

O USO INTEGRADO DE SIG, ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIO E PESQUISA OPERACIONAL PARA O ESTUDO DE ALTERNATIVAS LOCACIONAIS DE INFRAESTRUTURA DE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DE RSU

Thiago Doretto Diaz ¹;
Luciana Maria Gasparelo Spigolon Frollini ²

Aluno do CST em Logística Aeroportuária; e-mail: dorettodiaz@gmail.com¹
Professor da Fatec Guarulhos, Luciana.spigolon01@fatec.sp.gov.br ²

Área do Conhecimento: Engenharia/ Tecnologia/Gestão.

Palavras-chave: Guarulhos; Resíduos Sólidos; PEVs; SIG; Logística.

INTRODUÇÃO

Em 2010 foi instituída a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) que prevê, dentre outros fatores, a destinação final ambientalmente adequada dos resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou ainda outras formas de destinação admitidas pelos órgãos competentes, entre elas a distribuição ordenada de rejeitos em aterros sanitários (BRASIL, 2010). Para atender a PNRS é imperativa a necessidade de implantar estruturas de tratamento e disposição final de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), no entanto, a localização de tal infraestrutura requer a aplicação de uma série de critérios de análise e ponderação para estabelecer a área mais adequada do ponto de vista econômico, social e ambiental.

O estudo justifica-se em contribuir com as diretrizes da PNRS, utilizando de ferramentas de apoio a tomada de decisão, geoprocessamento e modelagem matemática para avaliar alternativas locais baseado na sustentabilidade ambiental, social e econômica.

A Análise de Decisão Multicritério (MCDA) é um conjunto de técnicas com o objetivo de proporcionar uma ordenação global de opções, desde a opção mais para a menos preferida. As opções podem ser diferentes na medida em que elas atingem vários objetivos, sendo que a melhor opção pode não ser aquela que atinge todos os objetivos (DODGSON et al., 2009).

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) é um sistema computacional feito para armazenar e processar informação geográfica. São ferramentas que melhoram a eficiência e efetividade do tratamento da informação de aspectos e eventos geográficos, podem ser usados para diversas tarefas, como armazenar grandes quantidades de informação geográfica em bancos de dados, realizar operações analíticas e automatizar o processo de confecção de mapas (CÂMARA, DAVIS; MONTEIRO, 2001).

Dentre os métodos de análise de decisão multicritério mais difundidos, destaca-se o *Analytic Hierarchy Process* (AHP), método de análise multicritério que se utiliza de uma matriz de comparação par a par para indicar um ranque de relevância entre os critérios analisados.

A escolha de locais candidatos à implantação de sistemas de tratamento de RSU, em que se inclui o aterro sanitário, é o obstáculo mais difícil de ultrapassar no desenvolvimento dessas infraestruturas sanitárias (RUSSO, 2003).

Nesse sentido, os estudos voltados para a seleção de áreas adequadas para a implantação de infraestruturas de tratamento e disposição final de RSU vêm sendo desenvolvidos integrando técnicas de Análise de Decisão Multicritério (MCDA) e Sistema de Informação Geográfica (SIG).

OBJETIVOS

O objetivo geral deste estudo é identificar áreas adequadas para a implantação de infraestrutura de tratamento e disposição de RSU utilizando SIG e MCDA e potenciais geometrias de arranjos logísticos a rede de transporte de RSU.

MÉTODO

A área de estudo adotada neste estudo é o Município de Guarulhos, que de acordo com o IBGE (2010) possui uma população de 1.221.979 habitantes. Localizada na Região Metropolitana de São Paulo, a cidade tem uma área de 319,19 km².

O método do estudo consiste no uso integrado de SIG, Análise de Decisão multicritério e pesquisa operacional para o estudo de alternativas locais de infraestrutura de tratamento e disposição final de RSU. Em geral, as aplicações iniciam com um processo de definição das variáveis que posteriormente são agrupadas em critérios: ambiental, social e econômico. Em seguida, essas variáveis passam por um processo de ranqueamento com o objetivo de ordenar o grau de importância de cada uma. O processo de ranqueamento das variáveis é feito através de MCDA.

O modelo de otimização da rede de transporte de RSU tem como função objetivo minimizar os custos de tratamento e disposição final de RSU, sujeito a restrições de ordem física e comportamental. Dessa forma o método do presente estudo está estruturado em 5 etapas: Etapa 1: Coleta de dados referentes ao tipo, quantidade, localidade e distribuição de RSU nas PEV da região de Guarulhos; Etapa 2: Identificar e classificar as variáveis mais relevantes para o estudo de seleção de áreas adequadas para a implantação de infraestrutura de tratamento e disposição final de RSU; Etapa 3: Análise de Decisão Multicritério integrado ao ambiente SIG; Etapa 4: Identificar aterros sanitários existentes e em operação localizados em áreas adequadas a partir do mapa final de adequação e, Etapa 5: Rotas para o tratamento e disposição final do RSU.

