

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

EFETIVIDADE DA COLETA SELETIVA COMO ESTRATÉGIA DE REDUÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES A SEREM DISPOSTOS EM ATERROS SANITÁRIOS

* Mariana Moreira de Oliveira ¹
Gilson Barbosa Athayde Júnior ¹
Rémy Bayard ²
Joácio de Araújo Morais Júnior ¹

EFFECTIVENESS OF SELECTIVE COLLECTION AS A STRATEGY FOR REDUCING HOUSEHOLD SOLID WASTE TO BE DISPOSED IN LANDFILLS

Recibido el 24 de enero de 2023. Aceptado el 13 de marzo de 2023

Abstract

Given the amount of household solid waste (HSW) generated and the impacts associated with its management, this study aimed to measure the effectiveness of the selective collection of the dry fraction of household solid waste (DFHSW) in reducing the HSW to be disposed of in landfills as well as the benefits of this activity. For this, the following parameters were analyzed: the rate of separation of the selective collection (Rsc), the efficiency of the selective collection (Efsc), the index of recovery of the selective collection (IRsc), the index of potential recovery of the selective collection (IRpsc) and the index of participation in selective collection (IPcs). The main difficulties for carrying out the selective collection were also determined. For DFHSW, a Rsc of 19%, an Efsc of 87%, an IRsc of 17% and an IRpsc of 21% were observed. The main obstacle pointed out by residents (40%) was the difficulty in changing their own habits and those of others. It was observed that the implementation of selective collection represented a reduction of 18% (actual scenario) to 21% (potential scenario) of HSW sent to landfills. This situation would save 78% of the amount of energy that would be consumed to produce the same amount of virgin material, would avoid the emission of around 99% of greenhouse gases and would correspond to a gain of R\$ 18.5 per R\$ 22.8 per resident. Even with observed benefits, it was verified that the implementation of selective collection in vertical residential condominiums faces operational and infrastructure difficulties, requiring the collaboration of actors related to waste management.

Keywords: gravimetric composition, avoided energy, avoided greenhouse gases.

¹ Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, Brasil.

² Laboratoire Déchets Eaux Environnement Pollutions-DEEP, Institut National des Sciences Appliquées, França.

* *Autor correspondente:* Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba. Campus I Loteamento Cidade Universitária – Castelo Branco, João Pessoa, Paraíba, 58051-900. Brasil. Email: marianamoreiraa@hotmail.com

Resumo

Diante da quantidade de resíduos sólidos domiciliares (RSD) gerados e dos impactos associados à sua gestão, o presente trabalho objetivou mensurar a efetividade da coleta seletiva da fração seca dos resíduos sólidos domiciliares (FSRSD) na redução dos RSD a serem dispostos em aterros sanitários, bem como os benefícios desta atividade. Para isso foram analisados os seguintes parâmetros: a taxa de separação da coleta seletiva (Txcs), a eficiência da coleta seletiva (Efcs), o índice de recuperação da coleta seletiva (IRcs), o índice de recuperação potencial da coleta seletiva (IRpcs) e o índice de participação da coleta seletiva (IPcs). Também foram determinadas as principais dificuldades para a realização da coleta seletiva. Para a FSRSD, foi observado uma Txcs de 19%, uma Efcs 87%, um IRcs de 17% e um IRpcs de 21%. O principal entrave apontado pelos moradores (40%) foi a dificuldade em mudar os hábitos próprios e dos demais. Observou-se que a implantação da coleta seletiva representou uma redução de 18% (cenário real) a 21% (cenário potencial) do RSD encaminhado ao aterro sanitário. Essa situação economizaria 78% da quantidade de energia que seria consumida para a produção da mesma quantidade de material virgem, evitar-se-ia a emissão de cerca de 99% dos gases de efeito estufa e corresponderiam a um ganho de R\$ 18.5 a R\$ 22.8 por morador. Mesmo com benefícios observados, verificou-se que a implantação da coleta seletiva em condomínios residenciais verticais enfrenta dificuldades operacionais e de infraestrutura, necessitando a colaboração dos atores relacionados à gestão de resíduos.

Palavras-chave: composição gravimétrica, energia evitada, gases de efeito estufa evitados.

Introdução

A geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil vem aumentando ao longo dos anos. Estima-se que no ano de 2020 foram geradas mais de 82 milhões de toneladas de RSU (Abrelpe, 2021). Dentre os RSU, há os resíduos sólidos domiciliares (RSD), oriundos das atividades domésticas em residências urbanas, compostos por restos de refeições, resíduos de jardim, papel, vidro, alumínio e outros. Conforme o SNIS (2020), no Brasil, os RSD representam, em média, 76% do total dos RSU.

Diante da elevada quantidade de resíduos produzidos diariamente, medidas que reduzam o impacto poluidor dos mesmos no meio ambiente devem ser adotadas na sua gestão. A Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) estabelece uma hierarquia de ações a serem seguidas na gestão desses resíduos: “não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos” (Brasil, 2010a, p.03). Logo, percebe-se que para aqueles resíduos inevitavelmente gerados, tem-se que a reciclagem é uma etapa prioritária. O Decreto nº 7404/10, que regulamenta a PNRS, afirma que a implantação do sistema de coleta seletiva é um instrumento fundamental para o atingimento da meta de disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (Brasil, 2010b).

Apesar de fundamental, a abrangência da coleta seletiva ainda é baixa no Brasil. Estudos distintos apontam que, em 2020, entre 36.3% e 74.4% dos municípios brasileiros possuíam alguma iniciativa de coleta seletiva (Abrelpe, 2021; SNIS, 2021), que significa que esse tipo de coleta não atende à totalidade da população da localidade.

Nas cidades de médio e grande porte, o crescimento e urbanização estão associados ao aumento da verticalização das mesmas, uma vez que a demanda espaço urbano para habitações, serviços e equipamentos para atender a população são limitados (Bringhenti *et al.*, 2019). De acordo com a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD), o Brasil apresentou um crescimento de 228% na quantidade de apartamentos, entre os anos de 2001 e 2019, apresentando ao total mais de 10 milhões de apartamentos no país, em 2019 (Ibge, 2001; 2019). O cenário de verticalização, uma vez planejada, moderada e regulamentada permite a construção de cidades mais compactas, eficientes e sustentáveis, uma vez que requer menores áreas e torna menos onerosa sua rede de infraestrutura e de serviços (Andrade, 2017).

