

## Estudo da distribuição ótima das unidades coletoras de materiais reciclados em São Bernardo do Campo – um mapa para o investidor social

## Study of the best location for installation of recycling companies in São Bernardo do Campo - a map for social investors

*Diogo Martins Gonçalves Morais<sup>1</sup>*

*Julia Hille Frey<sup>2</sup>*

*Lucas Pires Savassa<sup>3</sup>*

### Resumo

### Abstract

A reciclagem tem-se mostrado excelente oportunidade de novos empreendimentos, traduzindo-se em emprego e renda para diversos níveis sociais. Diante disso, o presente estudo tem o objetivo de mapear os potenciais pontos de oferta de resíduos sólidos e descobrir qual seria a melhor localização geográfica de São Bernardo do Campo para a implantação de unidades coletoras desses materiais reciclados. Os pontos de oferta em potencial obtidos neste estudo passaram a compor um modelo de distribuição em rede, representadas por um grafo, onde os “nós” do grafo representam a localização geográfica de cada um dos pontos e as “arestas” dos grafos as distâncias entre cada uma delas e um ponto estratégico, cujas coordenadas cartesianas constituíram as variáveis do modelo. Para a resolução do modelo, utilizou-se o algoritmo conhecido por Generalized Reduced Gradiente (GRG). Os resultados e metodologia utilizada nesta pesquisa são apresentados e podem subsidiar a tomada de decisão de investidores sociais.

Recycling has shown excellent opportunity for new projects, resulting in generation of employment and income for various social levels. Thus, the present study aims to map the potential supply points of solid waste and find out what would be the best geographical location of São Bernardo do Campo for the implementation of collection units of these recycled materials. The potential supply points obtained in this study are now part of a network distribution model, represented by a graph, where the “knots” of the graph represent the geographic location of each of the points and the “edges” of the graphs represent the distances between each of them and a strategic point, whose Cartesian coordinates constitute the model variables. For the resolution of the model, was used the algorithm known by the Generalized Reduced Gradient (GRG). The results and the methodology used in this research are presented and may subsidize the decision making of social investors.

**Palavras-chave:** Programação não linear; gerenciamento de resíduos sólidos; reciclagem.

**Keywords:** Nonlinear programming; Solid waste management; Recycling.

<sup>1</sup> Doutor em Administração pela Universidade Municipal de São Caetano do Sul. Atualmente é professor em regime integral da Faculdade de Tecnologia Termomecânica. Universidade Municipal de São Caetano do Sul - E-mail: [diogomgm@gmail.com](mailto:diogomgm@gmail.com)

<sup>2</sup> Estudante de Administração na Faculdade de Tecnologia Termomecânica – FTT. E-mail: [yulia\\_frey@hotmail.com](mailto:yulia_frey@hotmail.com)

<sup>3</sup> Estudante de Administração na Faculdade de Tecnologia Termomecânica – FTT. E-mail: [lucaspiressavassa@gmail.com](mailto:lucaspiressavassa@gmail.com)

Artigo recebido em: 15 de abril de 2015. Artigo aceito em 02 de março de 2017.

## INTRODUÇÃO

No ano de 2010, por meio da Lei de Nº12.305, o Brasil avançou na temática relacionada à gestão pública de resíduos sólidos urbanos e industriais, uma vez que passou a responsabilizar as empresas geradoras de resíduos pelo material gerado.

De acordo com essa legislação, no gerenciamento de resíduos sólidos deve ser observado a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010).

Desde então, muitos estudos foram realizados a fim de verificar a melhor forma de evitar a geração de resíduos, assim como buscar a redução, ou a reutilização e reciclagem de seus resíduos (SILVA et al., 2007; CELINSKI et al., 2013; TANSKANEN, 2013).

No Brasil, estima-se que haja cerca de um milhão de catadores, considerando tanto os cooperativados quanto os autônomos (JESUS e BARBIERI, 2013). Os catadores organizam-se em cooperativas e associações, no entanto não há estudos que verificam se tais cooperativas são eficientes, nem acerca de sua localização diante dos pontos de oferta de recicláveis, e nem da gestão de seus processos (PEREIRA DE CARVALHO e BARBIERI, 2012).

Neste sentido, há uma lacuna na literatura sobre a eficiência dos processos e sobre a gestão de tais cooperativas e associações, enquanto modelo de negócio, abrindo espaço para o desenvolvimento do presente estudo.

Para tratar problemas desta natureza, é comum o uso de ferramental matemático que possibilita a modelagem e a obtenção de máxima eficiência de processos, que são denominados problemas de otimização.

