planos de gestão de resíduos e visando atender a legislação, estão despendendo esforços para desviar os resíduos recicláveis dos aterros sanitários e recuperá-los. Apesar disso, os resultados dessa transição têm sido insatisfatórios, razão pela qual, mudanças e melhorias nos sistemas de coleta se fazem necessárias, uma vez que, essa operação é responsável, em grande parte, pela qualidade e pelos custos com a logística reversa dos recicláveis. Como as embalagens de vidro configuram um dos resíduos mais problemáticos para se coletar, triar e comercializar, seja pelo fato de ser um resíduo perfurocortante que pode causar acidentes, ou pelos elevados custos logísticos de seu retorno à cadeia produtiva, estas são abordadas neste estudo, que apresenta, além das alternativas de coleta das embalagens de vidro, os impactos dessas alternativas nas operações de coleta e triagem, e na recuperação do vidro. Para isso foi feita uma revisão da literatura com análise de conteúdo, sendo possível identificar que, um dos sistemas de coleta mais favorável a esse material envolve a sua coleta em fração única, ou seja, separado dos demais recicláveis.

**PALAVRAS-CHAVE:** Embalagens de vidro, coleta, triagem, logística reversa, revisão da literatura.

### ABSTRACT

The municipalities in Brazil, through their waste management plans and in order to satisfy legislation specific, are expending efforts to divert recyclable waste from landfills and recover it. Despite this, the results of this transition have been unsatisfactory, so changes and improvements in collection systems are necessary because this activity is largely responsible for the quality and the cost of the reverse logistics of recyclables. As glass packaging are one of the most problematic waste to collect, sort and commercialize, either because it is a cutting waste that can cause accidents, or because of the high logistical costs of its return to the productive chain, these are addressed in this study, which presents, in addition to the options for collecting glass packaging, the impacts of these alternatives in the collection and sorting activities, and in the glass recovery. For this, a literature review with content analysis was done, and it was possible to identify that one of the collection systems more favorable to this material involves its collection in a single fraction, that is, separated from the other recyclables.

**KEY WORDS:** Glass packaging, collection, sorting, reverse logistics, literature review.

### INTRODUÇÃO

A recuperação dos materiais recicláveis presentes nos resíduos sólidos urbanos (RSU) é uma questão que está pauta em diversas regiões do mundo e no Brasil não é diferente. Leis foram aprovadas visando fomentar a reciclagem das embalagens em geral, e os municípios, por meio dos seus planos de gestão de resíduos e de acordo com essas leis, buscam desviar esses materiais dos aterros e recuperá-los. Apesar disso, estima-se que apenas 7% dos resíduos passíveis de reciclagem tenham sido recuperados nos programas oficiais de coleta seletiva no país em 2016, e que os 93% restantes tenham sido dispostos em aterros ou lixões (BRASIL, 2018). Em vista disso, parece evidente que mudanças e melhorias precisam ser realizadas nos programas de reciclagem adotados no Brasil, com destaque para a coleta, responsável em grande parte pela qualidade dos materiais e pelos custos com a logística reversa (JAHRE, 1995; XAVIER; CORRÊA, 2013).

As características dos resíduos recicláveis também devem ser consideradas na definição de sistemas de coleta, sendo válida, inclusive, a análise particular de cada um deles (BING et al., 2016). Dentre os resíduos recicláveis, um dos que possui maior potencial de retorno à cadeia produtiva, mas ao mesmo tempo, é um dos mais problemáticos para se coletar, triar e comercializar, é o vidro. Trabalhos científicos abordando aspectos relacionados especificamente ao sistema de reciclagem do vidro são identificados na literatura, porém, muitos se limitam a apresentar casos de regiões específicas (González-Torre e Adenso-Díaz, 2002; Testa et al., 2017), ou aspectos mais gerais relacionados à reciclagem do vidro (Bogh et al., 2014; Pressley et al., 2015). Não foram identificados, por sua vez, estudos abordando as alternativas de coleta dos resíduos de embalagens de vidro, e os impactos dessas alternativas nas operações de coleta e triagem, bem como na recuperação do vidro.

Visando contribuir com o desenvolvimento desse tema, uma revisão da literatura com análise direta do conteúdo qualitativo é realizada e apresentada neste trabalho. Além desta introdução, a estrutura deste artigo inclui: (i) os objetivos do trabalho, (ii) os procedimentos metodológicos adotados para selecionar os documentos; (iii) os resultados, organizados em tópicos, que trazem conceitos e informações acerca dos sistemas de coleta e triagem, de forma geral e especificamente para o vidro; (iv) a análise e discussão dos resultados e; (v) as conclusões.

## OBJETIVOS

O propósito deste trabalho é apresentar os principais sistemas de coleta utilizados para retornar os resíduos de embalagens de vidro pós-consumo à cadeia produtiva, bem como avaliar os impactos desses sistemas – e da presença do vidro nesses –, nos programas de reciclagem municipais e na recuperação desse material.

## METODOLOGIA

Como as informações para o desenvolvimento deste trabalho estão dispersas em vários documentos, o método de pesquisa mais adequado, neste caso, é a revisão da literatura, pois esta permite a síntese de trabalhos publicados a partir da identificação de padrões, assuntos e aspectos abordados (SEURING et al., 2005). Para tanto, as seguintes etapas foram empregadas: (i) coleta e seleção de documentos; (ii) definição de tópicos para a análise de conteúdo e; (iii) análise do conteúdo dos documentos.

Na primeira etapa, foram seguidos os seguintes passos para selecionar os artigos científicos relacionados à coleta e/ou triagem dos resíduos de embalagens em geral, ou do vidro, especificamente: (i) definição das bases de dados a serem utilizadas; (ii) definição das palavras-chave e operadores lógicos a serem aplicados na busca; (iii) aplicação de filtros e eliminação de documentos duplicados; (iv) leitura dos títulos/resumos e; (v) leitura dos textos.

Três bases de dados foram utilizadas na busca, a saber: *Scopus*, *Web of Science* e *Science Direct*. As duas primeiras foram consideradas pela sua relevância (WEE; BANISTER, 2016), e a última, devido à grande quantidade de material disponível relacionado à gestão de resíduos. O comando de busca aplicado nessas bases envolvia a seguinte combinação de palavras-chave, as quais poderiam estar presentes nos títulos, resumos e palavras-chave dos trabalhos: ("packaging" OR "glass" OR "solid waste") AND ("reverse logistics" OR "waste recovery" OR "resource recovery" OR "circular economy") AND ("collect\*" OR "sorting" OR "material recovery facility") AND ("recycl\*") NOT ("waste electrical and electronic equipment" OR "electronic equipment" OR "electronic waste" OR "e-waste" OR "copper" OR "hazardous waste" OR "lead" OR "automobiles"). A restrição de alguns termos foi feita pelo elevado número de trabalhos que abordam esses temas, como é o caso dos resíduos eletroeletrônicos. Além disso, apenas artigos científicos e revisões em inglês e português a partir do ano de 2010 foram considerados, e após a exclusão dos artigos duplicados, 152 artigos constaram no portfólio inicial.

Para selecionar os trabalhos alinhados ao objetivo deste estudo, foi feita a leitura dos títulos, e quando necessário, dos resumos. Embora, inicialmente, se tenha obtido uma grande quantidade de artigos, apenas 33 foram selecionados ao final, os quais foram lidos na íntegra, mas não são necessariamente referenciados. Isso porque, além da literatura científica, foram feitas buscas por relatórios oficiais de órgãos públicos e relatórios setoriais, os quais, em alguns casos, apresentavam uma síntese das informações apresentadas nos artigos e, portanto, foram preferencialmente referenciados. Artigos de conhecimento prévio dos autores também foram utilizados, bem como alguns trabalhos citados em artigos do portfólio final.

Para organizar as informações obtidas nos documentos foram estabelecidos alguns tópicos, a saber: (i) sistemas de coleta voltados para reciclagem; (ii) modelos de MRFs (centrais de triagem); (iii) sistemas de coleta e triagem adotados no Brasil e em outros países para os resíduos de embalagens de vidro; e (iv) implicações dos sistemas de coleta e triagem.

No primeiro tópico foi feita a identificação dos principais sistemas de coleta usados para recuperar os resíduos recicláveis presentes nos RSU, e os respectivos termos empregados para classificar esses sistemas. No segundo tópico foram identificadas as principais configurações existentes de centrais de triagem, e no terceiro foram apresentados os sistemas de coleta e triagem adotados, especificamente para o vidro, na União Europeia (UE), Estados Unidos e Brasil. Foram consideradas as informações da UE devido ao alto índice de reciclagem de embalagens de vidro, e os Estados Unidos pelo motivo oposto. Além disso, maior destaque é dado à coleta, pelo fato dessa operação, em geral, influenciar no tipo de central de triagem a ser implantado. Por fim, no último tópico são apresentados os impactos dos sistemas de coleta e da presença do vidro nesses, nos programas de reciclagem municipais e na recuperação desse material.

## RESULTADOS

### SISTEMAS DE COLETA VOLTADOS PARA RECICLAGEM

Na implantação de um sistema de coleta voltado para reciclagem, seja de embalagens de vidro ou de recicláveis em geral, dois elementos fundamentais devem ser definidos, o ponto de coleta e método de separação.

O ponto de coleta corresponde ao local onde o gerador descarta seus resíduos, podendo ser categorizado segundo duas variáveis: a distância média percorrida pelo gerador entre o ponto de consumo e o ponto de coleta, e o número de domicílios/estabelecimentos abrangidos por cada ponto. Por meio dessas duas variáveis é possível determinar se a coleta é *kerbside* (distância próxima a zero e poucas famílias por ponto) ou *bring* (longa distância e muitas famílias por ponto) (JAHRE, 1995).