Os condomínios residenciais verticais são áreas que concentram uma maior quantidade de habitantes em uma determinada área superficial. Assim, alguns serviços, a exemplo do gerenciamento dos resíduos devem ser intensificados. Por outro lado, outras atividades, como a coleta seletiva, são facilitadas nessa configuração, visto a possibilidade de coletar uma maior quantidade de resíduos de uma única vez, tornando a atividade mais eficiente e rentável. Essa medida contribui também na redução da sobrecarga no gerenciamento dos resíduos, ao desviar do fluxo da coleta tradicional parte do resíduo gerado.

Mesmo com os benefícios da reciclagem e a maior facilidade de implantação da coleta seletiva em condomínios residenciais, ainda são recuperados baixos percentuais da fração seca de resíduos sólidos domiciliares (FSRSD) nesse tipo de habitação, tais como papel, plástico, papel, vidro, etc. Diferentes aspectos relacionados à implantação da coleta seletiva do RSD em condomínios residenciais verticais presentes na literatura são apresentados na Tabela 1. Percebe-se que há poucos estudos voltados para esse tipo de habitação e, dentre os existentes, não há um detalhamento sobre a quantidade total gerada por tipo de resíduo, taxas de separação dos resíduos e eficiências obtidas na coleta, que são parâmetros que podem orientar e justificar a implantação da coleta seletiva em outros condomínios, ainda que variem conforme a participação da população.

Assim, perante a representatividade dos resíduos produzidos nas residências e da tendência de concentração da população em condomínios verticais, percebe-se que ações voltadas para a gestão dos RSD nesse tipo de habitação são pertinentes. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo mensurar a efetividade da coleta seletiva da FSRSD, desviando tal fração para a reciclagem, na redução dos RSD a serem dispostos em aterros sanitários, bem como mensurar os benefícios desta atividade.

Tabela 1. Características de aspectos relacionados à reciclagem em condomínios

RSD	Curitiba, Paraná, Brasil	João Pessoa, Paraíba, Brasil	Vitória, Espírito Santo, Brasil	São Caetano do Sul, São Paulo, Brasil	Ituiutaba, Minas Gerais, Brasil		
Reciclável (%)	23-36	18.61	27	-	-	30	
Orgânico (%)	64-77 ¹	69.60	58	-	-	70	
Rejeito (%)	-	11.2	15	-	-	-	
T _g dos resíduos recicláveis (kg.hab ⁻¹ . dia ⁻¹)	-	-	0.062	0.069	0.07	0.088	-
T _s de recicláveis em relação ao resíduo total gerado (%)	-	7.5	-	6.53	6.8	13.7	20
T _s de recicláveis em relação ao resíduo potencialmente reciclável (%)	-	-	40.49 - 56.63	19.93	25.9	-	-
T _s de orgânico em relação ao resíduo total gerado (%)	-	-	-	-	-	-	47
Taxa de rejeito da coleta seletiva (%)	-	-	-	10,9 -18.1	18.1	-	33
Fonte	Silva e Rodrigues (2011)	Luna <i>et al.</i> (2010)	Guedes e Athayde (2021)	Bassani (2011)	Bringhenti <i>et al.</i> (2019)	Pinto e Mondelli (2017)	Fehr (2014)

¹Orgânico e rejeito; T_g – taxa de geração; T_s – taxa de separação

Metodologia

Caracterização da área de estudo

A fim de separar a FRSRD a ser encaminhada para reciclagem foi implantada a coleta seletiva em um condomínio residencial vertical localizado no município de João Pessoa, Paraíba-Brasil.

O condomínio mencionado possui 28 apartamentos (5 desocupados) e durante o período de estudo, apresentava população média de 68 habitantes. Aproximadamente 71% dos moradores possuíam renda média domiciliar de R\$ 4000 e 10000, 14% com renda média domiciliar entre R\$10000 e 20000 e os 14% restantes optaram por não informar sua renda. A média da renda domiciliar foi de R\$ 8318 e *per capita* de R\$ 3425, que conforme as classes de rendimento mensal domiciliar presente na PNAD, é considerado classe C na qual os domicílios possuem de 5 a 10 salários mínimos (IBGE, 2015).

Composição gravimétrica dos RSD e palestra de sensibilização

Anteriormente à implantação da coleta seletiva, foi realizada a caracterização gravimétrica dos RSD produzidos no condomínio, objetivando conhecer o percentual dos resíduos secos recicláveis.

A caracterização foi realizada em três ocasiões (17, 18 e 24 de novembro de 2020). Para isto foram separados aleatoriamente sacos plásticos de cada andar do condomínio, contendo resíduos de diversos apartamentos, que representaram de 26% do total gerado, totalizando 24.86 kg. Em seguida, foi realizada a separação manual dos resíduos nas mesmas classes utilizadas por Seixas *et al.* (2006): matéria orgânica, plástico filme, papel, vidro, plástico rígido (exceto PET), PET, papelão, metais ferrosos, trapo, embalagem longa-vida, alumínio, madeira e outros.

Também anteriormente à implantação da coleta seletiva, foi realizada uma palestra de sensibilização sobre os benefícios da realização dessa atividade e os materiais que deveriam ser destinados em cada coletor.

Coleta seletiva

O condomínio optou pela separação do RSD em dois fluxos: FSRSD e uma fração úmida, composta pela fração orgânica e rejeito. A FSRSD foi coletada por uma associação de material reciclável e a fração úmida pela coleta convencional, cujo destino final é o aterro sanitário do município. Em seguida, foram afixados informativos, a cada 15 dias, sobre o desempenho da coleta, durante 6 meses.