Etapa 1: Foram coletadas e observadas informações inerentes a presente pesquisa em 19 Ponto de Entrega Voluntária (PEV) existentes no município.

Estes pontos controlam o descarte de diferentes de RSU, tais como, resíduos de construções, solo, metais, vidros, recicláveis, podas de árvores e jardins, madeira, móveis velhos, isopor e gesso.

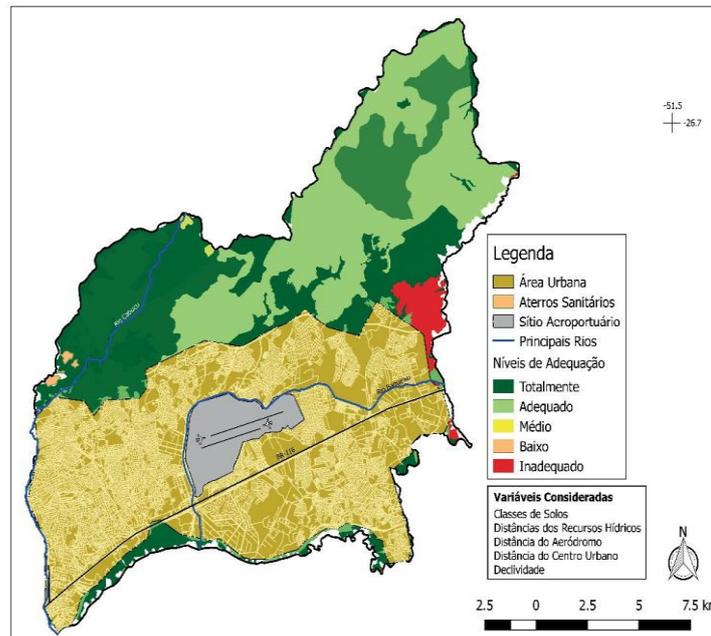
Etapa 2: Foram consideradas 4 variáveis consideradas de maior relevância, são elas: Declividade, solos, hidrografia e sítio aeroportuário. A variável declividade está relacionada a aspectos econômicos, solos e hidrografia à aspectos ambientais e a proximidade ao sítio aeroportuário a aspectos sociais.

Etapa 3: Foi realizada uma análise multicritério a fim de obter-se um ranque de relevância entre as variáveis estabelecidas. Para isso foi empregado o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), também conhecido como comparação par a par, desenvolvido por Saaty (2006). A aplicação da metodologia de análise multicritério utilizando a técnica AHP, foi realizada através da ponderação feita por especialista da área. Para o cálculo da ponderação foi utilizada a “AHP Priority Calculator”¹. Posteriormente foram realizados todos os processamentos envolvendo dados espaciais e seu manuseio na plataforma SIG. O banco de dados organizado no presente trabalho dispõe dos dois tipos de estrutura de dados (espacial e alfanumérico), inseridos e armazenados no software QGIS 2.18.

Etapa 4: Após a identificação e classificação das variáveis foi possível, através da álgebra de mapas, em ambiente SIG, obter um mapa das áreas adequadas para implantação de infraestrutura de tratamento e disposição final de RSU (Figura 1). Através do mapa de adequação pode-se observar que o aterro sanitário se encontra em área totalmente adequada.

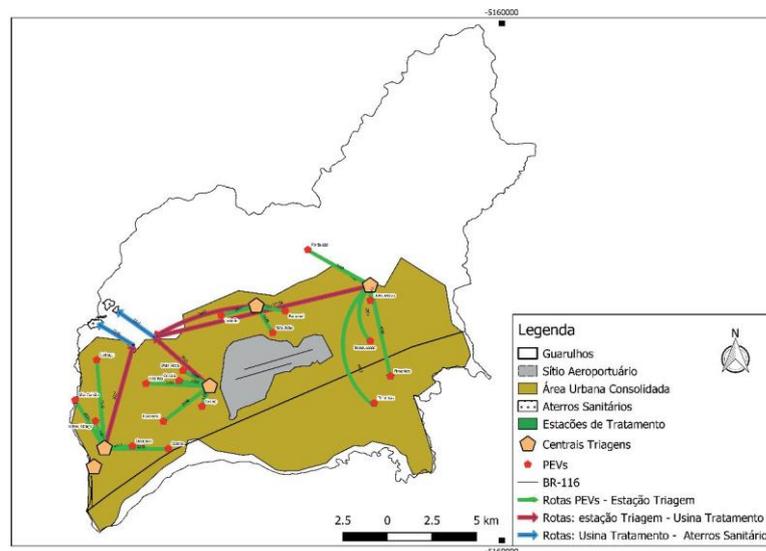
¹ <https://bpmg.com/ahp/ahp-calc.php>

Figura 1 – Mapa de áreas adequadas para implantação de infraestrutura de tratamento e disposição final de RSU



Fonte: Autores (2019)

Figura 2- Rota do tratamento e disposição final do RSU.