No que se refere à busca de eficiência na coleta de resíduos sólidos, é possível realizar a modelagem de tal processo por meio das técnicas de Pesquisa Operacional, tratando o processo de coleta de resíduos como um problema de localização.

Alzamora, Raupp e Pizzolato (2011) moldaram, como problema de localização, um caso da saúde pública do distrito de Ácora. Em seu estudo identificaram que o distrito possuía somente uma unidade de saúde que oferecia serviço de internamento (Centro de Saúde), e outras 16 unidades que ofereciam apenas serviços básicos de saúde (Postos de Saúde). Assim buscaram, através das técnicas de Pesquisa Operacional, a localização ótima do Centro de Saúde.

Os autores utilizaram dados do Ministério da Saúde do Peru para compor o modelo, que considerou, além das coordenadas cartesianas dos Postos de Saúde, o tamanho da população dos municípios que possuíam unidades de saúde. Os resultados revelaram que o Centro de Saúde não se encontrava em sua localização ótima.

Como visto, os problemas de localização, em geral, permitem decidir sobre a melhor localização geográfica de um ponto específico, quando comparadas as distâncias deste com outros pontos de interesse (GALVÃO, 2003).

Neste contexto, conhecer os potenciais pontos de oferta de resíduos sólidos, assim como descobrir qual seria a melhor localização geográfica em um município para a implantação de unidades coletoras desses materiais reciclados podem ser questões respondidas pela modelagem deste processo como um problema de localização.

Desta forma, o presente estudo tem o objetivo de mapear as indústrias existentes em um município específico, relacionando-as aos seus resíduos sólidos descartados, e a partir daí, por meio de um algoritmo de otimização, encontrar a melhor localização geográfica do município para a implantação de unidades coletoras desses materiais reciclados.

Além do mapeamento com as localizações ótimas, pretende-se comparar as localizações geográficas atuais das cooperativas coletoras de materiais recicláveis específicos com as localizações geográficas ideais, de acordo com o algoritmo de otimização.

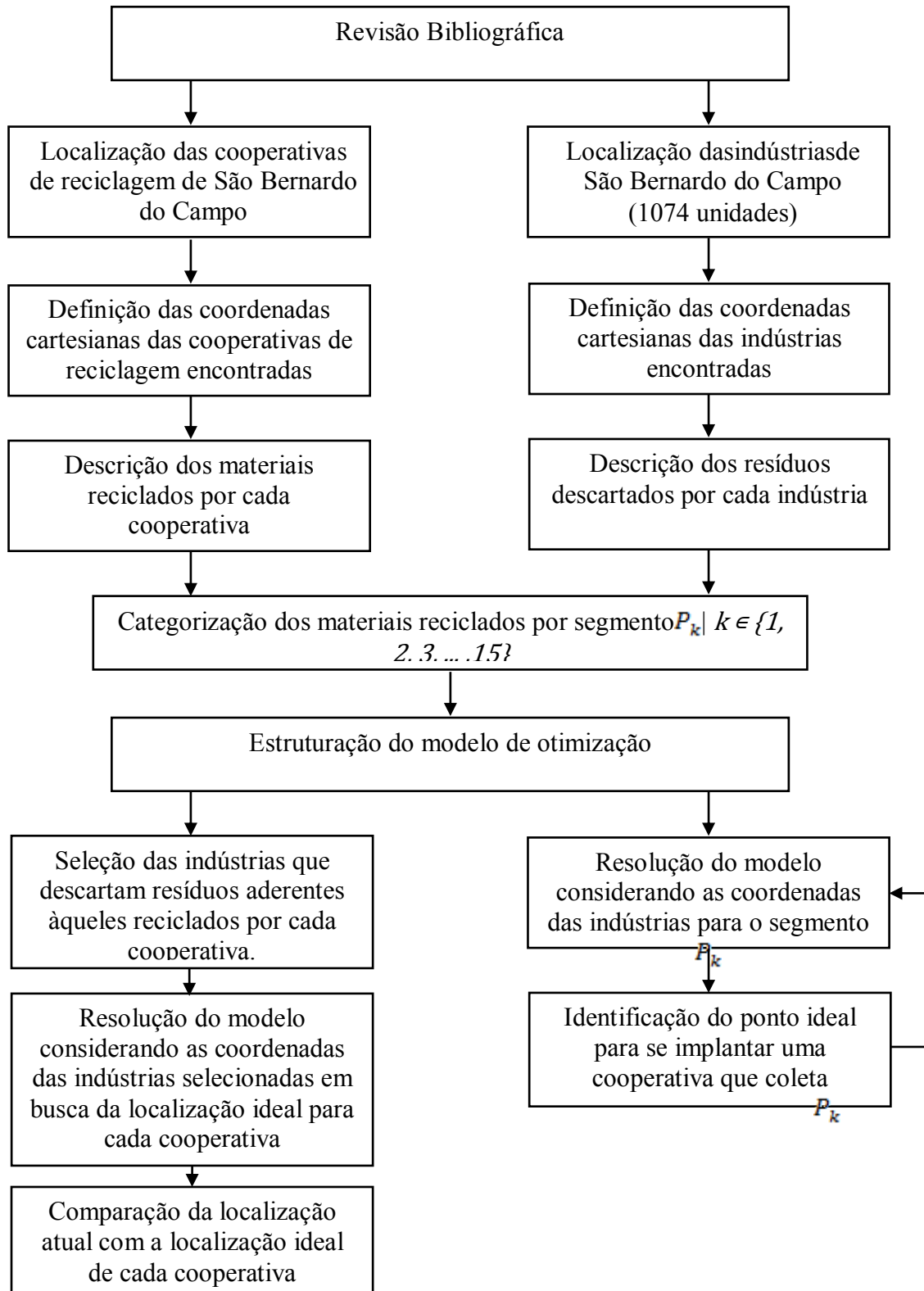
O estudo justifica-se por apresentar dados que subsidiam a tomada de decisão de empreendedores sociais, no âmbito da reciclagem, mas também por consolidar uma aplicação matemática que pode se tornar um eficiente procedimento metodológico para o gerenciamento de resíduos sólidos e líquidos.