Análise da coleta seletiva

Nessa etapa foram determinados alguns parâmetros (Oliveira, 2022, Gallardo *et al.*, 2021). A taxa de separação da coleta seletiva ($T_{X_{CS}}$), definida como a quantidade de resíduo destinado em cada coletor, foi calculada por meio da Equação (1), com os dados da pesagem do RSD por 57 dias. O valor da $T_{X_{CS}}$ em percentual foi obtido pela razão entre massa de RSD separada no coletor i e o total de RSD gerado.

$$T_{X_{CS}} = \frac{ms_i}{h * n}$$

Equação (1)

Onde

$T_{X_{CS}}$ = taxa de separação da coleta seletiva ($\text{kg} \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$);

ms_i = massa de RSD separada no coletor i (kg);

i = resíduo coletado no coletor seco ou úmido;

h = número de moradores (hab);

n = número de dias.

A fim de determinar o percentual de material separado adequadamente em cada coletor, foi determinado a eficiência da coleta seletiva ($E_{f_{CS}}$), calculado pela Equação (2) com os dados das pesagens de 8 dias dentre os 57 mencionados.

$$Ef_{cs} (\%) = \frac{ma_i}{ms_i} \times 100$$

Equação (2)

Onde

Ef_{cs} = eficiência da coleta seletiva (%);ma_i = massa de RSD separada adequadamente no coletor i (kg);ms_i = massa de RSD separada no coletor i (kg);

i = resíduo coletado no coletor seco ou úmido.

Outro índice analisado foi o Índice de Recuperação da coleta seletiva (IR_{cs}) que representa a massa efetivamente separada, ou seja, a quantidade de material que deixou de ser enviado ao aterro sanitário em relação ao total gerado, observado na Equação (3).

$$IR_{cs} = Tx_{cs} * Ef_{cs}$$

Equação (3)

Onde

IR_{cs} = Índice de Recuperação da coleta seletiva (%)Tx_{cs} = taxa de separação da coleta seletiva (%);Ef_{cs} = eficiência da coleta seletiva (%).

Índice semelhante é o Índice de Recuperação potencial da coleta seletiva (IRp_{cs}), que representa a quantidade da FSRSD reciclável potencial a ser separada, com base nas pesagens da coleta seletiva, obtido por meio da soma da FSRSD destinada corretamente no coletor seco e a FSRSD presente inadequadamente no resíduo úmido (Equação (4)).

$$IRp_{cs} = \frac{mp_{FSRSD}}{m_{RSD}} * 100$$

Equação (4)

Onde

IRp_{cs} = índice de recuperação potencial da coleta seletiva (%);mp_{FSRSD} = massa da FSRSD potencialmente separada (kg);m_{RSD} = massa de RSD gerada (kg).

Foi analisado também o Índice de Participação da coleta seletiva (IP_{cs}), calculado pela Equação (5), objetivando determinar a quantidade da FSRSD efetivamente desviado do fluxo dos resíduos por meio da coleta seletiva em relação aos resíduos secos potencialmente recicláveis.

$$IP_{cs} = \frac{me_{FSRSD}}{mp_{FSRSD}} * 100$$

Equação (5)

Onde

IP_{cs} = índice de participação da coleta seletiva (%);me_{FSRSD} = massa da FSRSD efetivamente separada (kg);mp_{FSRSD} = massa da FSRSD potencialmente separada (kg).

Após a implantação da coleta seletiva os moradores foram questionados, por meio de um questionário, sobre quais as principais dificuldades enfrentadas por eles na implantação da mesma.

Cenários de coleta da FSRSD

Nesta etapa foi estimada a quantidade de RSD que deixou/deixaria de ser encaminhada para o aterro sanitário e foi recuperada na coleta seletiva e destinada para uma associação de materiais recicláveis. Também foram estimados alguns benefícios da reciclagem da fração separada.

Foram avaliados dois cenários, o cenário potencial, no qual foi considerado o aproveitamento da totalidade da FSRSD separada, e o cenário real, que incluiu parâmetros de eficiência da separação dos resíduos (Tx_{cs} e Ef_{cs}) do coletor seco, assim como dos índices (IR_{cs} , IRp_{cs} e IP_{cs}).

Estimativas para massa da FSRSD

A estimativa da FSRSD, igual nos cenários I e II, foi realizada por meio da Equação (6). O IP_{cs} foi de 100% no cenário potencial e igual ao obtido na presente pesquisa, no cenário real.

$$m_{FSRSD} = m_{RSD} * p_{FSRSD} * IP_{cs} \quad \text{Equação (6)}$$

Onde

m_{FSRSD} = massa da FSRSD (ton.ano^{-1});

m_{RSD} = massa de RSD gerada (ton.ano^{-1});

p_{FSRSD} = percentual da FSRSD em relação ao RSD (%);

IP_{cs} = índice de participação da coleta seletiva (%).

A determinação do RSD por tipo de material seco foi realizado por meio da Equação (7).

$$m_x = m_{FSRSD} * p_x \quad \text{Equação (7)}$$

Onde

m_x = massa de RSD por tipo de material x (ton.ano^{-1});

x = tipo de material da FSRSD;

m_{FSRSD} = massa da FSRSD (ton.ano^{-1});

p_x = percentual do material x (%).

Receita da venda da FSRSD

Os benefícios econômicos com venda da FSRSD foram determinados pela Equação (8).

$$V_x = m_x * pc_x \quad \text{Equação (8)}$$

Onde

V_x = valorização de x com a comercialização do material (R\$);

x = tipo de material da FSRSD;

m_x = massa de RSD por tipo de material x (kg);

pc_x = preço do material x ($\text{R}\$.kg^{-1}$)

Os valores de venda (setembro/2021) foram fornecidos pela associação responsável pela coleta do material seco reciclável (Tabela 2), que realizam a comercialização do material coletado.

Tabela 2. Valor da FSRSD comercializada pela associação (Setembro/2021)

Material	Valor (R\$.kg ⁻¹)
Plástico filme	1.05
Papel	0.225
Vidro	0.10
Plástico rígido (exceto PET)	2.00
Papelão	0.90
Metais ferrosos	0.80
Embalagem longa-vida	0.20
PET	2.40
Alumínio	5.50

Fonte: Valores fornecidos pela associação de catadores de material reciclável.

Gases de efeito estufa (GEE) e gasto de energia evitados devido à reciclagem

A estimativa da quantidade de GEE e da energia evitados devido à reciclagem dos materiais foi estimada pela metodologia presente em Ayodele *et al.* (2018).