Fonte: Autores (2019)

Etapa 5: O município de Guarulhos conta com 19 PEVs e 5 centrais de triagem. De posse dos endereços das centrais de triagem, os pontos foram georreferenciados no mapa de adequação, juntamente com a localização dos PEVs.

Através do mapa de áreas adequadas para a implantação de infraestrutura de tratamento e disposição final de RSU buscou-se áreas para a implantação de Estações de tratamento de RSU nas quais pudessem ser implantadas Usinas de reciclagem e Compostagem. Para a seleção dessas áreas utilizou-se os seguintes critérios: Estar em áreas totalmente adequadas para a implantação de estação de tratamento de RSU; Existência de solo exposto (evitando assim, retirada de cobertura vegetal); Estar mais próximo da área urbana (o que otimizada a distância entre os PEVs) e, Estar próximo ao aterro sanitário. Na Figura 2 é apresentado o mapa com a localização dos PEVs, as Centrais de Triagem de RSU, a área de estação de tratamento de RSU e o Aterro Sanitário.

DISCUSSÃO

Os estudos de seleção de áreas adequadas para a implantação de infraestrutura de tratamento e disposição final de RSU compreende selecionar as variáveis mais relevantes que envolvam aspectos sociais, ambientais e econômicos. Essa seleção deve considerar as características locais da área de estudo. No município de Guarulhos encontra-se o maior aeroporto da América Latina. Sabe-se que se as infraestruturas de tratamento e disposição final de RSU devem ser administradas com segurança e cuidados para evitar, por exemplo, a atração de pássaros. A presença de pássaros nas proximidades dos aeroportos é um grave problema pois, essas aves são atraídas pelas turbinas das aeronaves podendo causar acidentes.

Nesse estudo consideramos apenas 4 variáveis, o ideal é que se trabalhe com o maior número de variáveis possíveis, no entanto, a disponibilidade de dados espaciais nas mesmas proporções de escala e outros aspectos ainda são uma barreira a ser vencida nos estudos de geoprocessamento. A análise de decisão multicritério, através do método AHP, integrada ao SIG se mostrou bastante robusta para o propósito desse estudo. A visualização da área de estudo possibilitou diversas análises que seriam bastante problemáticas de serem realizadas considerando a grandeza da área de estudo.

Contudo, pode-se considerar que o trabalho atingiu o objetivo proposto e sobretudo, contribuiu com a PNRS (BRASIL, 2010) a qual, orienta que, na gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, tratamento dos resíduos sólidos e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Ou seja, a PNRS preconiza todas as etapas acima e por último a disposição final ambientalmente adequada, o que significa a disposição em aterros sanitários, dos rejeitos (que são apenas os resíduos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação, que neste estudo está representada pela estação de tratamento, na qual pode ser implantada compostagem e incineração, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010a. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 03 de ago. de 2010.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. Introdução à ciência da geoinformação. Ministério da Ciência e Tecnologia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos, 2001. Disponível em: [file:///C:/Users/User/Downloads/publicacao%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/publicacao%20(2).pdf). Acesso em: 17 de out. 2012.

DODGSON, J. et al. Multi-criteria analysis: a manual. Department for Communities and Local Government: London, 2009. ISBN 1409810232. Disponível em: http://eprints.lse.ac.uk/12761/1/Multi-criteria_Analysis.pdf. Acesso em 18 de dez. de 2013.

RUSSO, M. A. T. Tratamento de Resíduos Sólidos. Universidade de Coimbra. Faculdade de Ciência e Tecnologia. 2003. Disponível em: <http://homepage.ufp.pt/madinis/RSol/Web/TARS.pdf>. Acesso em 29 de nov. de 2013.

SAATY, T. L.; VARGAS, L.G.; Decision Making with the Analytic Network Process: Economic, Political, Social and Technological Applications with Benefits, opportunities, Cost and Risks. Springer, 2006. ISBN-13: 9780387338590.

AGRADECIMENTOS

A presente pesquisa contou com o apoio do NUPELOG – Fatec Guarulhos, presidido pelo Prof. Dr. Daniel Nery dos Santos, o qual subsidiou as análises geoespaciais.