

III-327 - O GERENCIAMENTO DA COLETA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DE BELO HORIZONTE (MG) VISANDO AO SEU APROVEITAMENTO ENERGÉTICO PELA RECICLAGEM E ECONOMIA DE INSUMOS

Jôse Lorena Guimarães da Silva⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Fumec - Belo Horizonte. Mestre em Energia Eólica pela Uppsala University - Suécia.

Raphael Tobias de Vasconcelos Barros⁽²⁾

Professor do departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG - Belo Horizonte.

Endereço⁽¹⁾: Rua Vitório Magnavacca, 125 - Buritis - Belo Horizonte - MG - CEP: 30492-015 - Brasil - e-mail: jlgds90@gmail.com

RESUMO

No presente trabalho estudaram-se as práticas operacionais do gerenciamento dos resíduos sólidos em Belo Horizonte, Minas Gerais. Com base na literatura, foram estabelecidos a quantidade por tipo de resíduos sólidos produzidos em Belo Horizonte, o tipo de acondicionamento e coleta dos resíduos e ainda a quantidade de resíduos destinada a cada tipo de destinação final. Estimou-se o potencial para economia de matérias primas na produção de novos produtos pela reciclagem de papel, plástico, metal e vidro com taxas de reciclagem dos resíduos sólidos urbanos de 5, 15, 30 e 50%. Segundo os cálculos, a economia de matéria prima pode chegar a 1,2 milhões de árvores, 289.000 barris de petróleo, 11.000 toneladas de bauxita, 8.000 toneladas de ferro, 133 toneladas de cal e 1.000 tonelada de carvão mineral. Além disso, calculou-se a economia de água e energia elétrica com a reciclagem, chegando a uma economia de 3 milhões de m³ de água e 460 GWh de energia elétrica. Da interpretação desses dados, visando a otimização da reciclagem, foram propostas alternativas para aumentar a taxa de coleta e recuperação de recicláveis e consequentemente reduzir impactos ambientais, como a coleta em três categorias diferentes, padronização das lixeiras, cobrança de taxa de coleta e ainda a cobrança pelas embalagens dos produtos, como embalagem pet e alumínio.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos sólidos, Reciclagem, Belo Horizonte, Economia de insumos.

INTRODUÇÃO

Após a revolução industrial, houve uma notável mudança nos resíduos sólidos (RS) urbanos gerados no Brasil em termos de suas quantidade e seus tipo. Desde então, o gerenciamento dos RS urbanos tem-se tornado um desafio: em Belo Horizonte, são muitos, e vão desde o acondicionamento correto até a disposição adequados destes resíduos.

Em 2017, 78% dos resíduos produzidos em Belo Horizonte foram encaminhados para serem aterrados em aterros sanitários, sendo que 99% destes resíduos foram para aterros particulares em municípios vizinhos (SLU, 2018) a uma distância média de 17 km de Belo Horizonte, ao preço de uma taxa por tonelada aterrada (SNIS, 2018). Desta forma, o município tem altos gastos para dar uma destinação final para os resíduos, onde o aproveitamento energético e a reciclagem não são prioridade. Consequentemente, perde-se seu potencial energético dos resíduos que poderiam estar sendo reciclados, compostados ou biodegradados; aumentam os impactos ambientais pela extração de novas matérias primas e construção de aterros sanitários; além de diminuir a oferta de emprego pelo mercado da reciclagem, compostagem e de produção de biogás.

O objetivo deste estudo é identificar a economia de insumos obtidos através da reciclagem de RS em Belo Horizonte, e ainda, identificar pontos a serem melhorados no gerenciamento da coleta destes resíduos no município, visando a seu aproveitamento energético e reciclagem.

MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa caracteriza-se como exploratória. Criaram-se cenários onde 5, 15, 30, e 50% dos resíduos recicláveis (papel, plástico e metais) produzidos em Belo Horizonte são recuperados em unidades de reciclagem. Acredita-se que o município tenha potencial para reciclar 100% dos seus RS recicláveis; porém, foram definidos tais cenários baseados no passo grande a ser dado, já que, segundo dados da SLU (2018), em 2017 o município encaminhou para unidades de reciclagem de papel, metal, plástico e vidro apenas 0,74% dos seus resíduos totais.

O trabalho de Ribeiro *et al.* (2014) foi utilizado como referência nos cálculos de economia de água, energia, e matéria prima no processo de reciclagem (Tab. 1). Com base nos valores apresentados por estes autores, na quantidade de RS urbanos coletados e na sua gravimetria dos RS (Tab. 3), calculou-se a quantidade de insumos economizados ao ano para os cenários propostos por este estudo (Tab. 4 e 5). Nos cálculos de insumos economizados com a reciclagem dos resíduos de aço e alumínio, considerou-se como metal ferroso o aço, e como metal não ferroso o alumínio, mesmo que dentro dessas categorias existam outros tipos de ligas de ferro e outros tipos de metais. Tais valores de economia de insumos não foram encontrados na literatura para a reciclagem de vidro; assim, a reciclagem deste material não foi abordada neste estudo.