Resultados e discussões

Composição gravimétrica do RSD

A maioria dos resíduos é composta por matéria orgânica, com média de 60%. Outros 15% representam a FSRSD e aproximadamente 25% são rejeitos (Tabela 3). Luna *et al.* (2010) e Guedes e Athayde Júnior (2021), que também abordaram os RSD, obtiveram, respectivamente, um percentual de 18.6% e 26.59% para essa fração, superior ao encontrado no presente trabalho.

Tabela 3. Composição dos RSD – FSRSD, orgânica e rejeito.

RSD	Quantitativo (%)
FSRSD	15
Fração orgânica	60
Rejeito	25

Na Figura 1 é apresentada a distribuição da composição gravimétrica do RSD no condomínio por tipo de material.

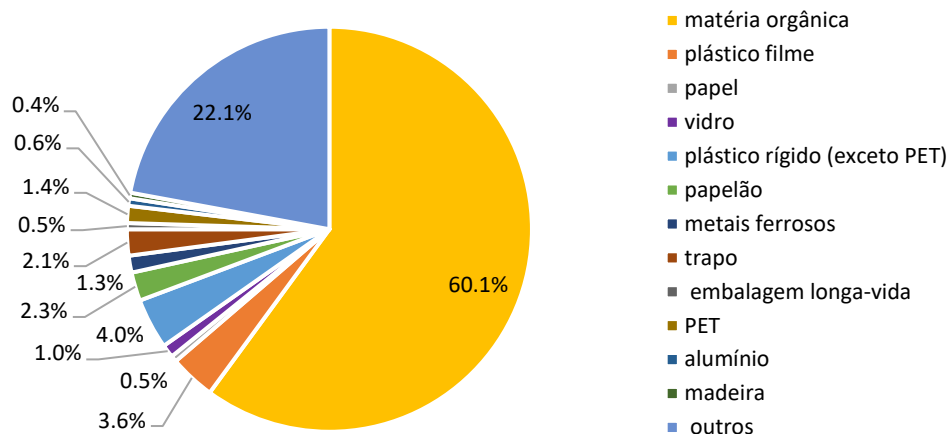


Figura 1. Composição da FSRSD do condomínio.

Dentre a FSRSD, o plástico é o material presente em maior quantidade, aproximadamente 26% é composto por plásticos rígidos (exceto PET) e 24% por plásticos filmes (Figura 2). Outros materiais predominantes são o papelão (15%), o PET (9%) e os metais ferrosos (9%).

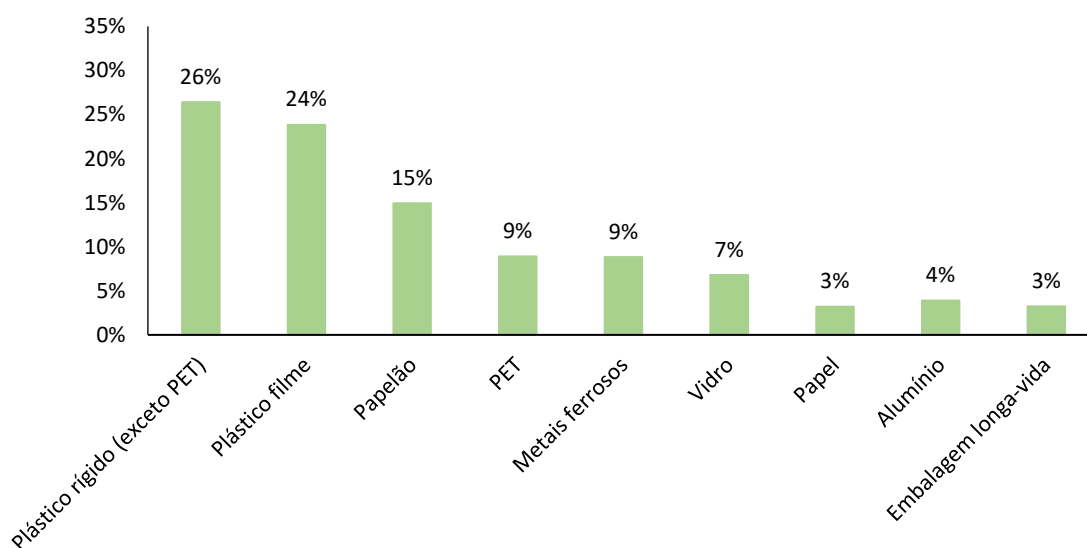


Figura 2. Composição da FSRSD do condomínio.

Coleta seletiva

Quantidade de material separado

Com a implantação da coleta seletiva no condomínio, uma média de 19% dos resíduos foi destinada no coletor seco e 81% no coletor úmido (Figura 3). Luna *et al.* (2010) encontraram percentuais bastantes inferiores: cerca de 7.5% destinados no coletor seco. O percentual médio da FSRSD destinado no coletor seco foi superior ao valor determinado na composição gravimétrica para essa fração (15%). Essa situação sugere a presença de outros tipos de resíduos, destinados inadequadamente no coletor seco, indicando que ainda havia dúvidas sobre a destinação de alguns materiais.

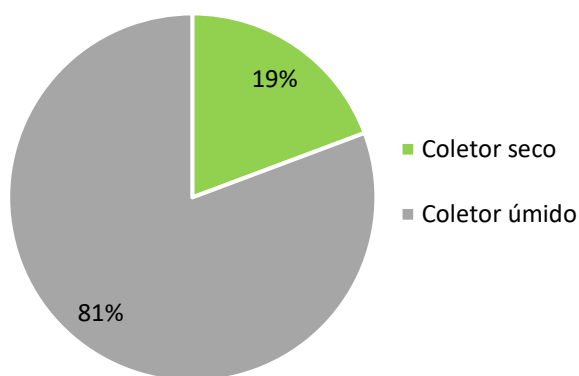


Figura 3. Taxa de separação da coleta seletiva ($T_{x_{cs}}$)

De acordo com o material separado, foi obtida uma taxa de separação da FSRSD de $0.09 \text{ kg.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ e de $0.36 \text{ kg.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ para a fração úmida. O valor *per capita* médio da FSRSD foi semelhante ao obtido em Pinto e Mondelli (2017) de $0.088 \text{ kg.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ e ligeiramente superior ao encontrado por Bassani (2011), de $0.07 \text{ kg.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ e Guedes e Athayde Júnior (2021) de $0.062 \text{ kg.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ após a coleta seletiva e $0.055 \text{ kg.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ após educação ambiental.