Na coleta *kerbside*, denominada no Brasil como coleta porta a porta, os resíduos recicláveis, armazenados em sacos plásticos ou contentores, são descartados e coletados na própria calçada do gerador, em dias e horários específicos (CEMPRE, 2014; EUROPEAN COMMISSION, 2015). Nos sistemas de coleta *bring*, por sua vez, a população se desloca com os materiais recicláveis do ponto de consumo aos pontos de coleta, em geral pontos fixos, onde descarta os materiais em recipientes específicos (CEMPRE, 2014; LOUGHLIN; BARLAZ, 2006). Não há na literatura distinção clara em relação à configuração dos pontos de coleta no sistema *bring*, entretanto, é possível identificar dois grupos principais: (i) pontos de coleta descentralizados; e (ii) pontos de coleta centralizados.

Os pontos de coleta descentralizados são comumente denominados de PEVs (Pontos de Entrega Voluntária), e são caracterizados pela disposição de contêineres em espaços públicos e estabelecimentos comerciais, nos quais é possível descartar principalmente os resíduos recicláveis (CEMPRE, 2014; MMA, 2015). Os pontos de coleta centralizados, por sua vez, correspondem aos centros de coleta, ou *drop-off centres* (centros de entrega), locais normalmente cercados e projetados para permitir a circulação de automóveis e caminhões em seu interior (CEMPRE, 2014; FEO; POLITO, 2015). Nesses pontos é possível descartar os resíduos recicláveis e pequenas quantidades de outros resíduos, tais como os de construção, resíduos volumosos, de equipamentos eletroeletrônicos, entre outros (CAMPOS, 2014; EUROPEAN COMMISSION, 2015). Na Figura 1 estão ilustrados os três tipos de pontos de coleta.



Figura 1: Pontos de coleta para sistemas de coleta. Fonte: Elaboração própria.

No que se refere aos métodos de separação usados para coletar os resíduos recicláveis, estes podem ser categorizados em função do número de frações separadas no momento do descarte ou pelas frações de materiais descartados em um único recipiente. Para o primeiro caso, os métodos de separação podem ser classificados em: (i) *mixed waste*; (ii) *single-stream*; (iii) *dual-stream*; (iv) *mono-material stream*; e (v) *pre-sorted*.

Na coleta *mixed waste*, denominada no Brasil de coleta convencional, os resíduos recicláveis são descartados juntamente com os demais RSU, incluindo orgânicos e rejeitos. A separação desses é feita posteriormente, em usinas de triagem, não havendo, portanto, uma separação na fonte (IPEA, 2012). Os demais métodos de separação configuram coletas do tipo seletiva, nas quais os resíduos são previamente segregados na fonte geradora, conforme sua constituição e composição (BRASIL, 2010), visando facilitar posterior tratamento específico (EUROPEAN UNION, 2008). Nesses casos, ao menos a separação dos materiais recicláveis dos resíduos orgânicos e rejeitos deve ser feita (MMA, 2015).

Na coleta seletiva do tipo *single-stream*, todos os materiais recicláveis são descartados no mesmo recipiente (CRI, 2009; PRESSLEY et al., 2015), enquanto na *dual-stream* é comum a separação em duas categorias, papel e papelão, denominados “*fibres*”, e plástico, metal e vidro, denominados “*containers*”. O termo *mono-material stream* é utilizado quando se destina um recipiente para o descarte de um resíduo específico, sendo mais comum para o papel e o vidro (CIMPAN et al., 2015), embora possa ser adotado para qualquer tipo de resíduo. Neste caso, quando a segregação dos resíduos recicláveis é feita em diversas

categorias na fonte geradora (ou seja, vários fluxos de monomaterial), tem-se a coleta do tipo *pre-sorted*, comumente designada no Brasil de coleta multi-seletiva (CEMPRE, 2014; PRESSLEY et al., 2015).

Para circunstâncias em que se pretende abordar o sistema de coleta adotado para um resíduo em específico, pressupõe-se que a classificação de acordo com as frações descartadas em um único recipiente seja mais adequada. Nesse caso, os métodos de separação podem ser classificados de acordo os termos empregados – e adaptados neste trabalho – no relatório da European Commission (2015), a saber: (i) *single fraction*; (ii) *two fractions commingled*; (iii) *three-fractions commingled*; e (iv) *all in one bin*.

Na coleta em fração única (*single fraction*) apenas uma fração dos resíduos recicláveis é descartada em um único recipiente, enquanto na comisturada (*commingled*), duas ou mais frações são dispostas no mesmo recipiente. Na coleta comisturada com duas frações (*two fractions commingled*) é comum o descarte simultâneo das embalagens de plástico e metal, e na comisturada com três frações (*three-fractions commingled*), além das duas anteriores, é comum o descarte simultâneo das embalagens de vidro. Por fim, na coleta *all in one bin*, tem-se o descarte comisturado de todos os resíduos recicláveis em um único recipiente (geralmente, plástico, papel, vidro e metal). A descrição dos principais métodos de separação utilizados para descartar e coletar os resíduos de vidro, bem como as respectivas classificações utilizadas para se referir a esses sistemas de coleta, são apresentadas no Quadro 1.

**Quadro 1: Principais métodos de separação utilizados para descartar e coletar as embalagens de vidro.**

Fonte: Elaboração própria com base em dados da literatura.

| Matérias dispostas em um recipiente                          | Representação                                                                       | Classificação da coleta                                    | Descrição                                                                                                                                  |
|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vidro                                                        |   | <i>Single fraction</i><br>(Fração única)                   | Termo utilizado quando um material é coletado separado dos demais                                                                          |
|                                                              |                                                                                     | <i>Mono-material stream</i><br>(Fluxo monomaterial)        |                                                                                                                                            |
|                                                              |                                                                                     | <i>Pre-sorted</i><br>(Pré-seleção)                         | Termo utilizado quando ocorre a separação de todos materiais na fonte geradora (vidro, plástico, metal, papel)                             |
|                                                              |                                                                                     | Coleta multi-seletiva                                      |                                                                                                                                            |
| Vidro<br>Plástico<br>Metal                                   |  | <i>Dual-stream</i><br>(Fluxo duplo)                        | Termo utilizado quando ocorre a coleta separada do papel ( <i>fibres</i> ), e comisturada do vidro, plástico e metal ( <i>containers</i> ) |
|                                                              |                                                                                     | <i>Commingled</i> (3 fractions)<br>Comisturada (3 frações) | Termo utilizado quando ocorre a coleta de três materiais comisturados (não necessariamente vidro, plástico e metal)                        |
| Vidro<br>Plástico<br>Metal<br>Papel                          |  | <i>Single-stream</i><br>(Fluxo único)                      | Termo utilizado quando vidro, plástico, metal e papel são coletados comisturados                                                           |
|                                                              |                                                                                     | <i>All in one bin</i><br>(Todos em uma lixeira)            | Termo utilizado quando todos os materiais contemplados pela coleta seletiva são coletados juntos                                           |
| Vidro<br>Plástico<br>Metal<br>Papel<br>Orgânicos<br>Rejeitos |  | <i>Mixed waste</i><br>(Resíduos mistos)                    | Termo utilizado quando os resíduos recicláveis são descartados juntamente com os demais RSU                                                |
|                                                              |                                                                                     | Coleta convencional                                        |                                                                                                                                            |

Cabe destacar, que o planejamento de um sistema de coleta tem impacto nas opções de configuração das MRFs (*Material Recovery Facilities*), uma vez que, o volume e o método de separação adotado, limitam as características dessas instalações e determinam a eficiência do seu funcionamento.

## MODELOS DE MRFs (centrais de triagem)



As MRFs, comumente denominadas no Brasil de centrais de triagem, são instalações onde, em geral, a triagem e a classificação dos materiais recicláveis são realizadas, além das demais operações voltadas para a comercialização desses materiais, tais como a compactação/trituração e empacotamento (POHLEN; FARRIS, 1992). A triagem consiste na separação dos diferentes tipos de recicláveis, bem como na remoção de resíduos não recicláveis e impurezas, e a classificação na separação dos materiais por categorias (MMA, 2015), que para o caso das embalagens de vidro, por exemplo, corresponde à separação por cor (incolor, âmbar, verde, misto), e/ou por tipo de embalagem (garrafas de bebidas, potes de alimentos, frascos de cosméticos e remédios) (ABIVIDRO, 2015; BARRERA; CRUZ-MEJIA, 2014; PINTO-COELHO, 2009).

Como se tratam de instalações industriais, as MRFs devem ser planejadas e projetadas visando o melhor desempenho possível, sendo relevante destacar, que a triagem e a classificação nessas instalações podem ser executadas de forma exclusivamente manual, ou utilizando-se processos mecânicos, pneumáticos e sensoriais, casos em que um menor grau de manipulação manual é verificado (CAMPOS, 2014; CIMPAN et al., 2015).

Alguns modelos de MRFs – em especial daquelas implantadas no Brasil – são apresentados no Quadro 2, e como se pode notar, há duas categorias de MRFs, “limpas” e “suja”. Nas chamadas MRFs limpas apenas resíduos provenientes da coleta seletiva são processados, e as operações de triagem e classificação podem ser realizadas de forma manual ou automatizada. Em contrapartida, nas MRFs em que há a manipulação de resíduos provenientes da coleta convencional – usualmente denominadas de MRFs mistas ou sujas – o processamento é automatizado. Em algumas MRFs mistas há a combinação de processamento mecânico e tratamento biológico – seja decomposição aeróbica ou anaeróbica –, casos em que as MRFs passam a ser designadas de MBT (*Mechanical-Biological Treatment*) (CIMPAN et al., 2015), ou TMB (Tratamento Mecânico Biológico).