Tabela 1 - Recursos ambientais utilizados na produção de 1 tonelada de cada material e poupados pela reciclagem de 1 tonelada do mesmo resíduo

| Recursos ambientais | Água (Litros) | | | Energia (kWh) | | | Recursos naturais | | | |
|---------------------|---------------|---------|----|---------------|---------|----|--------------------|-----------|---------|-----|
| | Utilizada | Poupada | % | Utilizada | Poupada | % | Material | Utilizada | Poupada | % |
| Material | | | | | | | | | | |
| Alumínio | - | - | - | 17.600 | 16.900 | 96 | Bauxita (t)* | 5 | - | 100 |
| Papel | 100.000 | 98.000 | 98 | 4.980 | 3.510 | 70 | Árvore (unidades)* | - | 30 | - |
| Plástico | - | - | - | 6.740 | 5.300 | 79 | Petróleo (barril) | - | 6,3 | - |
| Aço | 10.000 | 4.000 | 40 | 6.840 | 5.060 | 74 | Ferro (t) | - | 1,14 | - |
| | | | | | | | Cal (t) | - | 0,018 | - |
| | | | | | | | Carvão Mineral (t) | - | 0,155 | - |

Fonte: Adaptado de Ribeiro *et al.* (2014)

Valores com hífen não foram mencionados no estudo em referência

*(SIC)

A proposta de alternativa de coleta dos RS visando ao aumento da taxa de reciclagem em Belo Horizonte teve base na literatura, em exemplos de outras cidades que possuem maior taxa de recuperação de resíduos recicláveis, e ainda na experiência profissional dos autores em outros países que fazem melhor aproveitamento energético dos resíduos. A proposta ainda visa à integração dos catadores na coleta dos recicláveis, já que esses se fazem presentes na realidade do gerenciamento dos RS no Brasil.

CENÁRIO DE BELO HORIZONTE EM 2018

Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais, fundada em 1897, foi uma das primeiras cidades planejadas do Brasil. Uma avenida que circundada a cidade foi planejada para definir o limite do município; porém, a expansão da cidade se deu de forma muito rápida, extrapolando o plano original. Belo Horizonte tem a maior densidade demográfica do estado, uma população estimada de 2,5 milhões de habitantes em uma área de 331,401 km² (IBGE, 2018), com elevada produção de RS urbanos e problemas de infraestrutura para escoamento destes resíduos.

Apesar do acelerado crescimento da cidade, os dados dos últimos 5 anos apontam uma redução na produção *per capita* de RS totais, como apresentado na tabela 2. Segundo dados da SLU (2018), em 2017 foram coletadas 989.690 toneladas de RS, correspondendo a 1,07 kg/hab.dia. Esta redução na *per capita* também foi observada para os RS urbanos até 2016; porém, em 2017 a *per capita* volta a aumentar. Já a *per capita* de resíduos encaminhados para centros de reciclagem não apresentou crescimento ou declínio constantes, variando de 2,66 kg/hab.ano a 3,61 kg/hab.ano entre 2013 e 2017 (SLU, 2018) (Tab. 2).

Vários fatores podem levar a esta redução na *per capita* de resíduos numa redução aparente ou redução efetiva. A redução aparente é quando o peso específico dos resíduos produzidos diminui, o que acarreta na diminuição na *per capita* de resíduos mas não necessariamente a redução da produção de resíduos. O consumo de produtos alimentícios semi-processados ou industrializados é um fator que leva a redução do peso específico dos RS urbanos quando comparado ao consumo destes alimentos sem processamento. Já a redução efetiva dos resíduos acontece quando a quantidade da produção de resíduos realmente diminui. Fatores como a logística reversa de produtos, compostagem domiciliar, ampliação de programas de educação ambiental e consumo consciente, cobrança pelo serviço de coleta, uso de embalagens retornáveis, entre outros, são efetivos na redução da quantidade de resíduos produzidos e redução efetiva da *per capita* de resíduos. Não é possível identificar qual fator vem reduzindo a produção *per capita* de resíduos em Belo Horizonte pela falta de dados suficientes para tal análise.

Tabela 2 – População, quantidade total de resíduos coletados e *per capita* de resíduos sólidos em Belo Horizonte de 2013 a 2017

| Variáveis \ Ano | 2013 ⁽¹⁾ | 2014 ⁽²⁾ | 2015 ⁽³⁾ | 2016 ⁽⁴⁾ | 2017 ⁽⁵⁾ |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| População | 2.479.165 | 2.491.109 | 2.502.557 | 2.513.451 | 2.523.794 |
| Quantidade total de resíduos coletados (t/ano) | 1.332.722 | 1.251.497 | 1.433.510 | 1.024.144 | 989.690 |
| <i>Per capita</i> de resíduos sólidos totais (kg/hab.dia) | 1,47* | 1,38* | 1,57 | 1,12 | 1,07 |
| <i>Per capita</i> de resíduos sólidos urbanos (kg/hab.dia) | 1,03* | 0,92* | 0,88 | 0,89 | 0,92 |
| <i>Per capita</i> de resíduos encaminhados para reciclagem (kg/hab.ano) | 3,61* | 2,66* | 2,77* | 2,90* | 2,88* |