Eficiência da coleta seletiva

Observou-se uma destinação inadequada aproximada de 13% dos resíduos no coletor seco, tais como material isopor, restos de comida e material higiênico (Figura 4). Por outro lado, verificou-se que o percentual de material destinado inadequadamente no coletor úmido é de apenas 5%. O menor valor pode estar relacionado ao peso específico dos materiais da FSRSD, que são mais leves que o material úmido.

Esses valores demonstram que boa parte do condomínio está realizando a separação dos resíduos, mas ainda há moradores que não estão participando, visto que foram observados materiais como resíduos higiênicos e restos de alimentos no coletor seco, que são materiais usualmente conhecidos como materiais não recicláveis. Paralelamente, foram observadas garrafas PET e outros tipos de plásticos depositados inadequadamente no coletor úmido. Esses, contudo, podem refletir a falta de interesse em participar da coleta seletiva.

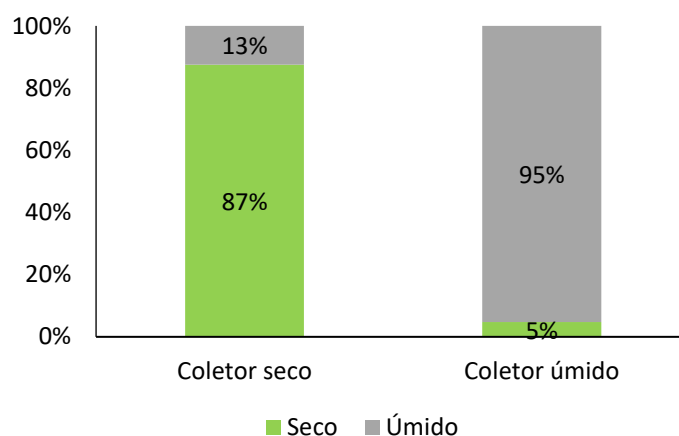


Figura 4. Eficiência da coleta seletiva (Ef_{cs}).

Gallardo *et al.* (2018) obtiveram elevados valores de destinação adequada de embalagens leves, tais como, plásticos, metais e embalagem cartonada, de 83.6% e 85.6% em dois períodos analisados. No estudo mencionado, realizado em Castellon (Espanha), os moradores se dirigiam aos coletores existentes nas proximidades de sua residência para destinar tais embalagens. Ao comparar com o percentual da presente pesquisa (87%), observa-se a elevada eficiência obtida, visto que no estudo realizado na Espanha a população se dirigia voluntariamente aos pontos de coleta, indicando a motivação para participar da separação, enquanto que no presente estudo todos os moradores tinham que descartar seus resíduos nos coletores dos condomínios, incluindo aqueles que não estavam completamente motivados.

Outro indicador obtido por meio dos resíduos recuperados pela coleta seletiva foi o IR_{cs} de 17%, que representa o quantitativo de RSD gerado que teoricamente não foi encaminhado ao aterro sanitário. O valor encontrado foi superior ao apresentado por Bassani (2011) e Bringhenti *et al.* (2019), cujos percentuais mais elevados foram de 9.7% e 9.9%, respectivamente. Conforme a classificação da Funasa (2010) esse índice pode ser considerado alto, ao passo que foi superior a 11%.

Se todos os resíduos secos recicláveis fossem recuperados (IRpcs), aproximadamente 21% do RSD do condomínio não seria encaminhado ao aterro sanitário. Esse valor foi superior ao determinado na etapa de caracterização dos RSD (15%). Assim, mesmo tendo sido identificada uma destinação inadequada no coletor seco, constatou-se que foi menor que o esperado.

Obteve-se também o IPCs de 82%, ou seja, dentre os resíduos potencialmente recicláveis esse percentual foi direcionado para a associação de materiais recicláveis por meio da coleta seletiva. O valor obtido demonstra uma elevada participação da população quando comparado com trabalhos realizados em condomínios residenciais verticais da literatura, tais como Pinto e Mondelli (2017), 13.7%, Bassani (2011), 19.68% a 27.98% e média de 19.93% e Bringhenti *et al.* (2019), 16.1% a 35.9% e média de 25.9%. Esses valores podem variar visto que a participação da população atendida pela coleta seletiva é decisória para atingir bons resultados.

A elevada participação dos moradores do condomínio pode estar associada à constante sensibilização e ao menor porte do condomínio, o que facilita a comunicação. A importância da sensibilização e conscientização da população tem sido observada em alguns programas de coleta seletiva (Bringhenti, 2004, Costa *et al.*, 2005; Tronco, 2005). Roustá *et al.* (2015) identificaram que a informação adequada em um sistema de disposição dos coletores da coleta seletiva foi capaz de reduzir em 70% a destinação inadequada. O porte do condomínio também foi abordado em outros trabalhos. Segundo Bassani (2011) e Bringhenti *et al.* (2019) a recuperação de resíduos secos por meio da coleta seletiva reduz com o aumento do número de apartamentos, sugerindo que condomínios mais populosos apresentam mais dificuldades em implementar a coleta seletiva em todos os apartamentos, devido a maior rotatividade de moradores, que não aderem ou demandam mais tempo para aderir à coleta seletiva, ou a pouca divulgação/campanhas de educação ambiental.

O conhecimento de diversos aspectos relacionados à coleta seletiva da FSRSD é de fundamental importância para a gestão dos RSD. A determinação de indicadores da coleta seletiva permite analisar a eficiência da coleta assim como pode auxiliar na implantação desse tipo de coleta em outros condomínios residenciais, quando estabelecidas medidas semelhantes, a exemplo da realização da palestra de sensibilização e continuidade da sensibilização.