**Quadro 2: Modelos de MRFs implantadas no Brasil e suas características.**

Fonte: Campos (2013, 2014), adaptado.

| Categoria             | Simbologia                                                                          | Origem do resíduo              | Tecnologia                                                        | Porte         | Destino do resíduo     |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------|------------------------|
| MRFs “limpas”         |  | Coleta seletiva                | Processamento manual no solo                                      | Não se aplica | Reciclagem             |
|                       |  | Coleta seletiva                | Processamento manual em bancada estática                          | Pequeno       | Reciclagem             |
|                       |  | Coleta seletiva                | Processamento manual e semimecanizado                             | Médio         | Reciclagem             |
|                       |  | Coleta seletiva                | Processamento manual e mecanizado, de fluxo contínuo, sem retorno | Grande        | Reciclagem             |
| MRFs mistas ou “suja” |  | Coleta convencional e seletiva | Tratamento mecânico biológico, de fluxo contínuo, com retorno     | Grande        | Reciclagem Compostagem |
|                       |  | Coleta convencional e seletiva | Tratamento mecânico biológico, de fluxo contínuo, sem retorno     | Grande        | Reciclagem Compostagem |

Os resíduos de embalagens de vidro podem ser processados tanto em MRFs que operam com resíduos provenientes da coleta seletiva, quanto em MRFs mistas (LARSEN et al., 2009).

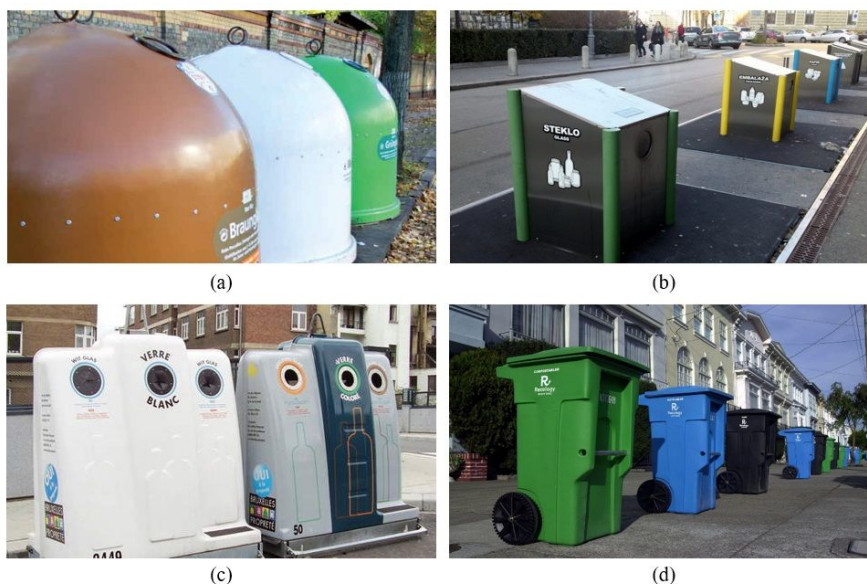
## SISTEMAS DE COLETA E TRIAGEM ADOTADOS NO BRASIL E EM OUTROS PAÍSES PARA OS RESÍDUOS DE EMBALAGENS DE VIDRO

Sistemas de coleta distintos são passíveis de serem adotados para recuperar os resíduos de embalagens de vidro a partir dos RSU. Apesar disso, nota-se na União Europeia (UE) – onde taxa de reciclagem das embalagens de vidro gira em torno de 74% (FEVE, 2018) – um interesse maior pela coleta seletiva em fração única para o vidro, principalmente por meio de sistemas de coleta do tipo *bring*. Dentre os vinte e oito estados membros da UE, dezoito têm os PEVs como principal sistema de coleta para os resíduos de embalagens de vidro, os quais são coletados em fração única. Em outros sete países, a coleta porta a porta dos resíduos de vidro em fração única configura o principal sistema de coleta, enquanto a coleta porta a porta *dual-stream* é a solução adotada em um desses países e a *single-stream* em outros dois (EUROPEAN COMMISSION, 2015).

Tais sistemas de coleta são predominantes nos estados membros da UE, mas não necessariamente os únicos pois, muitas vezes, verifica-se uma combinação de diferentes sistemas de coleta em uma mesma localidade. Dentre as capitais dos vinte e oito estados membros da UE, por exemplo, vinte e sete empregam PEVs exclusivos para o vidro, e dessas, dezesseis também recolhem os resíduos de vidro por meio do sistema porta a porta, em sua maioria em fração única e, em alguns casos, sob encomenda. Apenas uma capital depende exclusivamente da coleta porta a porta para o vidro, o qual é coletado em fração única, e nove exclusivamente dos PEVs. É importante ressaltar, ainda, que em vinte e cinco capitais estão disponíveis centros de coleta, utilizados sobretudo como sistema de coleta adicional, onde é possível realizar o descarte de embalagens de vidro (EUROPEAN COMMISSION, 2015).

Quanto ao método de separação, quinze capitais coletam o vidro porta a porta em fração única, e seis comisturado. Nos PEVs, por outro lado, o vidro é sempre coletado em fração única. Em alguns locais, além dos resíduos de embalagens de vidro serem coletados separadamente, há ainda uma classificação em vidro incolor e colorido (âmbar e verde) no momento do descarte (EUROPEAN COMMISSION, 2015). É o caso da Alemanha, por exemplo, que em 2014 reciclou 89% das embalagens de vidro geradas (FEVE, 2016). Nesse país é comum a coleta dos resíduos recicláveis em três frações: (i) papel/papelão; (ii) embalagens leves (plástico, alumínio, folha de flandres e compósitos); e (iii) vidro, esse podendo ser classificado em vidro incolor, verde e âmbar no momento do descarte (DER GRÜNE PUNKT, 2007). A título de exemplo, na capital, Berlim, contentores com rodas estão disponíveis nos prédios residenciais para o descarte do vidro, e em toda a cidade há PEVs (cerca de seis mil), denominados “*bottle bank*” (Figura 2a), destinados ao descarte desse material. Todos os anos, cerca de setenta mil toneladas de vidro são coletadas na capital, o equivalente à cerca de 20 kg por pessoa (BERLIN, 2013).

Alguns municípios em países da UE merecem destaque em relação ao bom desempenho na coleta dos resíduos de vidro, a saber: Ljubljana, Tallinn, Bruxelas, Cidade do Luxemburgo e Dublin, capitais, da Eslovênia, Estônia, Bélgica, Luxemburgo e Irlanda, respectivamente. Ljubljana e Tallinn utilizam exclusivamente centros de coleta e PEVs na coleta do vidro, enquanto Luxemburgo e Bruxelas também incluem sistemas de coleta porta a porta em fração única, e Dublin, coleta porta a porta em fração única e comisturada. Em Ljubljana, pontos de coleta subterrâneos estão disponíveis (Figura 2b), os quais podem substituir os contentores dos domicílios, bem como os contêineres de ilhas ecológicas, que são PEVs onde vários contêineres para recicláveis específicos estão disponíveis (EUROPEAN COMMISSION, 2015). Em Bruxelas, a coleta porta a porta de embalagens de vidro é paga e opcional, mas gratuita nos PEVs, onde contêineres para vidro incolor e colorido estão disponíveis (BRUXELLES-PROPRETÉ, 2018). A Figura 2c mostra alguns desses contentores.



**Figura 2:** PEVs de vidro disponíveis em: (a) Berlim; (b) Ljubljana; e (c) Bruxelas; e (d) sistema de coleta “*Fantastic Three*” adotado em São Francisco, Estados Unidos. Fonte: Berlin (2013); Chaumont-Gistoux (2018); D’Antonio (2016); SF Environment (2017).

Ao contrário dos países da UE, nos Estados Unidos, onde a taxa de reciclagem das embalagens de vidro é bem inferior – cerca de 26% em 2014 (EPA, 2017) –, há uma predominância de sistemas de coleta porta a porta do tipo *single-stream*, no qual o vidro e os demais recicláveis são coletados comisturados. Esse sistema começou a ser implantado no país por volta do ano 2000, e dessa data em diante apresentou um aumento drástico. A título de exemplo, em 2005, 29% das comunidades tinham acesso à coleta do tipo *single-stream*, enquanto em 2010 a taxa foi de 64% (GPI, 2014).

O sistema de coleta *single-stream* é adotado inclusive em São Francisco, município referência nos Estados Unidos em práticas *Zero Waste*, que implementou um programa de coleta porta a porta intitulado “*Fantastic Three*”, no qual são empregados três recipientes para o descarte dos resíduos (Figura 2d), sendo o recipiente azul destinado aos recicláveis, o verde aos orgânicos, e o preto aos rejeitos (SF ENVIRONMENT, 2017).

Deve se destacar, que tanto na UE quanto nos Estados Unidos, uma parcela das embalagens de vidro é coletada por meio de sistemas de depósito-reembolso. Em tal sistema, o consumidor paga pelo valor da embalagem quando adquire o produto, e é reembolsado caso retorne a embalagem ao varejo (LOUGHLIN; BARLAZ, 2006). Esse sistema pode estar disponível tanto para embalagens de vidro retornáveis quanto para descartáveis (*one-way*) (EUROPEAN COMMISSION, 2015).

No Brasil, dados oficiais apontam que 33,1% dos municípios dispõem de algum tipo de coleta seletiva, sendo 86% correspondente à coleta seletiva porta a porta – a qual beneficia aproximadamente 34% da população brasileira –, e os 14% restantes, aos PEVs ou centros de coleta (BRASIL, 2018). É importante ressaltar, contudo, que uma combinação de sistemas de coleta pode existir em um mesmo município (CAMPOS, 2014), mas essas ocorrências não são consideradas nas estatísticas oficiais, pois o foco do órgão responsável pelo diagnóstico dos resíduos sólidos no país é o sistema de coleta porta a porta.

Não há dados oficiais quanto aos métodos de separação adotados pelos municípios brasileiros para coletar os resíduos recicláveis, porém, alguns trabalhos sugerem que, em geral, esses são coletados a partir do método *single-stream* (Campos, 2014; Toso e Alem, 2014). Isso se deve, em parte, ao fato de existirem organizações de catadores de materiais recicláveis atuando em conjunto com os organismos municipais, as quais se encarregam da triagem e classificação desses materiais e, em alguns casos, até mesmo da coleta, como destacam Rutkowski e Rutkowski (2015).