Fonte: (1) SLU, 2014; (2) SLU, 2015; (3) SLU, 2016; (4) SLU, 2017; (5) SLU, 2018

* Valores calculados pelos autores

Coleta de todo RS urbano gerado em Belo Horizonte é de responsabilidade da SLU (Superintendência de Limpeza Urbana), apresentando uma taxa de cobertura de 96% nos anos de 2013 a 2017 (SLU, 2018; SLU, 2017; SLU, 2016; SLU, 2015; SLU, 2014). A coleta de RS é realizada por caminhões compactadores, caminhões basculantes com carroceria ou baú, ou caminhões poliguindaste; em alguns pontos da cidade a coleta é diária (14% das residências coletadas), em outros é duas ou três vezes por semana. O serviço é 99,84% terceirizado, a um custo de coleta de R\$138,65/tonelada. O pagamento pela coleta dos resíduos é feito por uma taxa que é cobrada junto ao IPTU, que em 2016 cobriu 53% dos custos (SNIS, 2018). Em 2015, a taxa de limpeza pública em BH foi de R\$495,80 para regiões que têm coleta convencional diária (6 vezes por semana) de RS domésticos e comerciais, e de R\$247,90 (metade daquele valor) onde a coleta é feita em dias alternados (3 vezes por semana) (SLU, 2016). Para 2016, os valores foram respectivamente R\$548,90 e R\$274,95, portanto 10,91% superiores ao ano anterior (SLU, 2017).

A coleta porta a porta de materiais recicláveis (coleta seletiva) é realizada em alguns pontos da cidade: a população coloca os recicláveis na calçada no dia específico da coleta e um caminhão da prefeitura coleta. Já em outros pontos a coleta é feita pela entrega voluntária dos resíduos em pontos de coleta voluntário, com contêineres de cores padronizadas. No fim de 2014, dos 385 bairros (sem incluir vilas, que são umas 100) a coleta seletiva era feita em 34, servindo a uma população de aproximadamente 375.700 habitantes, ou seja, uns 15% do total (SLU, 2015). Em 2016 esta coleta serviu a 375.000 pessoas (SNIS, 2018) e em 2018 a 390.000 pessoas, abrangendo 36 bairros (Prefeitura de Belo Horizonte, 2018b).

Um aterro sanitário de Belo Horizonte localizado às margens da BR-040, foi fechado em 2007 para o recebimento de RS urbanos, após 32 anos recebendo os RS produzidos pela capital. Atualmente apenas resíduos da saúde são recebidos pelo aterro. No local funciona uma unidade de recebimento de pneus, uma unidade de compostagem, uma estação de reciclagem de entulho, uma unidade de recebimento de pequenos volumes, uma unidade de educação ambiental e uma célula especial para resíduos hospitalares (Prefeitura de Belo Horizonte, 2018a). Além disso, funciona uma unidade de aproveitamento energético do biogás, onde os gases produzidos pela fração orgânica dos resíduos sólidos aterrados são queimados e geram energia para abastecer 20.000 casas com consumo inferior a 100 kWh/mês (Prefeitura de Belo Horizonte, 2018a). Em 2016 (Janeiro a Dezembro) o aterro recebeu 2.774 toneladas de resíduos da saúde (SLU, 2017), já em 2017 (Janeiro a Maio) este valor foi de 1.076 toneladas (SLU, 2018).

Após o fechamento do aterro em 2007, a destinação final dos RS de Belo Horizonte passou a ser feita prioritariamente em aterros sanitários privados, sendo eles, o aterro de Macaúbas e o aterro de Maquiné, ambos a aproximadamente 17 km de Belo Horizonte. Macaúbas recebeu em 2017 763.741 toneladas de RS urbanos gerados em Belo Horizonte. Maquiné recebeu em 2017 193.183 toneladas de resíduos de construção civil (RCC), resíduos urbanos e resíduos de poda (SLU, 2018). Em 2016 o valor contratual para disposição final dos resíduos no aterro de Macaúbas foi de R\$ 46,19/tonelada (SNIS, 2018), com um total de 721.142 toneladas de resíduos encaminhados para o aterro sanitário (SLU, 2017), resultando em um valor pago de mais de R\$33 milhões para o aterramento dos resíduos.

Visando a redução dos resíduos encaminhados para aterros sanitários a prefeitura implantou o Programa de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil, que visa à valorização econômica dos RCC e propõe alternativas de coleta e disposição destes resíduos. As unidades de recebimento de RCC os recebem de grandes geradores transformando-os em agregado reciclado que pode ser substituto da areia ou brita. Já os RCC produzidos em pequenos volumes são recebidos pelas URPVs (Unidade de Recebimento de Pequenos Volumes) e, se devidamente segregados, são encaminhados para reaproveitamento (Prefeitura de Belo Horizonte, 2018c). Em 2017 foram encaminhadas para triagem 14.492 toneladas de RCC, correspondendo a 1,46% dos resíduos totais coletados (Fig. 1) (SLU, 2018).

As URPVs recebem resíduos como poda, pneus, objetos volumosos, madeira e entulho. Não são recebidos nestes locais resíduos domésticos, da saúde, industriais, ou animais mortos. Em 2018 a cidade consta com 34 URPVs: os resíduos são separados e encaminhados para reciclagem, unidades de recebimento de resíduos da construção civil, compostagem ou para o aterro sanitário de Macaúbas (Prefeitura de Belo Horizonte, 2018d).

Outro programa implantado pela Prefeitura de Belo Horizonte é o de Compostagem, com coleta diferenciada para resíduos orgânicos em grandes fontes geradoras, atendendo 40 estabelecimentos entre feiras e supermercados. Estes resíduos coletados são misturados aos resíduos de poda e transformados em composto orgânico. O percentual de resíduos encaminhados para compostagem em 2017 foi de apenas 0,2% (Fig. 1), sendo 411 toneladas de resíduos orgânicos de poda e 1.548 toneladas de resíduos orgânicos doméstico e público (SLU, 2018). O composto gerado é utilizado como substrato em praças e parques da cidade (Prefeitura de Belo Horizonte, 2018a).