Dificuldades para participação na coleta seletiva

A fim de conhecer as principais dificuldades relacionadas à participação dos moradores na coleta seletiva, estes foram questionados (Figura 5) sobre a temática. Dentre os questionários distribuídos por apartamento (23 apartamentos ocupados), 17% responderam (4 apartamentos). O baixo percentual de retorno pode refletir o nível de envolvimento da população com a temática, que apesar de participar da separação dos resíduos, não mostrou interesse em dar um *feedback* das ações realizadas. Ao comparar com a literatura, Pinto e Mondelli (2017), que também

distribuíram questionários sobre a temática dos resíduos sólidos em um condomínio residencial, obtiveram o retorno de apenas 15% do total de apartamentos, abrangendo, contudo, um maior número de apartamentos.

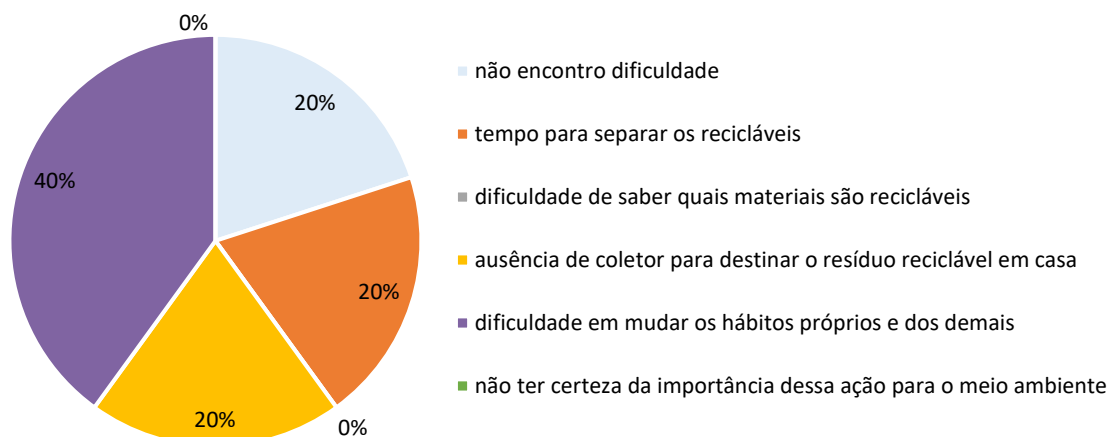


Figura 5. Dificuldades, apontadas pelos moradores, para participar da coleta seletiva.

Todos os respondentes afirmaram estar participando da coleta seletiva, contudo, estes ainda destacaram algumas dificuldades na participação nesse tipo de coleta. Na sondagem de Pinto e Mondelli (2017) todos os respondentes do questionário aplicado também afirmaram participar da coleta seletiva. Este fato é compreensível e sugere que aqueles mais sensibilizados sobre o assunto se mostram disponíveis para participar de pesquisas sobre a temática.

O principal entrave apontado pelos moradores (40%) foi a dificuldade em mudar os hábitos próprios e dos demais. Essa dificuldade também foi mencionada por Luna *et al.* (2010) e na enquete realizada pelo SustentaMundoBR (2021), apontada como a principal dificuldade para implantação da coleta seletiva em condomínios residenciais de João Pessoa. O ato de separar os resíduos requer uma mudança no padrão de consumo e de aspectos culturais, os encaminhando ao consumo e ações sustentáveis. Portanto, a realização dessas medidas nas atividades cotidianas da população é complexa, uma vez que o modelo de desenvolvimento durante muito tempo baseou-se no consumo e desperdício de recursos naturais e energéticos (Azevedo, 2004).

Outro empecilho apontado para participar da coleta seletiva foi o tempo para separar os recicláveis (20%). Esse aspecto também foi mencionado em outros estudos (Bassani e Mota, 2009; Bringhenti e Günther, 2011; Pinto e Mondelli, 2017; SustentaMundoBR, 2021). Portanto, a adoção de processos simplificados de separação de resíduos mostra-se cada vez mais pertinente,

visto o elevado ritmo de trabalho e ocupações na atualidade. Assim, os sistemas de separação por fluxo de resíduos (FSRSD, fração orgânica e rejeito) mostram-se indicados devido à facilidade na separação, resultando em um resíduo adequado para ser destinado ao tratamento/destinação final.

A ausência de coletor para destinar os resíduos recicláveis em casa foi destacada por 20% dos respondentes. Essa situação pode estar relacionada ao menor espaço no interior dos apartamentos (Bassani e Mota, 2009; Luna *et al.*; 2010; Dal Piaz e Ferreira 2011; Bringhenti e Günther, 2011; SustentaMundoBR, 2021). Dessa forma, é interessante incentivar a reutilização de recipientes como coletores da FSRSD, uma vez que esta não produz subprodutos durante seu armazenamento. Pinto e Mondelli (2017) observaram que a ausência de local adequado no apartamento para armazenar os recicláveis foi o item que mais impactou negativamente no aproveitamento desses resíduos. Uma adequada infraestrutura também é apontada como um fator que contribui para a participação na coleta seletiva (Stoeva e Alrikso, 2017; Oliveira e Anacleto, 2019).

Todos os respondentes afirmaram não ter dificuldade em saber quais os materiais são recicláveis. Essa situação está coerente com a eficiência da coleta seletiva no condomínio em questão, com pequena quantidade de materiais destinados inadequadamente nos coletores e com o tipo de material destinado, sugerindo a não participação de alguns moradores e não a dificuldade na separação. Os demais respondentes, 20%, afirmaram não ter dificuldades para participar da coleta seletiva.

Cenários de coleta

A Tabela 4 resume as estimativas para os dois cenários. Observou-se que com a implantação da coleta seletiva no condomínio, que separou a FSRSD, foi possível a coleta de 1.8 t.ano⁻¹ dessa fração, que representou uma redução de 18% (cenário real) dos resíduos encaminhados ao aterro sanitário, quando comparado com a totalidade dos resíduos enviados para essa destinação final sem a separação da FSRSD. No cenário potencial, seriam separados 2.3 t.ano⁻¹ da FSRSD, 21% dos resíduos gerados que seriam encaminhados ao aterro sanitário. Desse modo, considerando o aproveitamento da totalidade da FSRSD, resultante do aumento da eficiência da coleta, haveria um crescimento de 28% da separação dessa fração, assim como uma redução de 4% do rejeito do RSD, ao comparar com o cenário real.