Embora a coleta porta a porta *single-stream* seja predominante no país, algumas iniciativas voltadas para a coleta do vidro em fração única, a partir de sistemas do tipo *bring*, são identificadas. É o caso, por exemplo, de Florianópolis, capital do estado de Santa Catarina onde, desde 2014, PEVs com contêineres exclusivos para o vidro vêm sendo implantados (Figura 3), nos quais a população pode descartar esse tipo de resíduo (COMCAP, 2015).



**Figura 3: PEV exclusivo para o vidro em Florianópolis, Santa Catarina. Fonte: Comcap (2015).**

Dentre as cinco regiões do país, as que se destacam em relação à presença de sistemas de coleta seletiva, e maior número de habitantes beneficiados por esse serviço, são as regiões Sul e Sudeste. Nas regiões Norte e Nordeste, a situação é mais crítica, pois o índice máximo de cobertura da coleta seletiva porta a porta é de 6,2%, índice bem abaixo dos 64,3% da região Sul, e dos 40% da região Sudeste (BRASIL, 2018).

Do total de resíduos recicláveis coletados no ano de 2016 pelos municípios, estima-se que as prefeituras tenham coletado diretamente 16% dos recicláveis, as empresas contratadas 50,6%, e as organizações de catadores que atuam em parcerias com as prefeituras, 33,4%. Nas regiões Norte e Nordeste, os principais responsáveis pela coleta dos resíduos recicláveis foram os catadores, que recolheram, respectivamente, 76% e 85% desses materiais (BRASIL, 2018).

Em relação à quantidade coletada, apenas 4% dos RSU foram recolhidos por meio da coleta seletiva em 2016. Considerando que, em média, 30% dos RSU são passíveis de serem reciclados, apenas 13,3% desse material foi coletado a partir da coleta seletiva. Quando se observa o percentual recuperado, o cenário é ainda pior pois, do montante coletado, pouco mais da metade pode ser reaproveitada (52,6%), ou seja, recuperou-se apenas 7% dos resíduos recicláveis, sendo os 93% restantes dispostos em aterros ou lixões (BRASIL, 2018).

Destaca-se, contudo, que esses dados correspondem a apenas uma parcela dos municípios brasileiros e aos serviços prestados pelo setor público e, no caso das organizações de catadores, são somente considerados os dados daquelas que mantêm alguma parceria com as prefeituras (BRASIL, 2018). É importante ressaltar, por sua vez, que há um número expressivo de catadores



autônomos atuando em vias urbanas e lixões a céu aberto no país, tanto coletando resíduos recicláveis deixados pelos geradores nos pontos de coleta antes da coleta municipal, quanto recuperando nos lixões os resíduos recicláveis descartados inadequadamente na coleta convencional (PEREIRA; GOES, 2016). Dados quanto ao volume de resíduos recuperado por esse grupo não estão disponíveis, embora se pressuponha ser significativo.

Quando se analisa especificamente os resíduos de embalagens de vidro, as informações são mais escassas. Não há informações atualizadas do percentual coletado no país por meio dos sistemas de coleta seletiva municipais, tão pouco dados sobre o percentual reciclado. O último levantamento sobre a destinação final dos resíduos de embalagens de vidro realizado no Brasil, em 2007, estimou que 20% das embalagens de vidro foram reutilizadas, 27% recicladas, 33% reutilizadas no ambiente doméstico ou informalmente, e 20% encaminhadas a aterros ou tiveram destino incerto (ABRELPE, 2013).

Visto que a pesquisa foi realizada há uma década, esses valores não refletem a realidade atual, sendo razoável considerar, inclusive, que o percentual de embalagens encaminhadas a aterros seja maior nos dias atuais, devido ao aumento do uso de garrafas de vidro descartáveis ao longo dos últimos anos (MMA, 2010; ROSA et al., 2007), bem como pelas dificuldades mercadológicas e logísticas no retorno desse material à cadeia produtiva, pois, em regiões distantes dos grandes centros produtores, ou onde o consumo de embalagens de vidro não é elevado, a receita com a venda desse material não cobre os custos com o transporte e, por esse motivo, muitas vezes o material que chega às organizações de catadores acaba sendo disposto em aterros (LAMPERT, 2016). Pereira e Goes (2016) destacam esse cenário ao apresentar o caso da Asmare, uma associação de catadores do município de Belo Horizonte, em Minas Gerais, que recebe um volume significativo de resíduos de vidro, mas que tem a comercialização desse material inviabilizada devido à falta de mercado.

No que se refere às operações de triagem e classificação dos resíduos recicláveis, embora existam algumas MRFs automatizadas nas grandes cidades brasileiras, essas atividades são executadas, em sua maioria, manualmente e de forma irregular e precária, em MRFs operadas por catadores (CAMPOS, 2014). Nos países desenvolvidos, por outro lado, predominam as instalações automatizadas, as quais são adaptadas de acordo com o método de separação empregado na coleta (ver Cimpan *et al.*, 2015 e Pressley *et al.*, 2015). No trabalho de Pressley *et al.* (2015) são descritos os equipamentos e as condições de funcionamento de algumas MRFs automatizadas que operam a partir das coletas *single-stream*, *dual-stream*, *pre-sorted* e *mixed waste*.

Quanto às MRFs automatizadas implantadas no Brasil, pode-se destacar duas que operam com materiais provenientes da coleta seletiva *single-stream*. Ambas estão instaladas em São Paulo e são operadas pelas concessionárias Loga e Ecurbis. Em ambas não estão disponíveis equipamentos para triagem do vidro, sendo este separado apenas no processo inicial, em uma cabine de pré-seleção manual, na qual ocorre a separação dos resíduos de vidro, antes que os mesmos venham a ser eliminados pelo sistema de triagem automatizado (SÃO PAULO, 2014a). Em contato telefônico com o órgão gerenciador dos serviços de limpeza urbana de São Paulo, a AMLURB – Autoridade Municipal de Limpeza Urbana, foi informado, por sua vez, que existem alguns projetos para se implantar leitores óticos para triar o vidro nessas MRFs.

É importante ressaltar, que muitas MRFs no Brasil foram abandonadas ou danificadas após a instalação, devido à ineficiências na gestão, manutenção e operação dessas instalações, não apenas, mas principalmente nos pequenos municípios (CAMPOS, 2014).

## IMPLICAÇÕES DOS SISTEMAS DE COLETA E TRIAGEM

Os diversos sistemas de coleta e modelos de MRFs apresentados anteriormente possuem vantagens e desvantagens que merecem ser destacadas, tanto no caso do tratamento dos recicláveis em geral, quanto especificamente do vidro. De um modo geral, quanto mais frações de resíduos são separadas na fonte geradora, mais complicada e de mais alto custo se torna a coleta, pois, a consolidação dos diferentes materiais a serem transportados se torna mais complicada. Por outro lado, quanto menor o número de frações segregadas, em relação a variedade total de materiais coletados, mais complexa se torna a triagem nas MRFs (JAHRE, 1995).

A coleta mais simples voltada à recuperação dos resíduos recicláveis é a convencional, na qual o gerador descarta os resíduos e rejeitos em um único recipiente. Embora esse sistema de coleta seja prático no sentido de reduzir a complexidade da coleta e aumentar a participação pública, sua eficácia é inferior à coleta seletiva, pois o material recolhido possui alto grau de contaminantes, o que eleva os custos dos processamentos posteriores e compromete sua comercialização (CIMPAN et al., 2015; IPEA, 2012; MACDONALD; VOPNI, 1994), pois, a maioria das matérias-primas secundárias advindas das MRFs mistas apresentam qualidade inferior à das MRFs limpas, à exceção dos metais, que apresentam qualidade semelhante nas duas (EUROPEAN COMMISSION, 2015).



Além disso, na coleta convencional a quantidade de rejeitos gerada é maior. No caso do vidro, por exemplo, uma parcela considerável é removida junto à fração orgânica nas MRFs mistas e não é recuperada (PRESSLEY et al., 2015), pois, devido ao tamanho reduzido das partículas e ao alto nível de contaminação, a triagem ótica desse material é prejudicada (DIAS et al., 2014). Embora as MRF mistas possam contribuir, até certo ponto, para o aumento da taxa de recuperação dos resíduos recicláveis em determinada região, sua implementação é indicada apenas como medida complementar, para processar os resíduos recicláveis que são descartados inadequadamente na coleta convencional (EUROPEAN COMMISSION, 2015).

Na Europa, por exemplo, embora a coleta seletiva seja bem-sucedida no geral, o custo total do sistema e a baixa participação da população torna necessário o processamento adicional de recicláveis em MRFs mistas em algumas regiões. É o caso da Espanha, França e Grécia, países nos quais a recuperação de resíduos recicláveis a partir da coleta convencional contribui significativamente para as taxas de reciclagem. Esses resultados só são possíveis, entretanto, devido às quantidades significativas de recicláveis na coleta convencional, e às condições climáticas favoráveis, que reduzem os efeitos da contaminação cruzada (CIMPAN et al., 2015).

Em se tratando de coleta seletiva, a coleta *single-stream* é a mais simples, e tida como uma alternativa para coletar os resíduos recicláveis de forma seletiva ao menor custo, pois requer uma estrutura de coleta mais simples, sendo possível coletar um maior volume de material com menos mão de obra, e percorrendo uma distância menor. Além disso, é um sistema de coleta mais conveniente aos geradores, sendo inclusive associado a esse, uma maior taxa de participação da população em programas de coleta seletiva. Deve se ter em mente, contudo, que aumentar a conveniência da reciclagem não resulta, necessariamente, em maior conscientização da população (CIMPAN et al., 2015; CRI, 2009; LAKHAN, 2015).