O percentual de materiais recicláveis encaminhados para unidades de reciclagem em 2017 foi de 0,74% em relação à produção total de resíduos, equivalente à 2,88 kg/hab.ano (SLU, 2018). Na figura 1 é apresentado a destinação final dos resíduos sólidos com foco na distribuição das variáveis comparadas ano a ano. Já na figura 2, a destinação dos resíduos sólidos é apresentada com foco nos tipos de destinação final em diferentes anos. Com relação apenas aos RS urbanos coletados, a porcentagem encaminhada para reciclagem passa a ser de 0,84% (SLU, 2018). Em 2016 tinham cadastradas na prefeitura sete associações de catadores, com um total de 301 associados. Neste mesmo ano a coleta foi feita pela prefeitura (12,9%), por catadores associados (1,3%), ou por empresas contratadas (85,8%) (SNIS, 2018).

Num estudo gravimétrico realizado pela Secretaria Municipal de Limpeza Urbana (2004) entre outubro/2002 e setembro/2003, utilizaram-se amostras e foi feita análise estatística dos dados de resíduos de papel, plástico, metal e vidro, que representam juntos 25,55% dos resíduos produzidos pelo município (Secretaria Municipal de Limpeza Urbana, 2004) (Tab. 3). Acredita-se que a composição dos resíduos tenha mudado substancialmente desde 2003, e a geração de resíduos recicláveis tenha aumentado, devido ao aumento do consumo de alimentos industrializados e processados.

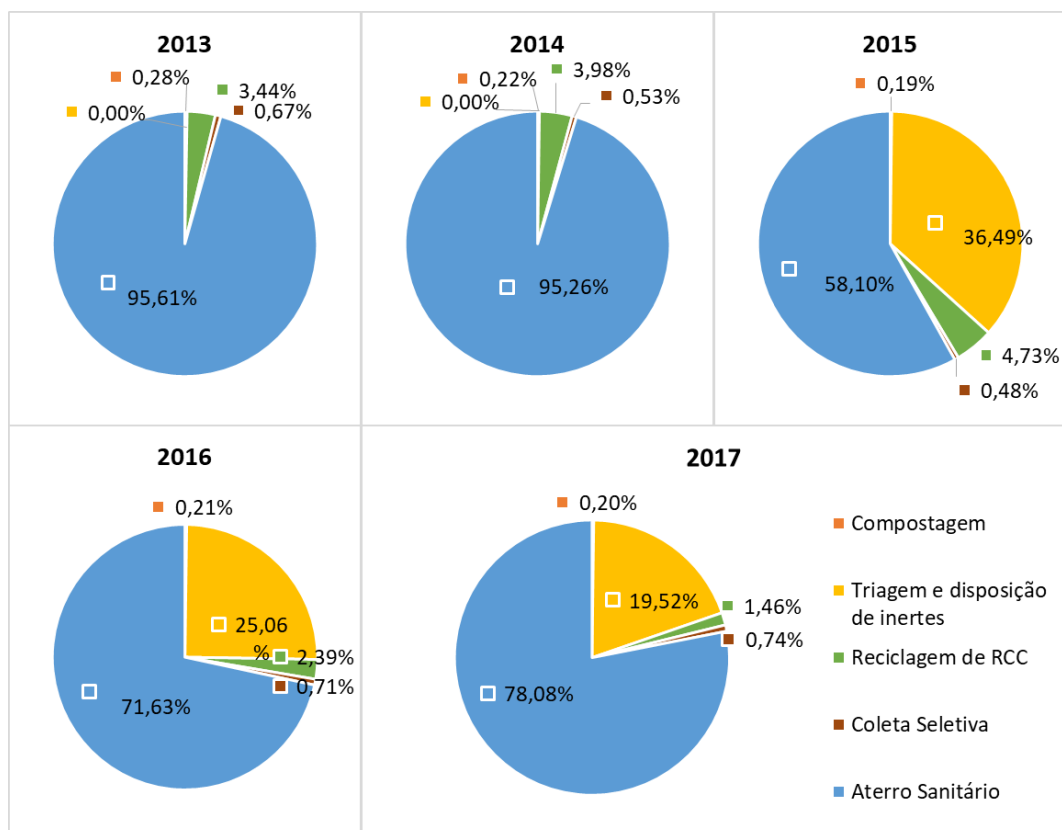


Figura 1 - Destinação final dos Resíduos Sólidos de Belo Horizonte, comparativo dos anos de 2013 a 2017 Fonte: SLU, 2014; SLU, 2015; SLU, 2016; SLU, 2017; SLU, 2018