## MÉTODOS E MATERIAIS

A pesquisa utiliza uma abordagem quantitativa em nível descritivo, se aproximando do exploratório, pois investiga as características de um conjunto de indústrias e cooperativas, com o intuito de propor uma metodologia adequada para o planejamento e gestão das relações existentes entre elas. Desta forma, além de se buscar a solução prática para o problema de pesquisa aqui exposto, a abordagem utilizada possibilita a elaboração de novas hipóteses, sendo não conclusiva, o que a capacita,

segundo Gil (2010), ser classificada como tal. A Figura 1 ilustra cada uma das etapas do processo de pesquisa.

**Figura1 – Etapas do processo de pesquisa**



Fonte: elaboração própria

Os objetivos e os procedimentos metodológicos adotados não estão condicionados à escolha de um município específico, visto que este estudo poderia ser aplicado, em sua forma, à qualquer outro conjunto de atores que se caracterizem como ofertantes ou demandantes de determinados produtos. Desta maneira, a escolha do município de São Bernardo do Campo se deu por conveniência dos pesquisadores.

O universo das indústrias de São Bernardo do Campo foi estudado por meio de um censo, onde os dados foram obtidos no Cadastro Geral das Indústrias, disponibilizado desde maio de 2015 pela Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Trabalho e Turismo (SDET), da prefeitura de São Bernardo do Campo.

Desta forma, foram acessadas informações de 1074 indústrias do município, tais como: tipos de produtos, resíduos gerados, endereço, telefone, além do segmento das indústrias.

Além disso, realizou-se o levantamento de todas as cooperativas de reciclagem em funcionamento no município de São Bernardo do Campo, que totalizaram 5 até o período de realização do levantamento, no mês de março de 2016.

A partir do levantamento realizado junto às indústrias e cooperativas do município, iniciou-se a composição de um modelo de distribuição em rede, representadas por um grafo, onde os “nós” do grafo estavam associadas à localização geográfica de cada uma das empresas e as “arestas” dos grafos às distâncias entre cada uma delas e um ponto estratégico, cujas coordenadas cartesianas constituíam as variáveis do modelo.

Desta forma, a resolução do modelo pôde ser caracterizada como um problema de localização, cuja função-objetivo considerou fatores como as distâncias entre cada uma das empresas e o ponto estratégico, para cada tipo de resíduo a ser descartado por cada umas indústrias do município.