Há de se considerar ainda, que economias na coleta, ou no *front-end*, acarretam em esforços e custos mais elevados no processamento posterior dos materiais na cadeia de gerenciamento de resíduos (CIMPAN et al., 2015; CRI, 2009), os quais, devem ser compensados pelos custos mais baixos da coleta. Alguns estudos apontam, contudo, que em geral, essa compensação não ocorre de fato pois, muitas vezes, os custos adicionais com o processamento nas MRFs são significativamente maiores do que as economias na coleta. Além disso, as receitas com a venda do material tendem a ser menores nas MRFs *single-stream*, devido à maior contaminação dos materiais (LAKHAN, 2015), havendo ainda um custo adicional com a eliminação do material inutilizável (CRI, 2009).

O material mais afetado pela contaminação cruzada nas MRFs *single-stream* é o papel, o qual tem a sua reciclagem prejudicada, sobretudo, pela presença do vidro. De acordo com alguns estudos, a contaminação cruzada do papel em coletas comisturadas variam de 5% a 20%, enquanto na coleta em fração única, essa taxa cai para 1% (MIRANDA et al., 2013). É importante ressaltar ainda, que o papel contaminado pode gerar complicações nas indústrias, tais como danos aos equipamentos e interrupções na produção (MIRANDA et al., 2011).

Outro material que tem a sua reciclagem prejudicada na coleta *single-stream* é o vidro, o qual por estar contaminado acaba, muitas vezes, sendo utilizado para fins menos desejáveis em termos de conservação de energia e prevenção de emissões. Em outras palavras, ao invés de ser reutilizado diversas vezes para produção de novas embalagens, o vidro é transformado em matéria-prima secundária de menor qualidade, e empregado em outros produtos, cuja reciclagem ao final da vida útil é geralmente inviável (CRI, 2009). Nos Estados Unidos, por exemplo, segundo dados apresentados por Collins (2012), 60% do vidro proveniente de programas *single-stream* são empregados na fabricação de novas embalagens ou fibras de vidro, 19% são pequenos cacos de vidros (vidro fino) utilizados para aplicações de baixo custo, como base asfáltica, por exemplo, e 21% são uma combinação de vidro fino e impurezas (outros materiais que não o vidro) não aproveitáveis, os quais são dispostos em aterros. Ainda segundo a autora, nas MRFs *dual-stream*, 90% do vidro pode ser reciclado em embalagens e fibras de vidro, e os 10% restantes são empregados em aplicações de baixo custo. É importante salientar que, assim como o papel, o vidro contaminado também reduz a expectativa de vida dos equipamentos de produção, eleva os custos operacionais, e limita a quantidade de caco a ser utilizada na produção de novas embalagens. Portanto, a redução de custos na coleta, pode gerar aumento de custos não somente nas MRFs, mas também no processo de reciclagem (CRI, 2009).

Para que a reciclagem a partir de programas *single-stream* seja viável economicamente, é necessário ter disponível uma grande quantidade de material reciclável, que permita a redução dos custos de processamento nas MRFs automatizadas, sendo apropriada a sua implantação, portanto, para o tratamento de resíduos de áreas urbanas densamente povoadas, onde grandes quantidades de material reciclável são geradas (LAKHAN, 2015), ou ainda, em áreas onde o tráfego intenso exige um carregamento rápido, ou em condomínios e prédios de alta densidade (EUROPEAN COMMISSION, 2015). Ressalta-se ainda que, de acordo com Pressley et al. (2015), o uso de eletricidade associado ao equipamento de separação do vidro nas MRFs é maior do que todos os outros tipos de equipamentos de separação. Sendo assim, ganhos de eficiência energética associados à tecnologia de separação de vidro resultam em reduções significativas no consumo de eletricidade nas MRFs.

Alguns problemas decorrentes da coleta *single-stream* podem ser reduzidos ao se empregar o sistema de coleta *dual-stream* (EUROPEAN COMMISSION, 2015), no qual, se tem um recipiente exclusivo para o papel e outro para os demais recicláveis. Esse sistema tende a ser mais vantajoso do que o *single-stream* pelo fato dos custos líquidos serem menores, e a qualidade e o valor dos materiais, maiores. Por esses motivos, quando barreiras práticas e operacionais dificultam a implantação de sistemas de coleta *pre-sorted*, a coleta *dual-stream* é preferível à coleta *single-stream* (CRI, 2009; EUROPEAN COMMISSION, 2015). É importante ressaltar, que há ainda a possibilidade de se coletar o vidro em fração única, e os demais recicláveis (papel, metal, plástico) comisturados, conforme ocorre em Paris (EUROPEAN COMMISSION, 2015).

Outra alternativa de sistema de coleta usual, envolve a coleta do papel e do vidro em fração única, e plástico e metal, comisturados. Esse tipo de configuração de sistema de coleta é adotado, muitas vezes, pelo fato da coleta e triagem comisturada desses dois materiais não ser problemática no geral (EUROPEAN COMMISSION, 2015). Apesar disso, o sistema de coleta seletiva que resulta em menor contaminação de materiais recicláveis e, consequentemente, em maiores receitas com a venda dos mesmos, é o *pre-sorted*. Os custos com a coleta são maiores neste caso, e o nível de participação da população tende a ser menor (EUROPEAN COMMISSION, 2015; LAKHAN, 2015), sendo este, inclusive, um dos motivos pelos quais esse tipo de coleta não é indicado para áreas residenciais multifamiliares pois, em geral, é mais difícil organizar e impulsionar a coleta *pre-sorted* nesse tipo de residência do que nas unifamiliares (EUROPEAN COMMISSION, 2015).

Quanto aos pontos de coleta, é importante mencionar que, em geral, os custos e a participação da população nos sistemas de coleta porta a porta são maiores do que nos sistemas do tipo *bring*, pois, neste último, o número de pontos de coleta são substancialmente reduzidos, o que resulta em menores custos, mas também em menor participação da população. Os sistemas do tipo *bring* são vistos, muitas vezes, como complementares à coleta porta a porta, mas podem também serem adotados para receber os materiais que não estão compreendidos nesta (EUROPEAN COMMISSION, 2015; LOUGHLIN; BARLAZ, 2006). A coleta do tipo *bring* também pode ser empregada em áreas onde há grandes congestionamentos de trânsito e onde há grandes edifícios. Na impossibilidade da instalação de PEVs por limitações de espaço, a coleta porta a porta pode ser adotada, ou então PEVs subterrâneos (CIMPAN et al., 2015; TESTA et al., 2017).

Vale ressaltar, que os materiais coletados a partir dos PEVs podem conter um maior percentual de impurezas do que os coletados a partir do sistema porta a porta (EUROPEAN COMMISSION, 2015). Isso ocorre porque, em geral, os PEVs são implantados em vias públicas, o que propicia o descarte irregular de outros tipos de resíduos, tais como fezes de animais, restos de construção e demolição, ou até mesmo materiais recicláveis em condições insatisfatórias de qualidade. No município de São Paulo, por exemplo, são comuns as ocorrências de descartes irregulares nos PEVs voltados para coleta de resíduos recicláveis, o que acaba comprometendo a qualidade dos materiais e elevando os custos do sistema de coleta (SÃO PAULO, 2014b). A qualidade dos materiais depende, todavia, do nível de informação disponível à população, e da forma como a coleta é executada (GUTBERLET, 2015). Sendo assim, se a frequência da coleta convencional em determinada região estiver incompatível ao volume gerado, por exemplo, este já será um fator favorável ao descarte inadequado por parte da população (SÃO PAULO, 2014b).

Há de destacar, contudo, que o sistema que proporciona matérias-primas secundárias de melhor qualidade, ou seja, menos contaminadas, é o de depósito-reembolso (EUROPEAN COMMISSION, 2015), no qual os consumidores retornam as embalagens ao varejo para serem reembolsados. Nos Estados Unidos, por exemplo, cerca de 98% dos resíduos de vidro coletados por meio dos sistemas de depósito-reembolso são reciclados (COLLINS, 2012). Esse sistema é inclusive, a principal fonte de resíduos de vidro para as indústrias fabricantes de embalagens norte-americanas, pois, estima-se que mais de 65% do vidro reciclado utilizado no processo de fabricação, advém dos estados que adotam esse sistema, nos quais se verifica uma maior taxa de reciclagem dos resíduos de embalagens de bebidas do que nos estados que não adotam esse sistema (GPI, 2014). Em alguns locais da UE, o sistema de depósito-reembolso também é determinante nas taxas de coleta de resíduos de vidro, como por exemplo, na capital da Finlândia, Helsinquia, onde o sistema de depósito-reembolso capta três vezes mais resíduos de embalagens de vidro anualmente, do que os três sistemas de coleta disponíveis para esse material (coleta porta a porta, PEV e centro de coleta) (EUROPEAN COMMISSION, 2015).

Contudo, uma questão-chave a ser considerada pelos municípios antes de decidir sobre as alternativas de coleta e triagem é: qual será o destino dos materiais coletados? (CRI, 2009). Esse questionamento se justifica porque muitas vezes os municípios gastam quantias consideráveis na coleta e processamento dos resíduos, sem a garantia de que esses serão absorvidos pelo mercado (MACDONALD; VOPNI, 1994). No caso do vidro, por exemplo, dois fatores interferem na sua comercialização: a proximidade de empresas beneficiadoras de resíduos de vidro, e as especificações de qualidade exigidas por essas empresas (CRI, 2009).

Outra particularidade que deve ser considerada para este material, é o fato de que, independente do sistema de coleta adotado, a quebra do vidro é praticamente inevitável, seja no momento da disposição do material no caminhão, na compactação (quando ocorre), no descarregamento dos materiais nas MRFs, ou em outras ocasiões (CRI, 2009). Tal situação é inclusive uma das

principais causas de acidentes com os funcionários responsáveis pela coleta de resíduos nos municípios e com os catadores de materiais recicláveis (FERREIRA; ANTONIO, 2001). Em Florianópolis, por exemplo, em se tratando do descarte inadequado por parte da população, o vidro foi responsável por 27,3% dos acidentes com os funcionários da coleta no ano de 2016 (COMCAP, 2017). Quanto aos catadores, há diversos estudos que apontam para o grande número de acidentes ocasionados pela manipulação do vidro (Cavalcante e Silva, 2015; Pereira e Goes, 2016). Em parte, esses acidentes são causados pelo mal acondicionamento do vidro por uma parcela da população e, por outra, pela não utilização de equipamentos de proteção individual (EPI) por parte dos catadores, que o fazem em razão do calor ou da menor agilidade proporcionada pelos mesmos (CASTILHOS JUNIOR et al., 2013; CAVALCANTE; SILVA, 2015; PEREIRA; GOES, 2016).