O aproveitamento da FSRSD, por meio a reciclagem, economizaria 2.69 toe (cenário real) e 2.80 toe (cenário potencial), que representam 78% da quantidade de energia que seria consumida para a produção da mesma quantidade de material virgem. Além disso, evitar-se-ia também a emissão de 4636.83 CO₂eq (cenário real) e 5727.84 CO₂eq (cenário potencial), que corresponde a cerca de 99% dos GEE que seriam emitidos nessa situação.

Tabela 4. Estimativas e dados utilizados para os cenários real e potencial

Dados	Cenários	
	Real	Potencial
Taxa de geração de RSD (kg.hab ⁻¹ .dia ⁻¹)	0.434	0.43
População (hab)	68	68
Massa de RSD (t.ano ⁻¹)	10.8	10.8
FSRSD (%)	17% ¹	21% ²
Massa da FSRSD (t.ano ⁻¹)	1.8	2.3
Massa de rejeito (t.ano ⁻¹) ³	8.9	8.5
Energia economizada (toe)	2.69	2.80
Energia economizada (%)	78%	78%
GEE economizado – CO ₂ CH ₄ (CO ₂ eq)	4636.83	5727.84
GEE economizado - CO ₂ CH ₄ (%)	99%	99%

¹Valor do IR_{CS}; ²Valor do IR_{PCS}; ³Calculado pela diferença entre Massa de RSD e Massa da FSRSD

Ademais, outros benefícios seriam observados, como o ganho econômico com a venda da FSRSD separada. A estimativa dos ganhos econômicos relacionados à venda da FSRSD foi realizada nas diferentes classes desses resíduos (Tabela 5). Estima-se que foi gerado aproximadamente 13 kg.hab⁻¹.ano⁻¹ da FSRSD no cenário real e seriam gerados 16 kg.hab⁻¹.ano⁻¹ dessa fração no cenário potencial. Isso resultaria em um montante anual R\$ 1255 e R\$ 1552 para os cenários real e potencial, respectivamente. Esses valores corresponderiam um ganho de R\$ 18.5 e R\$ 22.8 por morador ao ano para os mesmos cenários mencionados.

Tabela 5. Valoração da FSRSD

Material	Geração da FSRSD (kg.ano ⁻¹)		Geração da FSRSD (kg.hab.ano ⁻¹)		Valoração da fração seca dos RSD (R\$.ano ⁻¹)		Valoração da fração seca dos RSD (R\$.hab.ano ⁻¹)	
	Real	Potencial	Real	Potencial	Real	Potencial	Real	Potencial
	Plástico filme	196	218	2.9	3.2	R\$ 205	R\$ 229	R\$ 3.0
Papelão	127	149	1.9	2.2	R\$ 114	R\$ 134	R\$ 1.7	R\$ 2.0
Plástico rígido (exceto PET)	216	238	3.2	3.5	R\$ 431	R\$ 476	R\$ 6.3	R\$ 7.0
Vidro	64	86	0.9	1.3	R\$ 6	R\$ 9	R\$ 0.1	R\$ 0.1
Papel	36	58	0.5	0.9	R\$ 8	R\$ 13	R\$ 0.1	R\$ 0.2
Alumínio	41	64	0.6	0.9	R\$ 227	R\$ 351	R\$ 3.3	R\$ 5.2
PET	80	103	1.2	1.5	R\$ 192	R\$ 246	R\$ 2.8	R\$ 3.6
Metais ferrosos	79	102	1.2	1.5	R\$ 64	R\$ 82	R\$ 0.9	R\$ 1.2
Embalagem longa-vida	36	59	0.5	0.9	R\$ 7	R\$ 12	R\$ 0.1	R\$ 0.2
Total	875	1077	12.9	15.8	R\$ 1255	R\$ 1552	R\$ 18.5	R\$ 22.8

A separação do RSD em três fluxos, incluindo também a separação da fração orgânica é o tipo de gestão prevista na PNRS, no qual apenas o rejeito seria encaminhado para o aterro sanitário. A destinação adequada também da fração orgânica ainda é um desafio para as municipalidades, visto que essa fração exige mais esforços/custos para sua coleta e tratamento, assim como a população ainda não está habituada a realizar a separação da fração orgânica e a operacionalização da coleta necessita de um planejamento específico, dado as características do resíduo, que possui rápida degradação, liberando efluentes no seu processo de decomposição. Essa situação é intensificada em localidades quentes, a exemplo do município de João Pessoa.

Conclusão

O presente estudo, ao mensurar a efetividade da coleta seletiva da FSRSD, observou que a implantação dessa coleta ainda não é uma ação simples, pois enfrenta dificuldades operacionais e de infraestrutura e deve ser acompanhada de uma sensibilização permanente da população, objetivando uma adequada separação e otimização dos benefícios. A permanência da sensibilização resultou em um elevado índice de participação da coleta seletiva. No entanto, ainda foram observadas algumas dificuldades na implantação da coleta seletiva. Assim, reforça-se a necessidade de campanhas educativas para que a eficiência da coleta seletiva seja melhorada.

Uma vez superadas as dificuldades da coleta seletiva, a realização da reciclagem da FSRSD mostra-se como uma opção vantajosa, ao passo que se observou a presença de resíduos com elevado valor de mercado, tornando a atividade de reciclagem mais lucrativa para os catadores de materiais recicláveis envolvidos.

Assim, é importante que todos os atores relacionados à gestão de resíduos, setores público, privado e população, participem no compartilhamento das responsabilidades.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de doutorado.