Considerou-se  $(x_i, y_i)$  como coordenadas cartesianas de uma indústria “i”,  $(x_j, y_j)$  como coordenadas do ponto estratégico, e chamou-se de função-objetivo a somatória das distâncias euclidianas entre as indústrias e o ponto estratégico, descrito pela Equação 1.

$$\text{Função-objetivo} = \sum_{i=1}^n \sqrt{(y_i - y_j)^2 + (x_i - x_j)^2} \quad (1)$$

Para a resolução do modelo, minimizou-se a função-objetivo por meio do algoritmo conhecido por *Generalized reduced gradient* (GRG), que consiste em, a partir de uma condição inicial, seguir passo a passo, calculando valores para as variáveis do modelo e checando o comportamento da função-objetivo. No momento em que o valor da função objetivo inverte a tendência, ou seja, deixa de diminuir para começar a crescer (caso de minimização), o algoritmo assume que encontrou um ponto de máximo ou ponto de mínimo da função (LACHTERMACHER, 2004).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

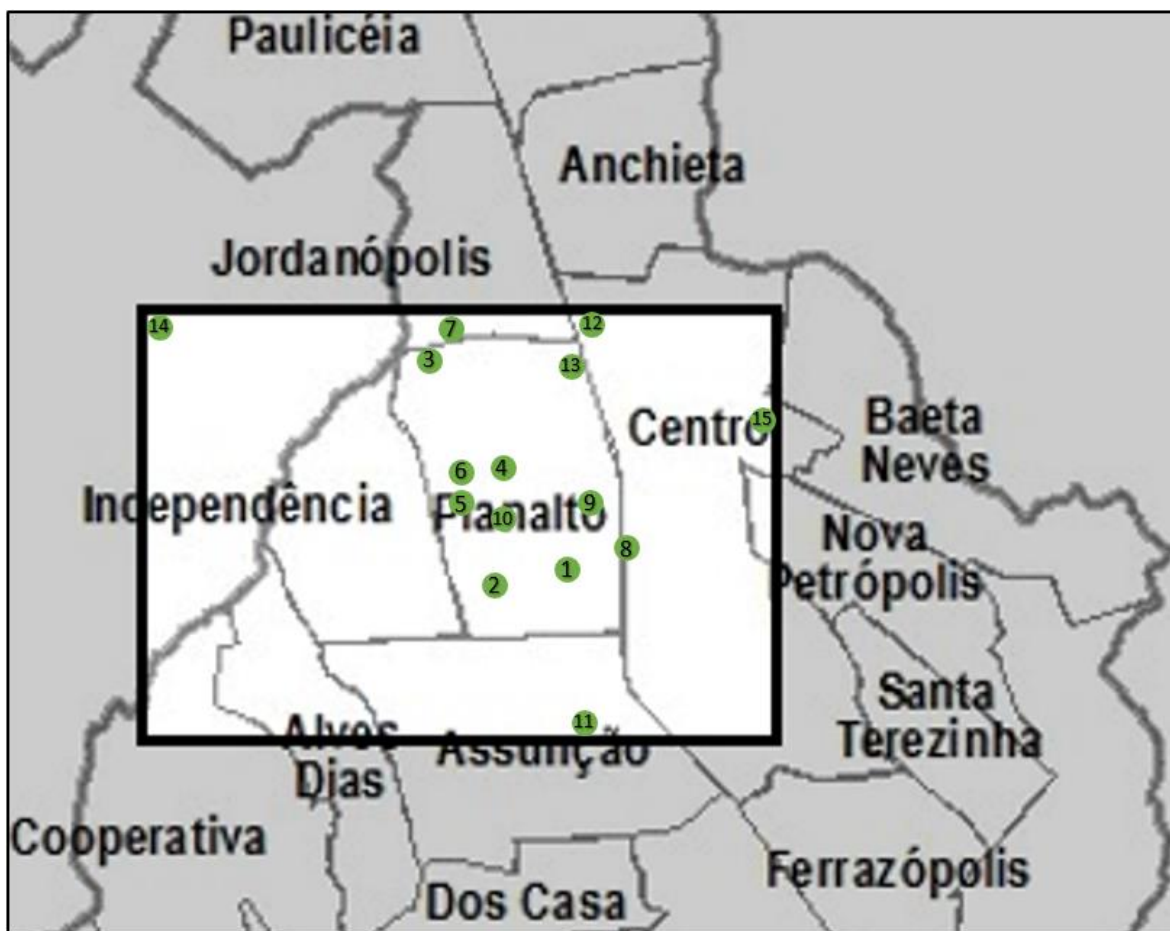
A pesquisa permitiu o mapeamento de 1029 (96%) indústrias em um total de 1074 pesquisadas, relacionando-as com seus segmentos e resíduos gerados.