A coleta dos resíduos recicláveis, ou até mesmo apenas do vidro, por meio de PEVs, é uma alternativa para se reduzir os acidentes com este material durante a coleta. Isso porque, em geral, os contêineres instalados nos PEVs são projetados para serem içados por caminhões equipados com guindastes hidráulico, não sendo necessário, portanto, o manuseio do material pela equipe da coleta, uma vez que os resíduos dispostos nesses mobiliários são descarregados diretamente na caçamba do caminhão, como indica Gomes *et al.* (2017).

Outro fator que interfere não só na incidência de acidentes, mas também na qualidade dos materiais recicláveis e na produtividade das MRFs, é a quebra do vidro nos caminhões compactadores (COMCAP, 2013; GUTBERLET, 2015). Alguns autores sugerem que esse tipo de veículo não deva ser empregado na coleta seletiva (Gomes et al., 2017; Lino, 2009), entretanto, o uso do mesmo é verificado em alguns municípios, entre eles São Paulo e Campinas. Em Florianópolis também há projetos voltados para o uso de caminhões compactadores na coleta seletiva, porém, o grau de compactação dos mesmos será menor do que os empregados na coleta convencional (FLORIANÓPOLIS, 2016). Além disso, o intuito é não coletar os resíduos de vidro a partir desse tipo de veículo, razão pela qual, PEVs exclusivos para esse material vêm sendo implantados no município (COMCAP, 2013).

Não Quadro 3 tem-se uma síntese das características gerais dos sistemas de coleta, bem como dos impactos desses sistemas e da presença do vidro, no desempenho dos programas de reciclagem e na recuperação desse material.

**Quadro 3: Características dos sistemas de coleta e as implicações nos programas de reciclagem (continua).**

**Fonte: Elaboração própria com base na análise de dados da literatura.**

| Coleta                     | Representação                                                                       | Implicações                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ponto de coleta</b>     |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Porta a porta              |  | <b>Vantagens</b><br>Maior taxa de participação da população em relação aos sistemas do tipo <i>bring</i><br>Percentual de impurezas tende a ser menor que nos PEVs<br><b>Desvantagens</b><br>Custo da coleta é mais elevado<br>Maior probabilidade de acidentes com o vidro pelo contato direto com sacos de lixo                                                                                                                                                                                                                       |
| PEV                        |  | <b>Vantagens</b><br>Custo da coleta é menor que na coleta porta a porta<br>Favorável em áreas com grande congestionamento e grandes edifícios<br>Probabilidade de acidentes com o vidro na coleta é menor, devido à automatização da coleta<br><b>Desvantagens</b><br>Menor taxa de participação da população que na coleta porta a porta<br>Necessidade de espaço para instalação dos contêineres<br>Material pode conter maior percentual de impurezas que na coleta porta a porta                                                    |
| Centro de coleta           |  | <b>Vantagens</b><br>Custo da coleta é menor que na coleta porta a porta e PEV<br>Complementar à coleta porta a porta e PEV<br>Pode incentivar o descarte do vidro devido a possibilidade de descarte de outros materiais<br><b>Desvantagens</b><br>Menor taxa de participação da população                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Método de separação</b> |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Fração única               |  | <b>Vantagens</b><br>Maior quantidade de vidro recuperada (em relação à quantidade coletada)<br>Menor probabilidade de acidentes com o vidro na coleta e triagem em relação aos outros métodos de separação<br>Redução da contaminação dos outros recicláveis por conta da quebra do vidro<br>Utilização de caminhão compactador para coletar os demais recicláveis é mais favorável devido à ausência de caco de vidro<br><b>Desvantagens</b><br>Custo da coleta é mais elevado<br>Nível de participação da população tende a ser menor |

## Quadro 3: Características dos sistemas de coleta e as implicações nos programas de reciclagem (continuação).

Fonte: Elaboração própria com base na análise de dados da literatura.

| Método de separação |                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Dual-stream         |   | <p><b>Vantagens</b><br/>Qualidade do material é melhor do que na coleta <i>single-stream</i><br/>Maior quantidade de vidro recuperada do que na coleta <i>single-stream</i></p> <p><b>Desvantagens</b><br/>Quantidade de vidro recuperada menor do que na coleta em fração única<br/>Probabilidade de acidentes com o vidro na coleta e triagem manual é maior que na fração única<br/>Utilização de caminhão compactador é desfavorável</p>                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Single-stream       |   | <p><b>Vantagens</b><br/>Custo da coleta é menor<br/>Maior participação da população dentre os sistemas de coleta seletiva</p> <p><b>Desvantagens</b><br/>Utilização de caminhão compactador é desfavorável<br/>Maior contaminação cruzada dos materiais, em especial do papel<br/>Menor receita na comercialização do que nos outros métodos de separação<br/>Custos adicionais com eliminação de material contaminado<br/>Custo com processamento maior<br/>Prejuízos às empresas recicladoras pela contaminação<br/>População menos conscientizada em relação ao impacto dos resíduos<br/>Probabilidade de acidentes com o vidro na coleta e triagem manual é maior que na fração única</p> |
| Convencional        |  | <p><b>Vantagens</b><br/>Custo da coleta é menor que na coleta seletiva<br/>Maior participação da população se comparado aos sistemas de coleta seletiva<br/>Medida complementar para elevar os índices de reciclagem<br/>Conveniente para locais com condições climáticas favoráveis</p> <p><b>Desvantagens</b><br/>Materiais possuem alto grau de contaminantes e qualidade inferior aos da coleta seletiva<br/>Custo com o processamento é mais elevado<br/>Custos adicionais com eliminação de material contaminado<br/>Menor receita na comercialização<br/>Desfavorável para locais de clima tropical</p>                                                                                |

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O uso de embalagens de vidro apresenta vantagens, sejam relacionadas à manutenção da qualidade do produto acondicionado nesse tipo de embalagem, ou relativas às suas características intrínsecas, que permitem a sua reutilização com a mesma função original após uma limpeza, ou a sua reciclagem para produção de novas embalagens de vidro. Como se trata de um material frágil, sua quebra é, muitas vezes, inevitável, razão pela qual, atenção especial deve ser dada a esse produto ao fim de sua vida útil, para que acidentes em decorrência de seu manuseio inadequado sejam evitados.

Esse é um dos aspectos, inclusive, que justificaria a coleta desse resíduo em fração única, ou seja, separado dos demais recicláveis. A vantagem de se deixar explícito quais recipientes contêm resíduos de vidro está na facilidade de identificação do material por parte dos responsáveis pela coleta e triagem, que podem, por consequência, manusear o material com mais cautela. Como no Brasil essas atividades são, em sua maioria, executadas manualmente, seja pelos funcionários da coleta municipal, ou pelos catadores, a separação do vidro dos demais recicláveis pode contribuir para redução dos inúmeros acidentes de trabalho ocasionados por esse material perfurocortante.

Deve se destacar, que esse é um aspecto sequer abordado nos estudos voltados para os países desenvolvidos, dado que nesses, o vidro é coletado em fração única ou processado automaticamente. Na União Europeia, por exemplo, a maioria dos países coleta o vidro em fração única e, nos Estados Unidos, onde a coleta *single-stream* é predominante, são usados equipamentos para processar esse material nas MRFs, o que dispensa o contato manual com o mesmo. No Brasil, por outro lado, as MRFs automatizadas existentes não possuem tecnologia para triar o vidro, sendo essa operação executada manualmente. Além da possibilidade de acidentes, existe ainda outro agravante na inexistência de equipamentos para triagem do vidro nas MRFs automatizadas, que é a perda desse material durante o processamento, e a sua consequente disposição em aterros.

É importante se atentar ao fato de que o vidro é um material com baixo valor no mercado e com custo de transporte elevado. Portanto, reduções de custos nas atividades de coleta e triagem são relevantes, assim como a consolidação de volumes que garantam a sua comercialização. Uma das maneiras de se reduzir os custos com a coleta do vidro consiste na utilização de sistemas do tipo *bring*, nos quais se dispõe de um número reduzido de pontos de coleta (em comparação à coleta porta a porta), que possibilitam a redução do percurso e de pessoal.



Uma alternativa para se reduzir os custos na cadeia reversa do vidro consiste na coleta desse material em fração única, o que permitiria a redução dos custos com a triagem, bem como da contaminação cruzada, a qual, muitas vezes, inviabiliza sua reciclagem. Além disso, a coleta do vidro em fração única pode também ser benéfica aos outros materiais recicláveis, com destaque para o papel, que é particularmente contaminado pelo vidro na coleta *single-stream*. Embora a questão da contaminação cruzada seja abordada na literatura, não foram identificados estudos voltados para esse aspecto no Brasil. Presume-se, porém, que seja elevada, pois, dos materiais que chegam às organizações de catadores pelos sistemas de coleta seletiva oficiais, aproximadamente 47,4% não são aproveitados e são dispostos em aterros. Embora possa ocorrer o descarte inadequado de alguns materiais pelos geradores, ou a falta de mercado para alguns resíduos, é provável que a contaminação cruzada contribua em grande parte para esse resultado.

Percebe-se, entretanto, que embora a coleta seletiva *single-stream* tenda a aumentar a participação da população, essa não vem trazendo resultados positivos nem para os Estados Unidos, e ao que parece, nem ao Brasil. Em parte, isso se deve à contaminação cruzada, mas também ao fato de que esse sistema de coleta leva a população a ter menor compromisso com a problemática dos resíduos urbanos, conforme sugerem alguns estudos. Uma prática que parece contribuir para a separação dos resíduos recicláveis na coleta seletiva, por sua vez, é a introdução da coleta seletiva porta a porta de resíduos orgânicos (ver Dahlén et al., 2007 e European Commission, 2015), podendo ser uma alternativa a se testar no Brasil.