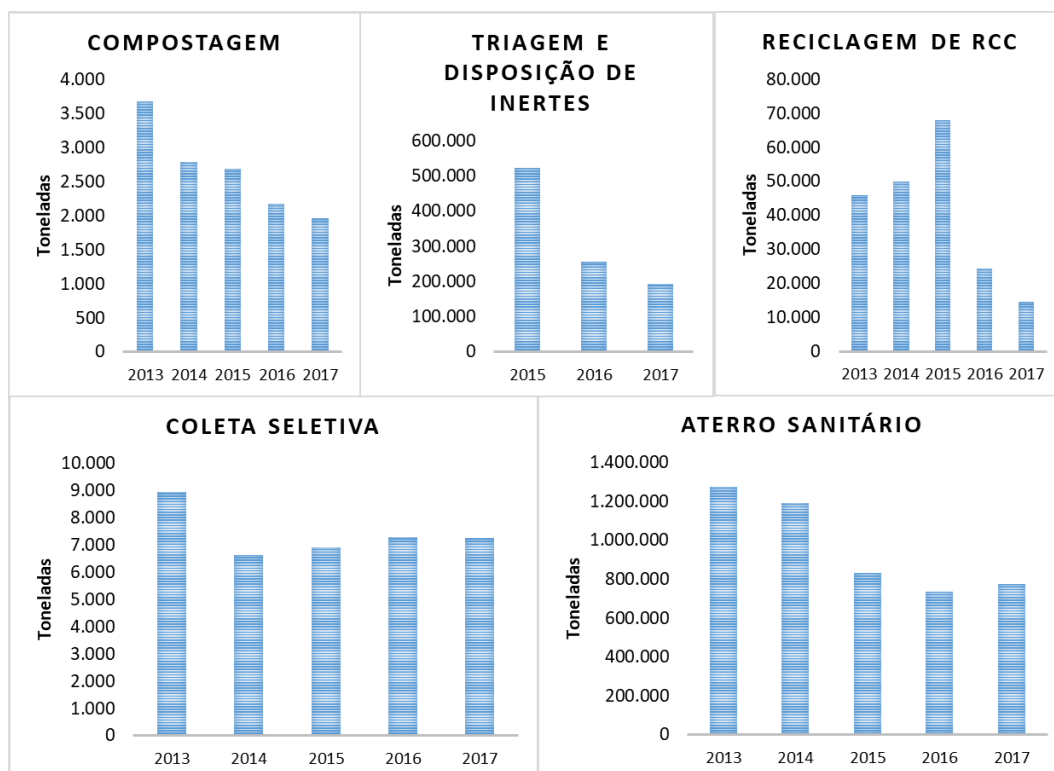


Figura 2 – Destinação final dos Resíduos Sólidos de Belo Horizonte Fonte: SLU, 2014; SLU, 2015; SLU, 2016; SLU, 2017; SLU, 2018

Segundo dados do aterro sanitário de Macaúbas de 2014, apresentados pelo relatório da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (2016), os resíduos de papel, plástico, metal e vidro representam juntos 34,38% dos RS urbanos produzidos (Tab. 3). Neste estudo não foram utilizados métodos estatísticos para amostragem dos resíduos e a gravimetria foi executada em resíduos compactados, o que diminui significativamente a precisão dos dados gerados. Um indicador da imprecisão de dados gravimétricos de resíduos compactados é o aumento do peso específico do papel, já que este absorve a umidade dos resíduos orgânicos. Quando comparado os resultados gravimétricos dos resíduos compactados (Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, 2016) com o de resíduos não compactado (Secretaria Municipal de Limpeza Urbana, 2004) o papel apresenta um aumento de 65% em massa; já o plástico, metal e vidro apresentam um aumento de 13, 41 e 10% respectivamente (Tab. 3). A diferença de 10 anos entre os estudos pode estar acarretando ao aumento percentual destes resíduos, porém o aumento da massa de papel é substancialmente maior que dos outros resíduos, indicando a interferência da umidade agregada a este resíduo.

Não foi encontrada na literatura a gravimetria dos resíduos de Belo Horizonte mais recente utilizando-se técnicas de amostragem e análise estatística dos dados. Assim sendo, os cálculos de economia com a reciclagem desenvolvidos neste estudo são em função da gravimetria realizada em 2002/2003 pela Secretaria Municipal de Limpeza Urbana (2004), já que dados de gravimetria de resíduos compactados sem utilização de técnicas de amostragem podem não ser representativos.

Os valores apresentados pelos estudos gravimétricos realizados pela Prefeitura (2016) e pela Secretaria Municipal de Limpeza Urbana (2004), o equivalente em toneladas de resíduos produzidos nos anos que foram realizados os estudos gravimétricos (2003 e 2014), e ainda o equivalente em toneladas de resíduos produzidos para dados mais recentes de 2017, são apresentados na tabela 3. Quando comparado os valores em toneladas de resíduos dos anos de 2003 e 2014, com o equivalente em 2017, a diferença é sutil. Porém, comparando os valores em toneladas dos resíduos em 2017 de acordo com os dois estudos gravimétricos, a diferença é grande, principalmente para o papel (Tab. 3).