O mapeamento envolveu 31 bairros de São Bernardo do Campo, onde 23 possuíam pelo menos uma indústria. Os bairros com a maior quantidade de indústrias foram Planalto e Rudge Ramos, com 114 e 94 indústrias, respectivamente.

Diante dos resultados apresentados, foi possível reconhecer e destacar a região de São Bernardo do Campo com o maior potencial para a instalação de unidades coletoras de materiais reciclados, denominada neste estudo como Quadrilátero da Reciclagem.

O Quadrilátero da Reciclagem compreende os bairros Planalto, Centro, Assunção, Jordanópolis e Piraporinha (já no município de Diadema), e foi designado desta forma por ilustrar a região do mapa que contém a maior parte dos potenciais pontos ótimos do modelo. A Figura 2 apresenta tal região.

Figura 2 – Quadrilátero da reciclagem em São Bernardo do Campo



**Nota:** 1- Produção de alimentos e bebidas, 2- Produtos minerais não metálicos, 3- Material elétrico e de comunicações, 4- Química, de produção farmacêutica, veterinária, perfumaria e produtos similares, 5- Metalúrgica, 6- Plástico e produtos similares, 7- Material de transporte, 8- Têxtil, do vestuário e artefatos de tecido, 9- Papel, papelão, editorial e gráfica, 10- Indústria mecânica, 11- Madeira e mobiliário, 12- Borracha, 13- Calçados e artigos de couro, 14- Recuperação de materiais, 15- Construção civil.

**Fonte:** resultados da pesquisa

Posteriormente ao mapeamento das indústrias de São Bernardo do Campo, analisou-se o segmento pertinente a cada uma delas, constatando a predominância de indústrias metalúrgicas, seguido de indústrias de produção de alimentos e bebidas e também por indústrias de madeira e mobiliário.

A partir desta informação, evidenciou-se quais seriam os principais resíduos produzidos e descartados por cada segmento, e com isso foi possível obter qual seria o bairro mais adequado para a criação de uma unidade coletora daqueles materiais, para cada segmento presente no estudo. O Quadro 1 apresenta os resultados dessa análise.

**Quadro 1** – Resultados do mapeamento das indústrias e localização ótima das unidades coletoras

Segmento	Nº de indústrias	Principais resíduos gerados	Bairro ideal para a criação de unidade coletora
Produção de alimentos e bebidas	165	Óleos e farinhas	Planalto
Produtos minerais não metálicos	67	Vidro	Planalto
Material elétrico e de comunicação	48	-	Planalto
Química, de produção farmacêutica, veterinária, perfumaria e produtos similares	31	-	Planalto
Metalúrgica	195	Aço e Alumínio	Planalto
Plástico e produtos similares	69	Plástico	Planalto
Material de transporte	35	Aço e Alumínio	Jordanópolis
Têxtil, do vestuário e artefatos de tecido	109	Tecidos	Planalto
Papel, papelão, editorial e gráfica	76	Papel/ Papelão e Tinta	Planalto
Indústria mecânica	94	Metais não Especificados, Aço e Alumínio	Planalto
Madeira e mobiliário	142	Madeira, Fórmica, MDF, Compensado e Serragem	Assunção
Borracha	10	Borracha	Centro
Calçados e artigos de couro	5	Tecidos e Couro	Planalto
Recuperação de	8	Papel/Papelão, Plástico,	Piraporinha



materiais		Metais não especificados, Polipropileno, Nylon e Poliamida	(Município de Diadema)
Construção civil	9	Madeira	Baeta Neves

Fonte: Resultados da pesquisa

Em todas as análises, o bairro Planalto se destacou por abrigar a maior quantidade de pontos ótimos, representando 66,67 % dos segmentos.

Além da análise realizada juntos às indústrias, comparou-se a localização atual das cooperativas de reciclagem existentes no município com as localizações ideais, considerando os principais resíduos coletados por cada uma das cooperativas e as distâncias entre as indústrias ofertantes desse conjunto de resíduos. O Quadro 2 apresenta os resultados dessa análise.