A combinação de sistemas de coleta, tais como, porta a porta, PEV, e centros de coleta, pode auxiliar os municípios a atingir índices de coleta mais altos. As decisões sobre qual sistema deve prevalecer, e quais materiais devem ser coletados em cada tipo de sistema, poderão variar de acordo com as características do município, tais como as condições da infraestrutura, o comportamento da população, os recursos financeiros disponíveis, entre outros aspectos. Embora os sistemas do tipo *bring* sejam vistos como complementares à coleta porta a porta, na UE, os PEVs exclusivos de vidro são tidos como o principal sistema de coleta desse material, podendo ser essa uma das razões pela alta taxa de reciclagem do vidro na região.

Na adoção dos PEVs como principal sistema de coleta para o vidro, ou qualquer outro material, é importante considerar a possibilidade de se manter a coleta porta a porta, ao menos enquanto houver resistência da população em encaminhar os materiais a esses pontos. A decisão por manter a coleta porta a porta está muito relacionada ao grau de utilização dos PEVs pela população que, por sua vez, é afetada pela localização dos mesmos (GONZÁLEZ-TORRE; ADENSO-DÍAZ, 2002). Assim, se há adesão da população aos PEVs, não há necessidade de se investir na coleta porta a porta, que é mais cara. Ressaltando que, além da coleta porta a porta e/ou PEVs, é importante implantar centros de coleta nos municípios para evitar que alguns resíduos passíveis de recuperação, que não são cobertos por esses sistemas de coleta (como por exemplo os resíduos eletrônicos e têxteis), sejam descartados nos mesmos ou na coleta convencional.

Caso o vidro seja coletado a partir do sistema porta a porta, em fração única, há a possibilidade do material ser coletado em dias específicos, ou se dispor de compartimentos exclusivos para o armazenamento do mesmo nos caminhões de coleta seletiva. Nessas circunstâncias, é possível coletar os outros materiais recicláveis a partir de caminhões compactadores, sem que haja a contaminação dos mesmos pela quebra do vidro, ou mesmo o desperdício dos cacos de vidro. Há de se analisar, contudo, se a compactação dos resíduos recicláveis, mesmo que em menor intensidade, é prejudicial ou não à triagem e à recuperação dos recicláveis como um todo.

No caso da coleta porta a porta *dual-stream* ou *pre-sorted*, há de se considerar a possibilidade de coletar todas as frações em um único veículo, em compartimentos dedicados a cada fração, ou alternar o uso de um mesmo veículo para coletar cada fração em dias ou horários específicos. A disponibilidade de espaço físico nos imóveis e nas vias públicas para o armazenamento dos materiais separados, nesses casos, também deve ser avaliada.

É importante destacar, que as decisões acerca das MRFs são tão relevantes quanto as decisões acerca do sistema de coleta, devendo essas instalações serem projetadas levando em consideração, além do volume e o tipo de material coletado, aspectos como, a ociosidade ou sobrecarga da instalação, bem como a possibilidade de venda do material processado. Portanto, a implantação de MRFs automatizadas só deve ser considerada, por exemplo, se houver volume suficiente a ser processado nas mesmas.

As MRFs mistas parecem se mostrar vantajosas para os casos em que se dispõe de grandes quantidades de resíduos – recicláveis inclusive –, e onde as condições climáticas não propiciam a contaminação cruzada, situação particularmente difícil no Brasil, tendo em vista o clima predominantemente tropical. Dessa forma, as MRFs mistas não devem ser vistas como a principal opção para se processar os resíduos recicláveis no Brasil, mas sim como medida complementar, caso o volume de recicláveis na coleta convencional se justifique, e se houver tratamento mecânico biológico da fração orgânica.

De nada adianta, contudo, investir em sistemas de coleta seletiva e instalações de triagem, se a população não separar os resíduos recicláveis, e se a quantidade de material coletada não for suficientemente elevada para garantir a sua comercialização. Por esses

motivos, deve se trabalhar na educação ambiental da população, bem como investir em mecanismos de informação que orientem os indivíduos a descartar seus resíduos corretamente. Além disso, ao se planejar sistemas de coleta e triagem, é importante levar em consideração a composição gravimétrica dos RSU de determinada região, bem como as exigências do mercado quanto à comercialização dos materiais recicláveis. Em outras palavras, a definição do sistema de coleta e triagem mais adequado deve considerar desde as características dos resíduos, até as expectativas do mercado que adquirirá os resíduos, de forma a evitar, por exemplo, que um grande volume de material seja processado sem que haja mercado para consumi-lo e, apesar de todos os investimentos, estes sejam encaminhados a aterros.

Por fim, para que o mercado de reciclagem do vidro cresça, é preciso que os fabricantes de embalagens de vidro reintroduzam a matéria-prima secundária em seus processos produtivos, e que hajam políticas que incentivem o uso de material reciclável pela indústria.

## CONCLUSÕES

As diferentes alternativas de sistemas de coleta voltadas para a recuperação de resíduos recicláveis apresentam vantagens e desvantagens que devem ser analisadas em função das características dos resíduos, da configuração da região onde será efetuada a coleta, da participação da população, dentre outros aspectos. Embora não se possa indicar o melhor sistema de coleta para os resíduos de embalagens de vidro, a coleta desse material em fração única parece ser a mais adequada por diversas razões. Uma delas é o fato do vidro ser um material perfurocortante, que causa inúmeros acidentes aos responsáveis pela coleta. Vale ressaltar ainda que, no Brasil, as políticas públicas incentivam que a triagem dos resíduos recicláveis seja realizada pelas organizações de catadores, as quais, em sua maioria, o fazem manualmente, estando esse grupo também suscetível à acidentes.

Outro ponto a ser destacado, diz respeito à contaminação dos demais recicláveis pelo vidro, mais especificamente, pela quebra do mesmo, a qual, em alguns casos, inviabiliza a triagem e a reciclagem desses materiais, sendo esse, inclusive, um dos motivos pelo qual o uso de caminhões compactadores – que permitiria consolidar um maior volume de material reciclável por viagem e reduzir os custos da coleta – não é aconselhado para a coleta seletiva. Caso o vidro fosse coletado separadamente, o emprego desse tipo de veículo poderia ser considerado. Ressalta-se, contudo, que os efeitos da compactação na coleta seletiva, em um cenário onde os resíduos de vidro não estão incluídos, precisa ainda ser analisada. Essa, aliás, é uma questão que pode ser abordada em pesquisas futuras, assim como a análise do índice de contaminação cruzada nos sistemas de coleta seletiva dos municípios brasileiros, e a investigação das causas que levam as MRFs a operar com níveis elevados de rejeitos.

Como o vidro é um material de baixo valor no mercado, a consolidação de volumes desse material é muito importante. Ao se coletar embalagens de vidro em fração única, se evita que perdas desse material venham a ocorrer, devido à mistura do caco com outros materiais. A coleta em fração única também é benéfica quando se considera a triagem automatizada, pois, reduz-se os investimentos com equipamentos para triagem do vidro, os quais são responsáveis, em grande parte, pelo consumo de energia nas MRFs.

Quanto aos pontos de coleta, uma combinação de sistemas de coleta, tais como porta a porta, PEV, e centros de coleta, pode ser vantajosa para se atingir índices mais altos de coleta e reciclagem, sendo as coletas do tipo *bring* as mais indicadas para se reduzir os custos com essa operação. Um esforço maior deve ser feito em relação à educação ambiental da população nesses casos, para que uma participação ativa seja verificada. Deve se ter em mente, contudo, que tanto a educação ambiental quanto a comunicação junto à população são primordiais para qualquer sistema de coleta seletiva que se venha adotar, seja para desviar a maior quantidade de resíduos do aterro, ou para que a população descarte os recicláveis adequadamente, evitando assim, que materiais que não venham a ser reciclados sejam dispostos junta à coleta seletiva, que é mais cara.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABIVIDRO - ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS AUTOMÁTICAS DE VIDRO. **Guia reciclagem do vidro. 100% puro. 100% reciclável.** 2015.
2. ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2012.** 2013.
3. BARRERA, M. M. M.; CRUZ-MEJIA, O. Reverse logistics of recovery and recycling of non-returnable beverage containers in the brewery industry: A “profitable visit” algorithm. **International Journal of Physical Distribution and Logistics Management**, v. 44, n. 7, p. 577–596, 2014.
4. BERLIN (Senate Department for Urban Development and the Environment Communication). **Municipal waste management in Berlin.** 2013.