Tabela 3 – Composição gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos de Belo Horizonte e equivalente em toneladas de resíduos produzidos

| Tipo de material | | Gravimetria ⁽¹⁾ | 2003 ⁽²⁾ | 2017 ⁽³⁾ | Gravimetria ⁽⁴⁾ | 2014 ⁽⁵⁾ | 2017 ⁽³⁾ |
|------------------|-----------------------|----------------------------|---------------------|---------------------|----------------------------|---------------------|---------------------|
| | | % | Toneladas | Toneladas | % | Toneladas | Toneladas |
| Papel | Papelão | 1,13 | 9.788* | 9.541* | - | - | - |
| | Papel fino | 4,99 | 43.225* | 42.131* | - | - | - |
| | Embalagem longa vida | 1,10 | 9.528* | 9.287* | - | - | - |
| | Papel misto | 2,31 | 20.010* | 19.504* | - | - | - |
| | Total | 9,53 | 82.551* | 80.463* | 15,66 | 131.124 * | 132.220* |
| Plástico | Plástico filme | 2,35 | 20.356* | 19.841* | - | - | - |
| | Plástico rígido | 2,46 | 21.309* | 20.770* | - | - | - |
| | PET | 1,14 | 9.875* | 9.625* | - | - | - |
| | Plástico filme (Sujo) | 4,93 | 42.705* | 41.625* | - | - | - |
| | Total | 10,88 | 94.245* | 91.862* | 12,35 | 103.409* | 104.273* |
| Metais | Metal ferroso | 1,75 | 15.159* | 14.776* | - | - | - |
| | Metal não ferroso | 0,54 | 4.678* | 4.559* | - | - | - |
| | Total | 2,29 | 19.837* | 19.335* | 3,23 | 27.045* | 27.271* |
| Vidros | Vidro reciclável | 2,63 | 22.782* | 22.206* | - | - | - |
| | Vidro não reciclável | 0,22 | 1.906* | 1.857* | - | - | - |
| | Total | 2,85 | 24.687* | 24.063* | 3,14 | 26.292* | 26.512* |

Fonte: (1) Adaptado de Secretaria Municipal de Limpeza Urbana, 2004; (2) SLU, 2005; (3) SLU, 2018; (4) Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, 2016; (5) SLU, 2015

* Valores calculados pelos autores

Valores com hífen não foram mencionados no estudo em referência

ECONOMIA COM A RECICLAGEM DE RESÍDUOS

Nos cenários propostos pela pesquisa, é recuperado um total de 9.583 toneladas de resíduos recicláveis para uma taxa de reciclagem de 5%, chegando a 95.830 toneladas para taxa de reciclagem de 50%. Com a reciclagem destes resíduos, tem-se a economia de água e energia elétrica e, consequentemente, redução dos impactos ambientais. Calculou-se uma economia de 397.226 m³ água para reciclagem de papel e aço e 46 GWh de energia elétrica para reciclagem de papel, plástico, alumínio e aço com a reciclagem de 5% destes resíduos produzidos em Belo Horizonte. Já para os outros cenários onde 15, 30 e 50% dos resíduos são reciclados, a economia de água passa a ser de 1,2 milhões, 2,4 milhão e 4 milhões de m³ cúbicos de água respectivamente, e ainda 138, 276 e 460 GWh de energia elétrica respectivamente (Tab. 4).

Tabela 4 - Toneladas de resíduos recuperados e economia de água e energia elétrica ao ano através da reciclagem destes resíduos

| Materiais | Taxas de Reciclagem | | | | | | | | | | | |
|-----------------|---------------------|-------------------------------|------------------|--------------------|-------------------------------|------------------|--------------------|-------------------------------|------------------|--------------------|-------------------------------|------------------|
| | 5% | | | 15 % | | | 30 % | | | 50 % | | |
| | Tonela- das (t) | Água (mil m ³) | Energia (GWh) | Tonela- das (t) | Água (mil m ³) | Energia (GWh) | Tonela- das (t) | Água (mil m ³) | Energia (GWh) | Tonela- das (t) | Água (mil m ³) | Energia (GWh) |
| Papel | 4.023 | 394 | 14 | 12.070 | 1.182 | 42 | 24.139 | 2.365 | 85 | 40.232 | 3.942 | 141 |
| Plástico | 4.593 | - | 24 | 13.779 | - | 73 | 27.559 | - | 146 | 45.931 | - | 243 |
| Alumínio | 228 | - | 4 | 684 | - | 12 | 1.368 | - | 23 | 2.280 | - | 39 |
| Aço | 739 | 2 | 4 | 2.216 | 8 | 11 | 4.433 | 17 | 22 | 7.388 | 29 | 37 |
| Total | 9.583 | 396 | 46 | 28.749 | 1.190 | 138 | 57.499 | 2.382 | 276 | 95.831 | 3.971 | 460 |

Fonte: Elaboração dos autores com referência as fontes Secretaria Municipal de Limpeza Urbana, 2004; SLU, 2018; Ribeiro *et al.*, 2014

Valores com hífen não foram calculados

Com a reciclagem de 50% dos resíduos de papel produzidos em Belo Horizonte são poupados mais de 1 milhão de unidades de eucalipto. Em área plantada, esta quantidade de eucalipto ocuparia uma área equivalente a 984 estádios do Mineirão (Embrapa, 2018; Super Esporte 2018). Já nos cenários onde 5, 15 e 30% dos resíduos de papel são reciclados, são poupados 120.000, 362.000 e 724.000 unidades de eucalipto respectivamente (Tab. 5). Mesmo no cenário com taxa de reciclagem de 5% a quantidade de árvores poupadas é representativo, reduzindo assim os impactos do desmatamento para plantio de eucalipto e os impactos causados pela monocultura.

A extração e refinamento do petróleo geram diversos impactos ambientais no meio, físico, biológico e antrópico. Com a reciclagem do plástico nos cenários onde 5, 15, 30 e 50% dos resíduos de plástico são reciclados têm-se a economia de 28.000, 86.000, 173.000 e 289.000 barris de petróleo respectivamente, evitando assim o impacto ambiental pelo uso desta matéria prima (Tab. 5).