**Quadro 2** – Resultados do mapeamento das cooperativas e localização ótima

Cooperativas	Principais resíduos coletados	Localização atual	Localização ideal	Distância entre localização atual e ideal (em km pelas vias urbanas existentes)
Associação de catadores Refazendo	Metais, Papeis, Plástico e Vidro	Rua Baturia, 256, Assunção	Rua Benedito Conrado Filho, Planalto	2 Km
Avendis Ambiental	Lâmpadas Fluorescentes	Avenida Luiz Feriani, 132, Taboão	Rua Benedito Regiani, Paulicéia	3,1 Km
Canary Plast		Rua Eugênia	Rua Quarto	

Indústria e Comércio	Plástico	S. Vitale, 585, Taboão	Centenário, Planalto	7,6 Km
Associação Raio e Luz	Plástico, Aço, Ferro, Alumínio, Bronze, Cobre, Inox, Latão, Zamak, Pilhas e Baterias e Papel/Papelão	Rua Guilherme de Almeida, 150, Rudge Ramos	Rua João Domingues Tavares, Planalto	6,6 Km
Associação Verdade e Luz	Aço, Alumínio, Pilhas e Baterias, Bronze, Cobre, Ferro, Inox, Latão, Níquel, Nylon, Papel/Papelão, Plástico, PVC, Vidro e Zamak	Rua Francisco Vicentiner, 438, Assunção	Rua Sérgio Cardoso, Planalto	2,2 Km

Fonte: resultados da pesquisa

Em todas as análises o bairro Planalto se destacou por abrigar a maior quantidade de pontos ótimos. Esse se mostrou ideal para 80% das cooperativas de reciclagem.

Ademais, por meio dos resultados obtidos foi possível comparar a localização atual das cooperativas e os pontos ótimos identificados na pesquisa, o que revelou incongruência entre eles, pois essas estão afastadas em pelo menos dois km de sua localização ideal.

Registre-se ainda que a distância entre a localização atual de cada cooperativa e a localização ideal considerou as vias urbanas disponíveis no mês de maio de 2016.

## CONCLUSÕES

Ao concluir o mapeamento das indústrias existentes no município de São Bernardo do Campo, assim como o segmento pertencente e os principais resíduos

descartados por cada um destes, evidenciou-se com precisão as potencialidades para o investimento social relacionado à reciclagem neste município.

No que se refere ao estudo de otimização realizado, constatou-se com exatidão quais as localizações ideais para a criação de unidades coletoras de materiais reciclados por segmento. Esses resultados devem subsidiar a tomada de decisão e propiciar que projetos de investimento nesta área sejam eficientes desde a sua concepção.

Ao comparar as localizações das cooperativas existentes no município com a localização ideal, este estudo contribui com tomadores de decisão do governo e investidores, visto que possibilita um planejamento eficiente para a alocação de tais unidades coletoras.

O estudo possui limitações por fazer um corte transversal no tempo, visto que as localizações das indústrias se modificam no decorrer dos anos, além de se tratar de um município específico da região metropolitana de São Paulo.

Não obstante, ao reunir teoria e dados, este estudo confere especial contribuição na área temática de gerenciamento de resíduos sólidos e líquidos por apresentar uma metodologia que se mostrou adequada para o seu planejamento.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. **Lei Federal nº 12.305/2010** - Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Publicado no Diário Oficial da União - DOU de 03/08/2010.

CELINSKI, T.M.; CERUTTI, D.M.L.; IELO, F.G.P.F.; CELINSKI, V.G.; CERUTTI, I. **A Gestão do Lixo Eletrônico: Desafios e Oportunidades**. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. **Anais...** Salvador, 2013. (CD-ROM)

GALVAO, R.D. et al. **Solução do problema de localização de máxima disponibilidade utilizando o modelo hipercubo**. **Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro, v. 23, n. 1, p. 61-78, Jan. 2003.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2010.

JESUS, F.S.M., BARBIERI, J.C. **Atuação de Cooperativas de Catadores de Materiais Recicláveis na Logística Reversa Empresarial por meio de Comercialização Direta**. **Revista de Gestão Social e Ambiental - RGSA**, São Paulo, v. 7, n. 3, p. 20-36, out./dez., 2013.

LACHTERMACHER, Gerson. **Pesquisa operacional na tomada de decisões**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

PEREIRA DE CARVALHO, André; BARBIERI, José Carlos. **Innovation and Sustainability in the Supply Chain of a Cosmetics Company: a Case Study.** *Journal of Technology Management & Innovation*, Santiago, v. 7, n. 2, p. 144-156, jul. 2012.

SILVA, F.M.S; ALVES, I.R.F.S.; XAVIER, L.H.; CARDOSO, R.S. **Gestão de Resíduos eletroeletrônicos: proposta para implementação de sistema de logística reversa de refrigeradores no Brasil.** *Resíduos Sólidos*, Recife, 2007.

TANSKANEN, P. **Management and recycling of electronic waste.** *Acta Materialia, Finland*, v.61, p.1001-1011, 2013.