5. BING, X. et al. Research challenges in municipal solid waste logistics management. **Waste Management**, v. 48, p. 584–592, 2016.
6. BOGH, M. B.; MIKKELSEN, H.; WÖHLK, S. Collection of recyclables from cubes - A case study. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 48, n. 2, p. 127–134, 2014.
7. BRASIL. **Lei n. 12.305, de 02 de janeiro de 2010**. Brasília: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências, 2010.
8. BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos - 2016**. Brasília, 2018.
9. BRUXELLES-PROPRETÉ. Glass waste, 2018. Disponível em: <<https://www.arp-gan.be/en/tripro/17-glass-waste.html>>. Acesso em: 18 mar. 2018.
10. CAMPOS, H. K. T. **Resíduos sólidos e sustentabilidade: o papel das instalações de recuperação**. 2013. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, 2013.
11. CAMPOS, H. K. T. Recycling in Brazil: Challenges and prospects. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 85, p. 130–138, 2014.
12. CASTILHOS JUNIOR, A. B.; et al. Catadores de materiais recicláveis: análise das condições de trabalho e infraestrutura operacional no Sul, Sudeste e Nordeste do Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 18, n. 11, p. 3115–3124, 2013.
13. CAVALCANTE, L. P. S.; SILVA, M. M. P. Influência da organização de catadores de materiais recicláveis em associação para a melhoria da saúde e minimização de impactos socioambientais, p. 1–13, 2015.
14. CEMPRES - COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Guia da coleta seletiva de lixo**, 2014.
15. CHAUMONT-GISTOUX. Collecte des sacs bleus/papiers-cartons/verre. Disponível em: <<http://www.chaumont-gistoux.be/votre-commune/services-administratifs/environnement-espaces-verts-mobilite/collecte-des-sacs-bleus-papier-cartons-verre>>. Acesso em: 17 mar. 2018.
16. 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.
17. COLLINS, S. Common theme. **Resource Recycling**, p. 14–16, 2012.
18. COMCAP - AUTARQUIA DE MELHORAMENTOS DA CAPITAL COMCAP. **Projeto coleta seletiva vidro**. 2013.
19. COMCAP - AUTARQUIA DE MELHORAMENTOS DA CAPITAL COMCAP. Com doações, coleta de vidro cobrirá toda a cidade, 2015. Disponível em: <<http://www.pmf.sc.gov.br/noticias/index.php?pagina=notpagina&noti=15230>>. Acesso em: 19 mar. 2017.
20. COMCAP - AUTARQUIA DE MELHORAMENTOS DA CAPITAL COMCAP. Acidentes de trabalho diminuem em 2016, mas perdas ainda são altas, 2017. Disponível em: <<http://www.pmf.sc.gov.br/noticias/index.php?pagina=notpagina&noti=18262>>. Acesso em: 01 mai. 2018.
21. CRI - CONTAINER RECYCLING INSTITUTE. **Understanding economic and environmental impacts of single-stream collection systems**. 2009.
22. D'ANTONIO, S. How Ljubljana turned itself into Europe's "green capital", 2016. Disponível em: <<http://citiscopes.org/story/2016/how-ljubljana-turned-itself-europes-green-capital>>. Acesso em: 17 mar. 2018.
23. DAHLÉN, L. et al. Comparison of different collection systems for sorted household waste in Sweden. **Waste Management**, v. 27, n. 10, p. 1298–1305, 2007.
24. DER GRÜNE PUNKT. Packaging – the route to recycling, 2007. Disponível em: <[https://www.gruener-punkt.de/en/communication/picture-database/picture-details.html?tx\\_dsdmediathek\\_pi1%5Bimg%5D=56&cHash=36747c761c96618a1f61d0682c9dc35f](https://www.gruener-punkt.de/en/communication/picture-database/picture-details.html?tx_dsdmediathek_pi1%5Bimg%5D=56&cHash=36747c761c96618a1f61d0682c9dc35f)>. Acesso em: 6 mar. 2018.
25. DIAS, N.; MÁXIMO, A.; BELO, N.; CARVALHO, M. T. Packaging glass contained in the heavy residual fraction refused by Portuguese Mechanical and Biological Treatment plants. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 85, p. 98–105, 2014.

26. EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. How do I recycle common recyclables, 2017. Disponível em: <<https://www.epa.gov/recycle/how-do-i-recycle-common-recyclables#gla>>. Acesso em: 16 mar. 2017.
27. EUROPEAN COMMISSION. **Assessment of separate collection schemes in the 28 capitals of the EU**. Brussels, 2015.
28. EUROPEAN UNION. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council. of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives, 2008.
29. FEO, G.; POLITO, A. R. Using economic benefits for recycling in a separate collection centre managed as a “reverse supermarket”: A sociological survey. **Waste Management**, v. 38, p. 12–21, 2015.
30. FERREIRA, J. A.; ANTONIO, L. Aspectos de saúde coletiva e ocupacional associados à gestão dos resíduos sólidos municipais. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 17, n. 3, p. 689–696, 2001.
31. FEVE - THE EUROPEAN CONTAINER GLASS FEDERATION. Glass packaging closed loop recycling up to 74% in the EU, 2016. Disponível em: <<http://feve.org/glass-packaging-closed-loop-recycling-74-eu/>>. Acesso em: 6 mar. 2018.
32. FEVE - THE EUROPEAN CONTAINER GLASS FEDERATION. EU glass packaging closed loop recycling steady at 74 percent, 2018. Disponível em: <<http://feve.org/recyclingstats2018/>>. Acesso em: 28 abr. 2018.
33. FLORIANÓPOLIS (Prefeitura). **Plano Municipal de Coleta Seletiva**. 2016.
34. GOMES, I. V. S. et al. Planning the reverse logistic for recyclable solid waste by a mathematical model and a simulated annealing metaheuristic. **International Journal of Logistics Systems and Management**, v. 26, n. 2, p. 181, 2017.
35. GONZÁLEZ-TORRE, P. L.; ADENSO-DÍAZ, B. A model for the reallocation of recycling containers: Application to the case of glass. **Waste Management and Research**, v. 20, n. 5, p. 398–406, 2002.
36. GPI - GLASS PACKAGING INSTITUTE. **Achieving 50% recycled content for glass containers: efforts, challenges, and opportunities ahead for the North American Glass Container Industry**. 2014.
37. GUTBERLET, J. Cooperative urban mining in Brazil: Collective practices in selective household waste collection and recycling. **Waste Management**, v. 45, p. 22–31, 2015.
38. IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos: Relatório de pesquisa**. 2012.
39. JAHRE, M. Household waste collection as a reverse channel: A theoretical perspective. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 25, n. 2, p. 39–55, 1995.
40. LAKHAN, C. A Comparison of single and multi-stream recycling systems in Ontario, Canada. **Resources**, v. 4, n. 4, p. 384–397, 2015.
41. LAMPERT, A. Logística reversa é desafio em regiões distantes dos grandes centros, 2016. Disponível em: <<http://www.abividro.org.br/noticias/logistica-reversa-e-desafio-em-regioes-distantes-dos-grandes-centros>>. Acesso em: 02 nov. 2017.
42. LARSEN, A. W.; MERRILD, H.; CHRISTENSEN, T. H. Recycling of glass: Accounting of greenhouse gases and global warming contributions. **Waste Management and Research**, v. 27, n. 8, p. 754–762, 2009.
43. LINO, F. A. M. **Consumo de energia no transporte da coleta seletiva de resíduo sólido domiciliar no município de Campinas (SP)**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.
44. LOUGHLIN, D. H.; BARLAZ, M. A. Policies for strengthening markets for recyclables: A worldwide perspective. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 36, n. 4, p. 287–326, 2006.
45. MACDONALD, D.; VOPNI, P. Policy barriers to 50% diversion of municipal solid waste. **Waste Management and Research**, v. 12, n. 3, p. 257–270, 1994.
46. MIRANDA, R.; CONCEPCION MONTE, M.; BLANCO, A. Impact of increased collection rates and the use of commingled collection systems on the quality of recovered paper. Part 1: Increased collection rates. **Waste Management**, v. 31, n. 11, p. 2208–2216, 2011.



47. MIRANDA, R.; MONTE, M. C.; BLANCO, A. Analysis of the quality of the recovered paper from commingled collection systems. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 72, p. 60–66, 2013.
48. MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Resíduos de plástico, papel, papelão, papel metalizado, vidro e metal, 2010. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/destaques/item/9411>>. Acesso em: 05 nov. 2017.
49. MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Acordo setorial para implantação do sistema de logística reversa de embalagens em geral**. 2015.
50. PEREIRA, B. C. J.; GOES, F. L. (Org.). **Catadores de materiais recicláveis: um encontro nacional**. Rio de Janeiro: Ipea, 2016.
51. PINTO-COELHO, R. M. Produção, consumo e reciclagem de vidro no Brasil. In: **Reciclagem e desenvolvimento sustentável no Brasil**. 1. ed. Belo Horizonte: Recóleo, 2009.
52. POHLEN, T. L.; FARRIS, M. T. Reverse logistics in plastics recycling. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 22, n. 7, p. 35–47, 1992.
53. PRESSLEY, P. N. et al. Analysis of material recovery facilities for use in life-cycle assessment. **Waste Management**, v. 35, p. 307–317, 2015.
54. ROSA, S. E. S.; COSENZA, J. P.; BARROSO, D. V. Considerações sobre a indústria do vidro no Brasil. **BNDES Setorial**, p. 101–138, 2007.
55. RUTKOWSKI, J. E.; RUTKOWSKI, E. W. Expanding worldwide urban solid waste recycling: The Brazilian social technology in waste pickers inclusion. **Waste Management and Research**, v. 33, n. 12, p. 1084–1093, 2015.
56. SÃO PAULO (Prefeitura). Centrais mecanizadas de triagem. O que são? Como funcionam? 2014. Disponível em: <<http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/inovacao/noticias/?p=174208>>. Acesso em: 02 mai. 2018.
57. SÃO PAULO (Prefeitura). **Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da cidade de São Paulo**. 2014.
58. SEURING, S. et al. Conducting a literature review-The example of sustainability in supply chains. **Research Methodologies in Supply Chain Management**, p. 91–106, 2005.
59. SF ENVIRONMENT. Zero Waste - Frequently Asked Questions (FAQs), 2017. Disponível em: <<https://sfenvironment.org/zero-waste-faqs#fantastic-three>>. Acesso em: 16 mar. 2018.
60. TESTA, M.; MALANDRINO, O.; SESSA, M. R.; SUPINO, S.; SICA, D. Long-term sustainability from the perspective of cullet recycling in the container glass industry: Evidence from Italy. **Sustainability (Switzerland)**, v. 9, n. 10, 2017.
61. TOSO, E. A. V.; ALEM, D. Effective location models for sorting recyclables in public management. **European Journal of Operational Research**, v. 234, n. 3, p. 839–860, 2014.
62. WEE, B. V.; BANISTER, D. How to write a literature review paper? **Transport Reviews**, v. 36, n. 2, p. 278–288, 2016.
63. XAVIER, L. H.; CORRÊA, H. L. **Sistemas de logística reversa: criando cadeias de suprimento sustentáveis**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2013.