Para a produção de 1 tonelada de alumínio são necessários 5 toneladas de bauxita. E, ainda, na reciclagem do alumínio 100% da bauxita que seria utilizada na produção é economizada (Tabela 1) (Ribeiro *et al.*, 2014). Em vista disso, calculou-se uma economia de 1.100, 3.400, 6.800 e 11.000 toneladas de bauxita para os cenários onde 5, 15, 30 e 50% dos resíduos de alumínio são reciclados (Tab. 5). A taxa de reciclagem de embalagens de latas de alumínio no Brasil é alta, isso devido ao preço pago por este produto no mercado e ainda a facilidade de coleta e acondicionamento do mesmo (Folha de São Paulo, 2014).

Na produção do aço são necessários ferro, cal e carvão mineral como matérias primas. Tais matérias primas podem ser economizadas pela reciclagem deste material. Com a reciclagem de apenas 5% dos resíduos de aço produzidos em Belo Horizonte é possível economizar 842 toneladas de ferro, 13 toneladas de cal e 115 toneladas de carvão. Tal economia reduz impactos ambientais pela não extração de novas matérias primas para produção de novos produtos. Os valores para os cenários onde 15, 30 e 50% do aço é reciclado são apresentados na tabela 5 abaixo.

Tabela 5 - Matéria prima poupada ao ano através da reciclagem de resíduos nos cenários propostos

| Taxas de reciclagem | | 5% | 15 % | 30% | 50% |
|---------------------|----------------------------|---------|---------|---------|-----------|
| Materiais | | | | | |
| Papel | Árvores (unidades) | 120.695 | 362.085 | 724.171 | 1.206.951 |
| Plástico | Petróleo (barris) | 28.936 | 86.809 | 173.619 | 289.364 |
| Alumínio | Bauxita (toneladas) | 1.140 | 3.419 | 6.839 | 11.398 |
| Aço | Ferro (toneladas) | 842 | 2.527 | 5.053 | 8.422 |
| | Cal (toneladas) | 13 | 40 | 80 | 133 |
| | Carvão mineral (toneladas) | 115 | 344 | 687 | 1.145 |

Fonte: Autores

Além da economia de insumos e matéria prima, tem-se a economia de mais R\$4,4 milhões por ano, no cenário com taxa de reciclagem de 50%, pelo não aterramento em aterro sanitário particular destes resíduos recuperados, aumentando assim a vida do aterro sanitário. Para a reciclagem de 5, 15% e de 30%, esta economia é de respectivamente R\$471.000, R\$1,3 milhões e R\$2,7 milhões ao ano. Outro ganho que se tem com a reciclagem é geração de renda para o município e geração de emprego.

PROPOSTA DE MELHORIAS NA COLETA DOS RESÍDUOS

A presente pesquisa tem foco na reciclagem; porém, as propostas de melhorias na coleta dos resíduos visam ao aumento da taxa de reciclagem como também ao aumento do aproveitamento energético de produtos orgânicos e combustíveis. Assim, propõe-se uma coleta dividida em três categorias de resíduos a serem coletados: material reciclável, orgânico e resíduos combustíveis, em lixeiras padronizadas. A padronização do sistema visa a organização da coleta e facilita a identificação do tipo de resíduo pelo operador.

Para os resíduos orgânicos domésticos propõe-se que os mesmos sejam acondicionados em sacos de papel, encaminhados para usinas de biodigestão para produção de biogás, ou para unidades de compostagem; por isso, é importante que não contenham resíduos de plástico (ou outros contaminantes) que inviabilizam o processo de biodigestão e reduzem, ou até impedem, o valor comercial do composto orgânico e biodigestão dos resíduos.

Poderia não ser cobrada taxa de coleta dos resíduos orgânicos e recicláveis visando ao incentivo à separação destes resíduos. Porém, se identificada irregularidade na condição ideal dos resíduos depositados, deve ser encaminhada notificação com cartilhas explicativas e, se persistir a irregularidade, deve-se aplicar penalidades e multas ao proprietário.

Os resíduos combustíveis, ou comumente nomeados de “outros resíduos”, são resíduos que possuam alto poder calorífico e que não são reciclados. Tais resíduos podem então ser encaminhados para incineradores para o aproveitamento energético dos mesmos, ou para coprocessamento em fornos de cimento. Para esta coleta, sugere-se a cobrança por quilo de resíduo coletado. No caminhão destinado a coleta destes resíduos deve ser acoplado um sistema de balança e GPS para localização da residência e pesagem do resíduo. A taxa de cobrança estimula a população a separar os resíduos recicláveis e orgânicos, já que para a coleta desses não há a cobrança de taxas. Caso contrário, todos os resíduos produzidos seriam acondicionados como resíduos combustíveis, e a separação de recicláveis e orgânicos não aconteceria. Porém, a cobrança de taxa fixa não estimula a população a fazer a separação dos resíduos por diferentes categorias.

Visando ao aumento da taxa de reciclagem, propõem-se a cobrança pelas embalagens dos produtos, como embalagens PET e de alumínio. Este valor pago pelas embalagens poderá ser retornado ao consumidor se as mesmas forem encaminhadas para os pontos de recebimento de embalagens. Esta é uma forma de responsabilizar e conscientizar o cidadão pela compra de embalagens, já que as mesmas passarão a ser consideradas como um produto, e por isso não serão descartadas inadequadamente.

Com tais medidas, será encaminhada para aterro sanitário uma mínima parte dos resíduos produzidos, com aproveitamento energético dos resíduos, geração de emprego e renda para o município e ainda diminuição dos impactos ambientais pela extração de novas matérias primas.

CONCLUSÕES

A economia de energia elétrica, água, e matéria prima com a reciclagem de apenas 5% dos resíduos recicláveis recuperados em Belo Horizonte já é significativa; com percentuais maiores, a economia logicamente aumenta. Com os resíduos sendo encaminhados para aterro sanitário particular com taxas o município paga para aterrar seus resíduos e perde todo o valor energético e de mercado que estes resíduos possuem.

Acredita-se que com o emprego de novas práticas de gerenciamento da coleta dos resíduos a taxa de reciclagem do município irá aumentar. Tais práticas, como a coleta diferenciada em três categorias (recicláveis, orgânicos e combustíveis), a não cobrança pela coleta de recicláveis e orgânicos, a cobrança pela coleta de resíduos combustíveis, as lixeiras padronizadas e a cobrança pela embalagem de produtos, são exemplos de como incentivar a população a separar e acondicionar seus resíduos adequadamente, além de conscientizar e responsabilizar a população pelo consumo de embalagens.

Um programa permanente de educação/mobilização/sensibilização/conscientização é absolutamente imprescindível, sob pena de quaisquer iniciativas de cunho administrativo-político-organizacional malograrem por não contarem com a participação adequada da população.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Embrapa. *Árvores do conhecimento Eucalipto*. Espaçamento. Disponível em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/eucalipto/arvore/CONTAG01_49_2572006132315.html> Acesso em: 20 jun. 2018.
2. Folha de São Paulo. *Brasil é campeão mundial na reciclagem de latas de alumínio*. 2016. Disponível em <<https://www1.folha.uol.com.br/seminariosfolha/2016/06/1784363-brasil-e-campeao-mundial-na-reciclagem-de-latas-de-aluminio.shtml>> Acesso em: 12 jan. 2019.
3. IBGE. *IBGE cidades*. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/belo-horizonte/panorama>> Acesso em: 28 mai. 2018.
4. IBGE. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico*. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/lixo_coletado/lixo_coletado110.shtm> Acesso em: 30 out. 2018.
5. Prefeitura de Belo Horizonte. *Central de tratamento de resíduos sólidos*. 2018a Disponível em: < <https://prefeitura.pbh.gov.br/slu/informacoes/coleta-seletiva/central-de-tratamento>> Acesso em: 29 mai. 2018a.
6. Prefeitura de Belo Horizonte. *Coleta Seletiva*. 2018b Disponível em: < <https://prefeitura.pbh.gov.br/slu/informacoes/coleta-seletiva>> Acesso em: 13 jan. 2018.
7. Prefeitura de Belo Horizonte. *Reciclagem de entulho*. 2018c Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/slu/informacoes/reciclagem-de-entulhos>> Acesso em: 13 jan. 2019.
8. Prefeitura de Belo Horizonte. *Unidades de Recebimento de Pequenos Volumes*. 2018d Disponível em: < <https://prefeitura.pbh.gov.br/slu/informacoes/urpv>> Acesso em: 13 jan. 2019.
9. Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. *Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Belo Horizonte*. Prefeitura de Belo Horizonte, 2016
10. Ribeiro, L. C. S.; Freitas, L. F. S.; Carvalho, J. T. A.; Filho, J. D. O. *Aspectos econômicos e ambientais da reciclagem: um estudo exploratório nas cooperativas de catadores de material reciclável do Estado do Rio de Janeiro*. Nova Economia Belo Horizonte. 24 pá. 191-214. Belo Horizonte, 2014.
11. Secretaria Municipal de Limpeza Urbana. *Relatório final da caracterização dos resíduos sólidos de belo horizonte*. Prefeitura de Belo Horizonte. Belo Horizonte, mar. 2004.
12. SLU. *Relatório anual de atividades da limpeza urbana de 2013*. Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte. Belo Horizonte, 2014.
13. SLU. *Relatório anual de atividades da limpeza urbana de 2014*. Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte. Belo Horizonte, 2015.
14. SLU. *Relatório anual de atividades da limpeza urbana de 2015*. Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte. Belo Horizonte, 2016.
15. SLU. *Relatório anual de atividades da limpeza urbana de 2016*. Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte. Belo Horizonte, 2017.

16. SLU. *Relatório anual de atividades da limpeza urbana de 2017*. Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte. Belo Horizonte, 2018.
17. SLU. *Relatório de atividades da limpeza urbana de 2004*. Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte. Belo Horizonte, 2005.
18. SNIS. *Diagnóstico anual de resíduos sólidos*. Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2016. Ministério das Cidades, SNIS, Fev. 2018.
19. Super Esporte. *Após reforma, dimensão do gramado do Mineirão ficará menor que a do Mamudão*. Disponível em: <https://www.mg.superesportes.com.br/app/noticias/especiais/novo-mineirao/2012/04/25/noticia_mineirao,215321/apos-reforma-dimensao-do-gramado-do-mineirao-ficara-menor-que-a-do-mamudao.shtml> Acesso em: 20 jun. 2018.