Referências bibliográficas

- ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos do Brasil - 2021. 2021. Acesso em: 27/12/2021. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama>
- Andrade, P.A. de (2017) Verticalização em João Pessoa. Produção do espaço e transformações urbanas. Acesso em: 10/02/2022. Disponível em: <https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/17.204/6555>

- Ayodele, T. R., Alao, M. A., Ogunjuyigbe, A. S. O. (2018) Recyclable resources from municipal solid waste: Assessment of its energy, economic and environmental benefits in Nigeria, *Resources, Conservation and Recycling*, **134**, 165-173. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.03.017>
- Azevedo, G. O.D. De (2004) *Por menos lixo: A minimização dos resíduos sólidos urbanos na cidade do Salvador/Bahia*, Tese de mestrado, Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana), Escola Politécnica da Universidade da Bahia, Salvador, 148p.
- Bassani, P. D. B. (2011) *Caracterização de resíduos sólidos de coleta seletiva em condomínios residenciais – Estudo de caso em Vitória-ES*, Tese de mestrado, Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 189p.
- Bassani, P. D., Mota, M. M. da (2009) *Coleta Seletiva de Resíduos Sólidos Urbanos: Aspectos da Participação Social no bairro Jardim Camburi*, Vitória, ES, Trabalho de Conclusão de Curso de Tecnologia em Saneamento Ambiental, Instituto Federal do Espírito Santo. Vitória.
- BRASIL. (2010a) *Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010*, Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.
- BRASIL. (2010b) Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010, Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências.
- Bringhenti, J. R., Günther, W. M. R. (2011) Participação social em programas de coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos, *Engenharia Sanitária e Ambiental*, **16**, 421-430. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522011000400014>
- Bringhenti, J. R., Bassani, P. D., Laignier, I. T. R., Braga, F. D. S., Günther, W. M. R. (2019) Coleta seletiva em condomínios residenciais verticalizados do município de Vitória (ES): características operacionais e de participação social. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, **11**, 1-13. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.e20170223>
- Costa, E. R. H. da, Bringhenti, J., Laignier, I. T. R., Santana, R. D., Gunther, W. M. R., Silva, W. R. E. (2005) A participação social em programas de coleta seletiva por postos de entrega voluntária no município de Vitória, *Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Campo Grande, Brasil.
- Dal Piaz, J. F., Ferreira, G. M. V. (2011) Gestão dos resíduos sólidos domiciliares urbanos: o caso do município de Marau-RS, *Revista de gestão social e ambiental*, **5**(1). <https://doi.org/10.24857/RGSA.V5I1.248>
- FUNASA, Fundação Nacional de Saúde (2010) *Programas municipais de coleta seletiva de lixo como fator de sustentabilidade dos sistemas públicos de saneamento ambiental na região metropolitana de São Paulo*, Brasília: Fundação Nacional de Saúde.
- Gallardo, A., Carlos, M., Colomer, F. J., Edo-Alcón, N. (2018) Analysis of the waste selective collection at drop-off systems: Case study including the income level and the seasonal variation, *Waste Management & Research*, **36**(1) 30-38. <https://doi.org/10.1177/0734242X17733539>
- Guedes, N. de S., Athayde Júnior, G. B. (2021) Minimização de Resíduos Sólidos Domiciliares: Estudo de caso em condomínio vertical na cidade de João Pessoa-PB, *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica*, **14**(3), 1139-1155. <https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2021.14.3.75861>
- Fehr, M. (2014) The management challenge for household waste in emerging economies like Brazil: Realistic source separation and activation of reverse logistics, *Waste management & research*, **32**(9), 32-39. <https://doi.org/10.1177/0734242X14541985>
- Gallardo, A., Colomer-Mendoza, F. J., Carlos-Alberola, M., Badenes, C., Edo-Alcón, N., Esteban-Altabella, J. (2021). Efficiency of a pilot scheme for the separate collection of the biowaste from municipal solid waste in Spain, *Scientific Reports*, **11**(1), 1-13.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2001) *PNAD Contínua - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua -2001*. Acesso em: 14/03/2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>

- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2015) *PNAD Contínua - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – 2015*. Acesso em: 15/03/2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2018) *PNAD Contínua - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua – 2019*. Acesso em: 14/03/2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>
- Luna, Y.H.D.M., Athayde Junior, G. B., Batista, M.M., Oliveira, M.M. de (2010) Avaliação da eficiência da coleta seletiva em condomínio vertical de João Pessoa, *III Simpósio Iberoamericano de Ingeniería de Resíduos*. João Pessoa, Brasil.
- Oliveira, M. de (2022) Estratégias de redução dos resíduos sólidos domiciliares a serem dispostos em aterros sanitários: redução na fonte, coleta seletiva e metanização, Tese de doutorado, Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 240p.
- Oliveira, S.F. de, Anacleto, C. A. (2019) Proposta de reciclagem e reutilização do vidro descartado pela população urbana brasileira, *VIII Seminário de Iniciação Científica do IFMG*. Campus Ribeirão das Neves, Brasil.
- Pinto, R. A. D. F. R., Mondelli, G. (2017) Potencial de recuperação de recicláveis em um condomínio residencial de grande porte de São Caetano do Sul, *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 22, 647-656. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522017146383>
- Rousta, K., Bolton, K., Lundin, M., Dahlén, L. (2015) Quantitative assessment of distance to collection point and improved sorting information on source separation of household waste, *Waste management*, 40, 22-30. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.03.005>
- Seixas, M. G., Beserra, L. B. de S., Fagundes, G. de S.; Athayde Júnior, G. B. (2006) Composição gravimétrica e valor econômico de resíduos sólidos exclusivamente domiciliares de bairros de classe média alta em João Pessoa, *Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária E Ambiental*, Fortaleza, Brasil.
- Silva, J. D. da, Rodrigues, C. R. V. (2011) Avaliação da fração reciclável presente nos resíduos sólidos urbanos domiciliares gerados em condomínio residencial na cidade de Curitiba-PR, *Revista E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial*, 4(1), 42-57. <https://doi.org/10.18624/e-tech.v4i1.152>
- SNIS, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2021), *Diagnóstico do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2020*. Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA)/Ministério das Cidades.
- Stoeva, K., Alriksson, S. (2017) Influence of recycling programmes on waste separation behavior, *Waste Management*, 68, 732-741. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.06.005>
- SUSTENTAMUNDOBR (2021) Panorama da Coleta Seletiva em Condomínios da Grande João Pessoa 2021. *Revista Condomínio*, (163). Disponível em: <https://revistacondominiopb.com.br/2021/10/13/panorama-da-coleta-seletiva-em-condominios-da-grande-joao-pessoa-2021>
- Tronco, G. (2005) *Análise dos fatores que dificultam a participação de condôminos nos programas de coleta seletiva de recicláveis em condomínios verticais: O caso de conjuntos residenciais, na região sul da cidade de São Paulo*. Tese de dissertação, Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo.