

Estudo de caso: aspectos e impactos perceptíveis na localização de lixões municipais utilizando a ferramenta M-MACBETH

Case study: aspects and impacts perceptible at the location of municipal dumps using the M-MACBETH tool

- **Data de entrada:**
24/04/2017
- **Data de aprovação:**
10/07/2017

Valquiria Melo Souza Correia* / Marisete Dantas de Aquino / Antonio Clecio Fontelles Thomaz /
Marcílio Luís Viana Correia

DOI: 10.4322/dae.2018.012

Resumo

Os lixões representam um grande problema dos gestores municipais e possuem vários desafios que necessitam ser superados. Para tanto, é preciso conciliar desenvolvimento econômico e tecnológico com ações de responsabilidade socioambientais com a erradicação das áreas utilizadas para disposição dos resíduos sólidos gerados pelos municípios. Este artigo apresenta um processo de avaliação dos atuais locais dos lixões nos municípios do Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha, apresentando os impactos ambientais, sociais e econômicos que têm proporcionado à população. O objetivo deste artigo é apresentar a problemática dos lixões dos municípios, usando a Metodologia do M-Macbeth, e verificar qual é o cenário mais preocupante. O trabalho mostra que os municípios possuem deficiências com relação aos critérios levantados e que a área de destino final dos resíduos sólidos exige providências imediatas e de relevância, e que, na visão do tomador de decisão, nenhum município está distante do problema do lixão.

Palavras-chave: Disposição de resíduos sólidos. Análise multicritério. Lixões.

Abstract

Dumps represent a major problem of municipal managers and have several challenges that need to be overcome. For that, it is necessary to reconcile economic and technological development with social and environmental responsibility actions and the eradication of the areas used for disposal of solid waste generated by the municipalities. The article presents an evaluation process of the current sites of the dumps in Crato, Juazeiro do Norte and Barbalha, showing the environmental, social and economic impacts on the population. The objective of this article is to present the problem of the municipalities' dumps using the M-Macbeth Methodology and to verify the most worrying scenario. The work shows that municipalities have deficiencies regarding the criteria raised and that the final destination area of solid waste requires immediate and relevant measures, and that, in the opinion of the decision maker, no municipality is far from the problem of dump.

Keywords: Solid Waste Disposal. Multicriteria Analysis. Dumps.

Valquiria Melo Souza Correia – Administradora pela Unice - Superior (Unice). Mestre em Logística e Pesquisa Operacional pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Doutoranda em Engenharia Hidráulica e Ambiental pela UFC.

Marisete Dantas de Aquino – Engenheira de pesca pela UFC. Doutora em Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela École des Hautes Études en Sciences Sociales, Paris, França. Professora Titular do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da UFC.

Antonio Clecio Fontelles Thomaz – Graduado em Matemática pela Universidade Federal do Ceará. Mestre em Informática pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Doutor em Engenharia de Sistemas e Computação pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Pós-Doutorado na Universidade Joseph Fourier - Gfenoble França. Professor titular Aposentado da Universidade Federal do Ceará e professor adjunto da Universidade Estadual do Ceará.

Marcílio Luís Viana Correia – Graduado em Engenharia Civil pela Universidade de Fortaleza - Unifor e licenciado em Matemática pela Universidade Estadual do Ceará - UECE. Mestre em Logística e Pesquisa Operacional pela Universidade Federal do Ceará. Especialista em Engenharia do Petróleo pela Universidade de Fortaleza - UNIFOR. Professor da Universidade Federal do Cariri (UFCA).

***Endereço para correspondência:** Rua Seixas Correia, 600, Fortaleza, CE. CEP: 60.520-795.E-mail: valquiriamelosouza@hotmail.com

1 INTRODUÇÃO

Os lixões municipais caracterizam uma problemática de cunho social, espacial, econômico, geopolítico e ambiental. Diante de toda a sua problemática, existe ainda a questão de sua localização, o que intensifica o problema do lixo nos municípios. Segundo a Lei no 9.605/98, o lixão é um crime ambiental, visto que causa agressões – muitas vezes irreparáveis – à fauna e à flora, assim como poluição e outros crimes ambientais contra o ordenamento urbano e o patrimônio cultural.

Para Mazzini (2003, p. 219), os lixões são locais para a disposição de resíduos domiciliares e públicos “a céu aberto, sem nenhum critério técnico com relação à escolha da área e à implantação e operação da disposição; causa poluição da água, do ar e do solo, além de poluição visual”. De acordo com Santos (1996, *apud* FONSECA e MORAES, 2006), que associa diretamente a eficácia da ação à adequação do objeto, é fácil perceber que o lixão é um objeto inadequado, resultado de uma ação irrefutável e ineficaz.

Dentre as principais repercussões geradas pelos lixões, podem-se destacar as definidas por Batista et al. (2010), que explica que eles afetam diretamente as esferas ambiental, sanitária, econômica e social. Todavia, os lixões produzem impactos ambientais de difícil e caro tratamento e recuperação, como a degradação da paisagem natural; contaminação das águas superficiais e subterâneas; contaminação do solo e do ar; percolação de chorume por causa da alta condutividade hidráulica; atração de espécies exóticas; além de o local de destino ser, na maioria das vezes, área de proteção ambiental. Os aspectos sanitários consistem na atração e proliferação de vetores responsáveis por várias doenças. O fator social é outro problema de difícil solução, pois atrai catadores que buscam no lixo sua fonte de renda e alimentos. O econômico acontece porque os materiais enviados aos lixões têm valor agregado e

podem ser comercializados para serem inseridos em diversas cadeias produtivas.

A existência de uma área que serve de destino inadequado a resíduos repercute na insatisfação e na qualidade de vida das pessoas que moram dela próximo, devido à presença de vetores, de odores, de fumaça ocasionada pela queima de lixo e do chorume, que afetam a qualidade de vida da população. De acordo com Mavropoulos e Newman (2015), em estudos realizados pela *International Solid Waste Association* – ISWA, o Brasil tem gastado cerca de R\$ 1,5 bilhão por ano com problemas relacionados aos lixões. Todo esse custo está relacionado a programas de saúde para combater doenças causadas pelos lixões e custos com tratamentos de problemas psicossociais também causados aos moradores das regiões afetadas. Ainda segundo o estudo, com o não fechamento dos lixões, num horizonte de cinco anos (2016-2021), é provável que o país tenha um custo adicional entre R\$ 13 bi e R\$ 18,6 bi em saúde.

Esse aumento da população global e a urbanização estão desafiando as autoridades municipais na gestão dos resíduos sólidos. Nos países em desenvolvimento, onde 80% dos 6,7 bilhões de habitantes vivem, uma crescente e acelerada urbanização e um aumento significativo populacional exigem uma melhoria nos serviços de gestão de resíduos (AHMED e ALI, 2006).

Com um maior número de pessoas nos centros urbanos e o crescimento do consumo, a geração de resíduos sólidos aumenta na mesma proporção. Esse cenário, segundo Faria (2002), intensifica-se com a constatação de uma evidente tendência de crescimento da geração de lixo, e isso não apenas em termos absolutos (t/dia), mas também em termos relativos (kg/hab./dia).

Na verdade, o crescimento populacional contribui diretamente para uma maior produção de lixo, o que, com a evolução dos padrões de produção e consumo, torna-se mais significativo. Logo, esse

crescimento da população e da urbanização proporciona não apenas o aumento do uso de recursos não renováveis, mas o despejo inapropriado de resíduos tóxicos, que são os principais desafios ambientais enfrentados pela humanidade hoje em dia (RAHMAN et al., 2008).

Na maioria dos municípios brasileiros, os lixões são presença marcante e muito negligenciada, representando sérios problemas à saúde pública e ao meio ambiente, devido a que praticamente todo tipo de material, que venha a gerar ou não impacto ambiental, tem como destino final os lixões, aumentando ainda mais as problemáticas que os municípios já vêm enfrentando.

No Brasil, a gestão e o manejo dos resíduos sólidos são definidos na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei no 12.305, de 2010, regulamentada por meio do Decreto no 7.404, de 2010, que, após 20 anos de tramitação no Congresso Nacional, estabeleceu um novo marco regulatório para o país (JACOBI & BESEN, 2011). O prazo estipulado pela Lei para extinção dos lixões foi para agosto de 2014, contudo; o Congresso brasileiro decidiu pela prorrogação por mais um ano, ou seja, agosto de 2015. No entanto, esse prazo foi insuficiente, demandando um novo adiamento, feito de maneira escalonada, para que os municípios se adaptem à PNRS no que se refere ao fim dos lixões.

Todavia, a temática ambiental tem proporcionado preocupações a pesquisadores, ao governo e à sociedade, devido às catástrofes que vêm ocorrendo em todas as partes do planeta, nas últimas décadas. Fazem-se necessárias medidas relacionadas às políticas de sustentabilidade, assim como o avanço dos órgãos ambientais e das empresas com propostas de economia verde, visto que os destinos sustentáveis vêm crescendo após a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei no 12.305/10), com o uso da política dos 4R (Reduzir, Reutilizar, Reciclar e Repensar), que tem entre suas metas a eliminação de lixões.

Conforme dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, realizada em 2008, identificou-se que ainda havia 2.906 lixões em todo o território brasileiro, distribuídos em 2.810 municípios. Fato preocupante é que, desse universo, 98% dos lixões existentes concentravam-se nos municípios de pequeno porte, e 57% estavam no Nordeste.

Os municípios do Estado do Ceará não se diferenciam da maioria dos municípios do Brasil, ou seja, o crescimento da população nos últimos anos teve como consequência o aumento da geração de resíduos sólidos. Assim, há uma preocupação cada vez maior com a preservação do meio ambiente, com a saúde pública e com a qualidade de vida da população.

Devido à ausência de planejamento, infraestrutura, insuficiência dos recursos financeiros – e mesmo técnicos – na coleta, no transporte, no tratamento e no descarte de resíduos sólidos, os problemas têm aumentado. Entre as principais razões, está a disposição dos resíduos de maneira desorganizada e desestruturada, o que causa consequências muitas vezes irreparáveis ao solo, ao ar, às águas superficiais e subterrâneas, assim como produz um impacto direto na transmissão de doenças.

Dessa maneira, localizar e caracterizar lixões pode auxiliar os órgãos públicos na remediação das áreas de sua existência, possibilitando inclusive ações consorciadas na resolução dos problemas ambientais, sociais, econômicos e sanitários deles advindos.

2 OBJETIVOS

Neste estudo, tem-se como objetivo analisar os critérios ambientais, econômicos e sociais dos locais onde se localizam os lixões das cidades de Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha (Crajuubar) e mostrar, dentre os três lixões municipais, aquele que tem representado o maior impacto, dentre dos critérios analisados, sem descartar a opinião de especialistas no assunto.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Diante de uma realidade cada vez mais acirrada em termos de consumo e sustentabilidade, o destino adequado dos resíduos sólidos ganha, a cada dia, maior relevância, tendo em vista que o desenvolvimento econômico, a urbanização e a melhoria dos padrões de vida nas cidades levaram a um aumento da quantidade e complexidade dos resíduos gerados (RATHI, 2006).

Segundo Ojha et al. (2007), uma das principais razões para o aumento exponencial da quantidade de resíduos urbanos decorre do desejo das pessoas de melhorarem o padrão de vida e o bem-estar através da industrialização.

Para Moghaddas e Namaghi (2009), métodos indiscriminados de eliminação de resíduos resultam na poluição das águas, do solo e do ar, o que representa riscos significativos para a saúde pública.

Além do comprometimento dos recursos naturais, as gerações futuras sofrerão influências causadas pela degradação do meio ambiente se não forem adotadas medidas que minimizem esses prejuízos causados, em sua maioria, pelas atividades humanas e empresariais nocivas ao ambiente (TINOCO; KRAMER, 2011). Para Hammes (2004, p. 37), “a quantidade de lixo vai quintuplicar, se não forem mantidos os padrões atuais de consumo”.

Assim, realizar mapeamento e levantamento das características ambientais, sociais e econômicas dessas áreas de disposição inadequada torna-se uma importante ferramenta no processo de gestão municipal dos Resíduos Sólidos Urbanos.

Por meio de legislações recentes, com destaque para a Política Nacional de Saneamento Básico (Lei no 11.445/2007), marco regulatório dos resíduos sólidos que estabelece as Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico (Lei Nacional de Saneamento Básico - LNSB) (BRASIL, 2007), e pela Lei no 12.305, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que proporcionaram

maior responsabilidade aos gestores municipais no sentido de elevarem seus municípios a novos patamares referentes à gestão de resíduos sólidos urbanos e com diferentes obrigações a serem cumpridas (BRASIL, 2010).

A Lei no 12.305/2010, por sua vez, estabelece diretrizes gerais aplicáveis a todos os tipos de resíduos sólidos, exceto os radioativos, e elabora um novo modelo de gestão dos resíduos com oportunidades de desenvolvimentos econômico e social, assim como determina o fechamento dos lixões em até quatro anos e estabelece dois anos para a conclusão dos Planos de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, a partir da sanção da lei.

Uma importante lei que busca contribuir com uma série de conceitos inovadores, ou seja, admite o resíduo sólido como material que pode ser reutilizado e reaproveitado. Assim, como trata o rejeito, bem como o insumo inservível, como matéria-prima em uma cadeia produtiva.

Toda essa transformação legal e política torna-se imprescindível para o gerenciamento adequado dos resíduos sólidos, pois repercutirá na elaboração do planejamento, manutenção, recursos e operação dos municípios (ALM, 2015). No entanto, essa realidade é, muitas vezes, tratada com descaso em países em desenvolvimento, pois exige investimentos científicos, teóricos e práticos na gestão dos resíduos sólidos (MARSHALL & FARAHBAKHS, 2013), mostrando um cenário de negligência na maioria dos municípios, com o acondicionamento de lixões a céu aberto.

A conseqüente e crescente geração de resíduos de diferentes naturezas e características, devida ao progresso econômico e ao aumento do consumo da população, juntamente com a rápida urbanização e industrialização, afeta diretamente a quantidade de resíduos sólidos urbanos gerados (SINGH e SHARMA 2002; MINGHUA et al. 2009).

A existência de lixões, ambientes inadequados de destinação final dos resíduos sólidos, onde são descartados sem qualquer cuidado, proporciona um grave problema para a saúde pública e para o meio ambiente. Isso repercute no setor econômico, pois, com uma produção mais acelerada de resíduos e sua disposição final sem planejamento, desencadeia desperdício de materiais e de energia.

Para muitos municípios, a ausência de recursos humanos especializados em critérios técnicos, econômicos e sociais para trabalhar com resíduos sólidos urbanos (RSU), assim como a ineficiência administrativa, proporcionam ainda mais os problemas ambientais e de saúde pública, implicando na continuidade da existência de inúmeros vazadouros a céu aberto (lixões).

Os resíduos sólidos têm impactos na saúde pública, uma vez que pode ocorrer a transmissão de doenças e infecções pela presença de animais e insetos, como roedores e baratas, entre outros. Além disso, podem ocorrer problemas como dificuldades respiratórias, malformações de fetos, dentre outros inconvenientes, todos devidos à ingestão de água contaminada, queima não controlada de lixo e exposição a produtos radioativos.

O gerenciamento inadequado dos resíduos em locais como lixões, utilizada como parâmetro para a disposição final a disponibilidade de áreas, assim como a distância em relação a outros centros urbanos (SCHALCH et al., 2002, p. 1) geram grandes preocupações ambientais.

Macbeth (Bana Consulting, 2005) é um sistema multicritério de apoio à decisão, concebido para ser usado por um consultor (facilitado ou analista de decisão), seguindo o princípio construtivista, segundo o qual “o problema e a solução pertencem ao decisor e não ao consultor” (SCHEIN, 1999). É um processo sociotécnico, com várias fases, que “combina elementos técnicos da análise multicritério com aspectos sociais de *decision*

conferencing” (PHILLIPS; BANA e COSTA, 2007, *apud* COSTA, MEZ e OLIVEIRA, 2013).

Segundo Torres (2010), o método Macbeth pode utilizar o software M-Macbeth em suas etapas de apoio à tomada de decisões: estruturação, avaliação e elaboração de recomendações.

Quanto à escala de valores, para que sejam atribuídas notas às alternativas de cada critério, o software faz uso do módulo *scores*, comparando par a par, cada alternativa e, por programação linear, propõe uma escala de notas, analisando também os intervalos de variação, sem tornar o problema inconsistente. Para atribuir pesos e para a construção do critério-síntese, utiliza-se o módulo *weights* do M-Macbeth. O software M-Macbeth faz a comparação dos critérios de forma indireta, considerando fictícias as alternativas dos critérios (SOARES DE MELLO et al., 2003).

O índice pode ser construído a partir da reunião de todos os critérios do problema por meio da análise e atribuição de pesos, preferências e escalas. A escolha da metodologia Macbeth, que pode ser considerada da Escola Americana de multicritério, e que foi desenvolvida por Bana; Costa e Vansnick (1995; 1997) e apresentada em Bana; Costa e Chagas (2004).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

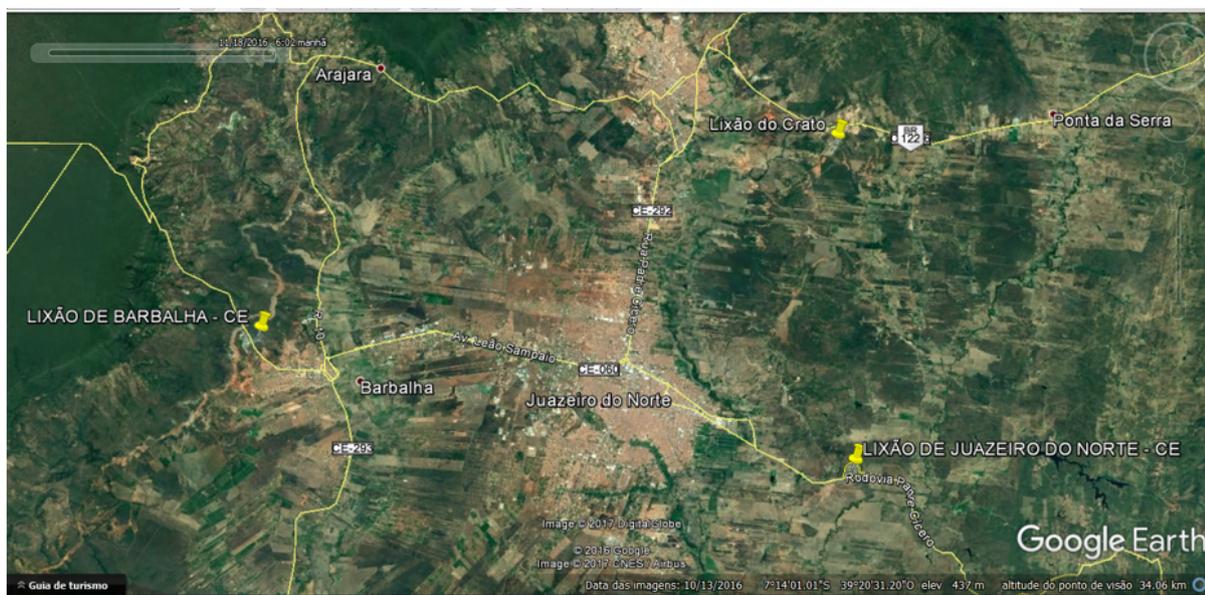
O estudo foi realizado nos municípios de Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha, que têm população estimada de 130, 263 e 59 mil habitantes (IBGE, 2016), respectivamente. Localizados na Região Metropolitana do Cariri – RMC (Lei Complementar Estadual 78/2009), situados ao sul do Estado do Ceará e pertencentes à macrorregião do Cariri (Figura 1). A RMC é constituída pelos municípios de Juazeiro do Norte, Barbalha, Jardim, Missão Velha, Caririaçu, Farias Brito, Nova Olinda e Santana do Cariri, além do Crato, onde os lixões se apresentam em locais de passivos ambientais.

Figura 1: Localização da Região Metropolitana do Cariri



Fonte: IPECE (2012).

Figura 2: Localização dos Municípios Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha e respectivos Lixões



Fonte: Google Earth (2017).

O município do Crato é considerado um polo de cultura popular e artesanal e apresenta uma diversidade de recursos naturais e paisagísticos que são, também, explorados como uma forma de garantir o desenvolvimento de várias atividades econômicas, dentre elas a do setor cerâmico, que tem buscado contribuir para o desenvolvimento socioeconômico da região.

Juazeiro do Norte está entre os municípios que mais se destacam no cenário cearense devido ao seu elevado dinamismo econômico. Tem como característica marcante o turismo religioso.

Quanto ao município de Barbalha, é uma importante região, perenemente irrigada por águas de fontes naturais.

Esses municípios dispõem de um importante patrimônio ambiental, cultural, científico e histórico, visto que estão inseridos nos novos territórios do século XXI, de acordo com a Declaração do Araripe.

Quanto à presente pesquisa, trata-se de um estudo de natureza exploratória com abordagem qualitativa e quantitativa, na busca de maiores informações sobre a situação dos lixões nos municípios já explicitados.

A pesquisa se refere à atual caracterização dos aspectos e impactos perceptíveis da localização dos lixões municipais, entre os meses de agosto de 2016 e abril de 2017. Para tanto, foram coletados dados quantitativos e qualitativos como cursos d'água, distância do aeroporto, núcleos residenciais e qualitativos como distância dos núcleos de

baixa renda, ocupação de vias de acesso, problemas com a comunidade local, área do terreno, vida útil, acesso a veículos pesados, distância ao centro de coleta e uso do solo.

A coleta e tratamento dos dados sobre a localização dos lixões foram realizados a partir da cartografia disponível da região e em registros de inquérito no Ministério Público de cada município.

As visitas às áreas foram realizadas com registro fotográfico (Figuras 3, 4 e 5) e utilizado o aplicativo gratuito Google Earth para registro de imagens aéreas dos lixões. Quanto ao georreferenciamento, foi feito *in loco*, utilizando o GPS portátil marca Garmin GPSMAP 60 CSX, assumindo como referência o acesso principal a essas áreas.

Figura 3, 4 e 5: Disposição de resíduos sólidos no lixão a céu aberto nos Municípios de Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha, Ceará (2017)



Nenhum dos municípios pesquisados possui uma usina de triagem e compostagem. Assim, todos os resíduos sólidos coletados têm como destino final o lixão. Alguns poucos materiais são encaminhados para as Associações de Catadores, em um trabalho pontual, em cada município. Por meio da coleta de materiais recicláveis nos bairros, os catadores também comercializam (compram e vendem) os materiais, quais sejam: garrafas PET, plástico mole, plástico tipo filme limpo e semilimpo, embalagens “brilux”, recipientes “polidor”, cadeira de plástico, tubo de 5L, tubo de 2L, PVC, papel branco e colorido, jornal, papelão, ferro, latinha, cobre, panela de alumínio, bacias, garrafinha tipo

“coquinho”, garrafas long neck, garrafas de “ypióca”, recipientes de óleo, recipientes de detergente, tampas, “melissa” etc. Quanto aos rejeitos da coleta seletiva, são enviados ao lixão.

A partir dessa coleta de dados, são definidos os critérios a serem avaliados pelo tomador de decisão, utilizando como ferramenta de apoio à tomada de decisão o M-Macbeth, para a realização da análise de multicritério como uma forma de estabelecer a importância dos critérios escolhidos, e, posteriormente, auxiliar os gestores municipais.

Para a realização do estudo de caso, foi efetuada a coleta de informações conceituais dos resíduos sólidos

urbanos, legislação ambiental, metodologia M-Ma-cbeth, em busca de um referencial teórico. Em sequência a isso, deu-se a busca por informações sobre os municípios e a localização dos lixões. A partir disso, a fase seguinte foram as observações in loco e contato direto com os gestores municipais ligados à área ambiental, com os presidentes e representantes das associações de materiais recicláveis e com o Ministério Público de cada município pesquisado. De posse dos dados, foram realizados o tratamento, a análise e a interpretação dos dados com o software M-Ma-cbeth, desenvolvendo-se tabelas, gráficos e figuras.

5 RESULTADOS

Os critérios do problema são: ambiental, social e econômico. Quanto às variáveis utilizadas, foram distribuídas em qualitativas e quantitativas. As variáveis quantitativas representam valores encontrados na norma NBR 13.896/1997 e no Manual do Ibam (Instituto Brasileiro de Administração Municipal). As variáveis qualitativas consistem em valores

obtidos pelo conhecimento de especialistas e técnicos da área, conforme Quadro 1.

Quadro 1: Variáveis Qualitativas e Quantitativas

	Quantitativa		Qualitativa
A1	Proximidade de curso d'água	A6	Distância de núcleos de baixa renda
A2	Permeabilidade do solo	A7	Ocupação de vias de acesso
A3	Distância de lençol freático	A8	Problemas com a comunidade local
A4	Distância de aeroportos	A9	Área do terreno
A5	Proximidade de núcleos residenciais	A10	Vida útil
		A11	Acesso a veículos pesados
		A12	Distância ao centro de coleta
		A13	Uso do solo

Fontes: NBR 13.896/97 e Manual do IBAM (adaptado)

Para os critérios ambiental, social e econômico, conforme a norma NBR 13.896/1997, a tabela 19 do IBAM, o Manual de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos e o conhecimento dos especialistas, são estimados os valores mínimos exigidos para as variáveis, de acordo com o Quadro 2:

Quadro 2: Critérios e Variáveis

Critérios	Variáveis	Prioridade	Descrição dos níveis de impacto para cada variável	Referência / classificação
AMBIENTAL	Proximidade de curso d'água	1	As áreas não podem situar-se a menos de 200 m de corpos d'água.	Extrema
	Permeabilidade do solo	4	É desejável que o solo tenha uma baixa condutividade hidráulica para evitar a percolação do chorume.	Moderada
	Distância de lençol freático	1	Entre a superfície inferior do vazadouro	Extrema
	Distância de aeroportos	1	Áreas de aterros não devem se situar próximas a aeroportos aeródromos. A distância mínima é de 3 km	Extrema
SOCIAL	Proximidade de núcleos residenciais	1	Recomenda-se que essa distância seja superior a 1000 m (baseado no IBAM)	Extrema
	Distância de núcleos de baixa renda	2	Os núcleos são locais que atraem pessoas de baixa renda, que se atraem pela catação de lixo e vivem dele em condições insalubres, gerando responsabilidade social e política para o município	Muito forte
	Ocupação de vias de acesso	2	Áreas com baixa densidade demográfica	Muito forte
	Problemas com a comunidade local	2	Indisposição com o poder público, gerando reações negativas na mídia	Muito forte
ECONÔMICO	Área do terreno	3	Tamanho ocupado para a destinação final dos resíduos sólidos	Forte
	Vida útil	4	Tempo (em anos) em que os resíduos vêm sendo jogados na área	Moderada
	Acesso a veículos pesados	4	Apresentar pavimentação de boa qualidade, sem rampas íngremes e sem curvas acentuadas, de forma a minimizar o desgaste dos veículos coletores, assim como permitir seu livre acesso ao local de vazamento mesmo na época de chuvas muito intensas	Moderada
	Distância do centro de coleta	3	Menor percurso possível de ida (ou de volta) por meio das ruas e estradas existentes, com vistas a reduzir o seu desgaste e o custo de transporte do lixo	Forte
	Uso do solo	1	Desejável que área não seja de proteção ambiental (APA)	Extrema

Fontes: NBR 13.896/97 e Manual do IBAM, tabela 19 (adaptado)

A priorização e o peso das variáveis de seleção foram baseados e adaptados pelo Manual do IBAM, assim tem, Quadro 3:

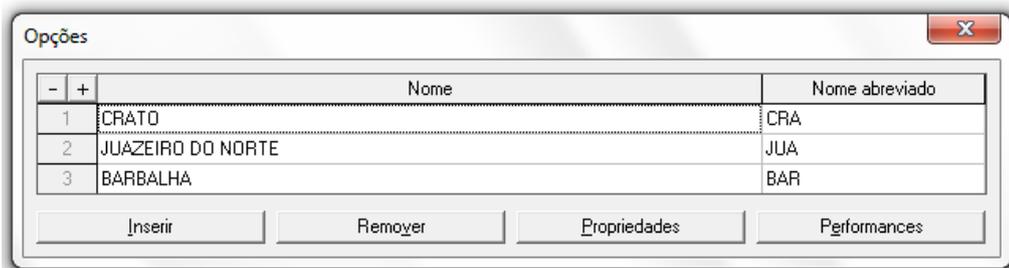
Quadro 3: Priorização e Peso das Variáveis de Seleção

Prioridade	Variáveis
1	Atendimento ao Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras e à legislação ambiental em vigor
2	Atendimento aos condicionantes político-sociais
3	Atendimento aos principais condicionantes econômicos
4	Atendimento aos principais condicionantes técnicos
5	Atendimento aos demais condicionantes econômicos
6	Atendimento aos demais condicionantes técnicos

Fonte: Manual do IBAM (adaptado)

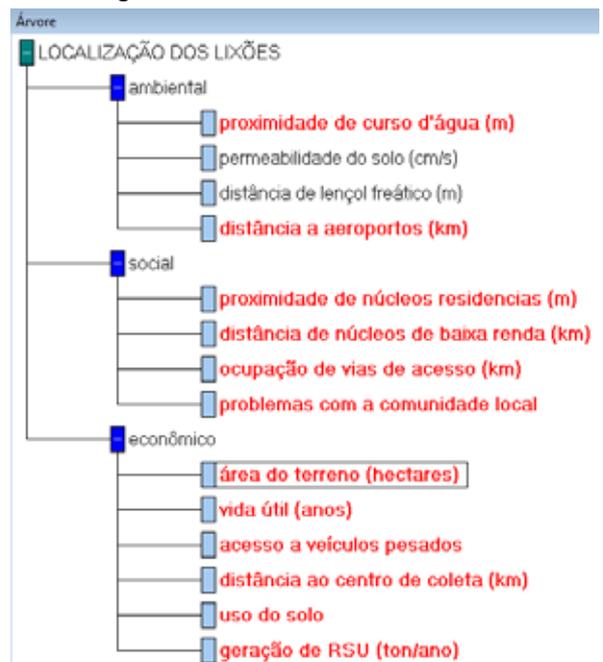
A estruturação do modelo proposto é iniciada pelo processo de construção da árvore de critérios e a definição das opções de estudo a serem analisadas. A ordem dos critérios elencados na árvore de critérios foi definida pelos gestores e técnicos do estudo e opções abordadas no artigo serão os produtos finais, gerados a partir da utilização dos RSU, tais como são demonstrados na Figura 6.

Figura 6: Definição das opções de estudo



A Figura 7 mostra a árvore M-Macbeth elaborada a partir do levantamento de informações sobre a situação dos lixões nos três municípios. Com relação aos nós destacados em vermelho: cursos d'água, distância do aeroporto, núcleos residenciais e qualitativos como distância dos núcleos de baixa renda, ocupação de vias de acesso, problemas com a comunidade local, área do terreno, vida útil, acesso a veículos pesados, distância ao centro de coleta e uso do solo são os critérios de avaliação.

Figura 7: Árvore de critérios elaborada



Desse modo, a partir do quadro apresentado, foram definidas as propriedades do nó de cada critério destacado na árvore M-Macbeth, ressaltando que foram adotados níveis quantitativos de performance para os critérios proximidade do curso d'água, distância a aeroportos, área do terreno, vida útil, geração de resíduos sólidos, visto que esses critérios são definidos de acordo com as opções em que cada município pesquisado pode

deixar de agredir o meio ambiente. No que se refere aos critérios acesso a veículos pesados, distância ao centro de coleta e uso do solo, foram trabalhados os níveis qualitativos de performance.

As Figuras 8 e 9 mostram como se deu a definição dos níveis quantitativos e qualitativos de performance dos critérios elencados, de modo que se tornam base para realizar posteriormente a comparação intercritérios.

Figura 8: Nível de Performance Quantitativo

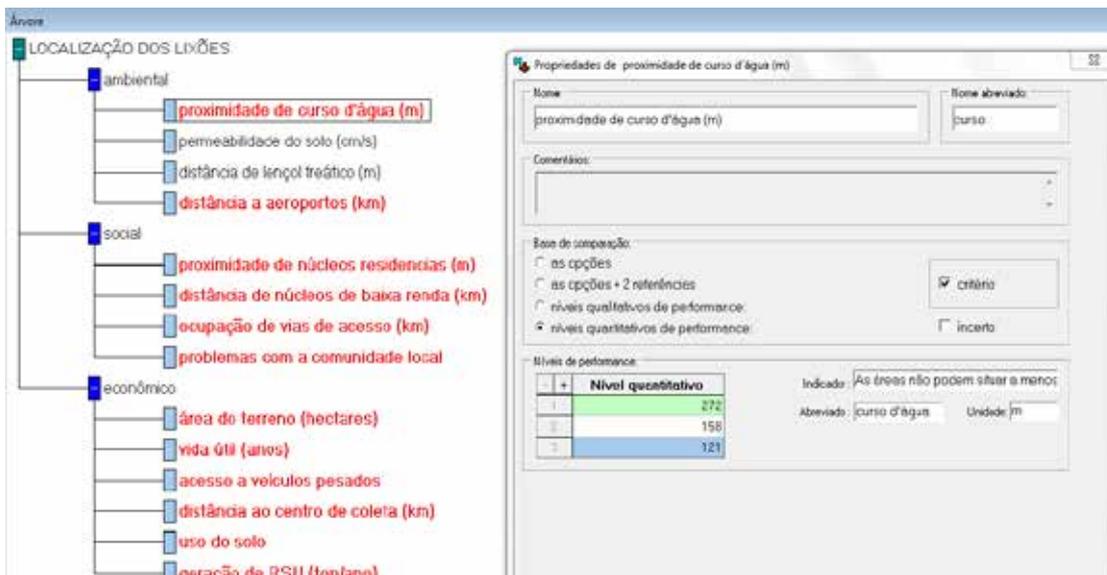
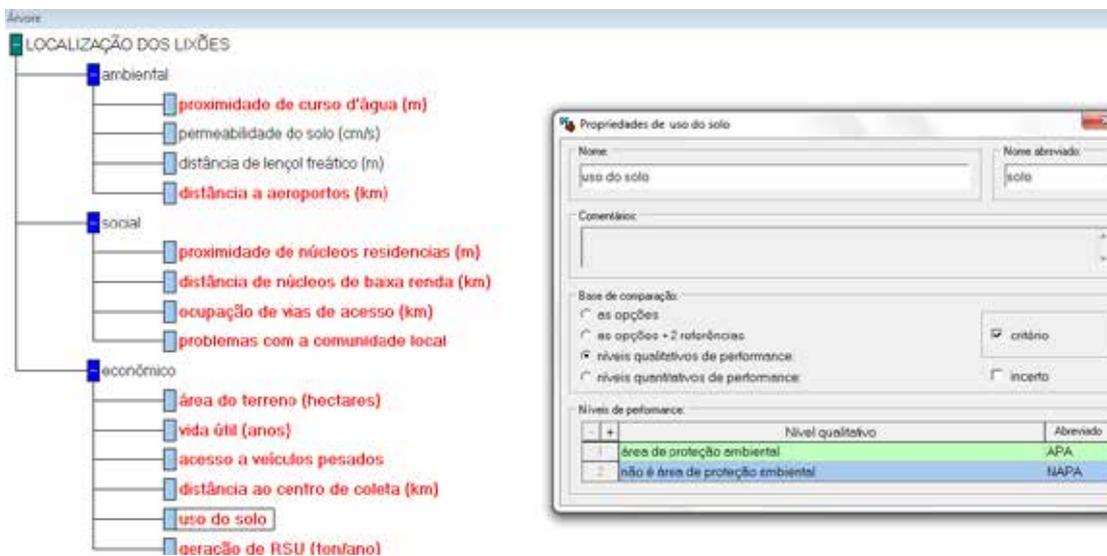


Figura 9: Nível de Performance Qualitativo



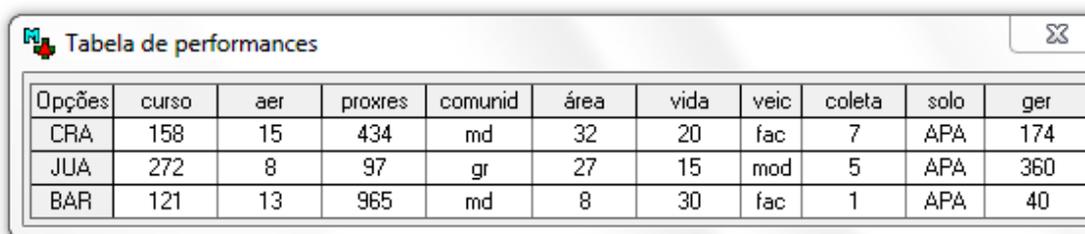
Quanto aos critérios definidos para o estudo, são descritos pelos indicadores demonstrados na Tabela de Julgamentos dos valores das variáveis nos municípios analisados, que foi construída a partir de informações de pesquisas realizadas de cada opção possível.

Tabela 1: Valores das variáveis nos municípios analisados

Critérios	Variáveis	Crato	Juazeiro do Norte	Barbalha
AMBIENTAL	Proximidade de curso d'água (m)	158	272	121
	Permeabilidade do solo (cm/s)	-	-	-
	Distância de lençol freático (m)	-	-	-
	Distância de aeroportos (km)	15,34	8,28	13
SOCIAL	Proximidade de núcleos residenciais (m)	434	97,3	965
	Distância de núcleos de baixa renda (km)	Pequena	Pequena	Pequena
	Ocupação de vias de acesso (km)	Fácil	Fácil	Fácil
	Problemas com a comunidade local	Médio	Grande	Médio
ECONÔMICO	Área do terreno (hectares)	31,5	27	7,48
	Vida útil (anos)	20	15	30
	Acesso a veículos pesados	Fácil	Moderado	Fácil
	Distância ao centro de coleta (km)	6,8	4,8	0,72
	Uso do solo	APA	APA	APA
	Geração de RSU (ton/ano)	174	360	40

Para cada variável foi definida a influência no município, a partir da classificação para cada nível, conforme as informações coletadas. Dessa forma, as informações foram transmitidas da tabela de julgamentos e alimentaram a tabela de performances do M-Macbeth, como mostra a Figura 10.

Figura 10: Tabela de Performances

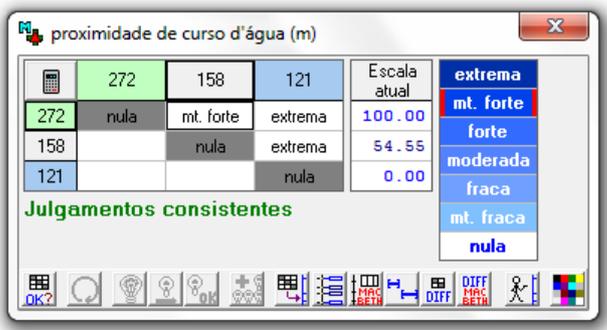


Opções	curso	aer	proxres	comunid	área	vida	veic	coleta	solo	ger
CRA	158	15	434	md	32	20	fac	7	APA	174
JUA	272	8	97	gr	27	15	mod	5	APA	360
BAR	121	13	965	md	8	30	fac	1	APA	40

Em seguida, ocorre a ordenação das opções ou níveis de desempenho dos critérios, realizando-se o julgamento qualitativo de atratividade para cada critério. Todas as diferenças de atratividade foram pré-definidas pelos autores da

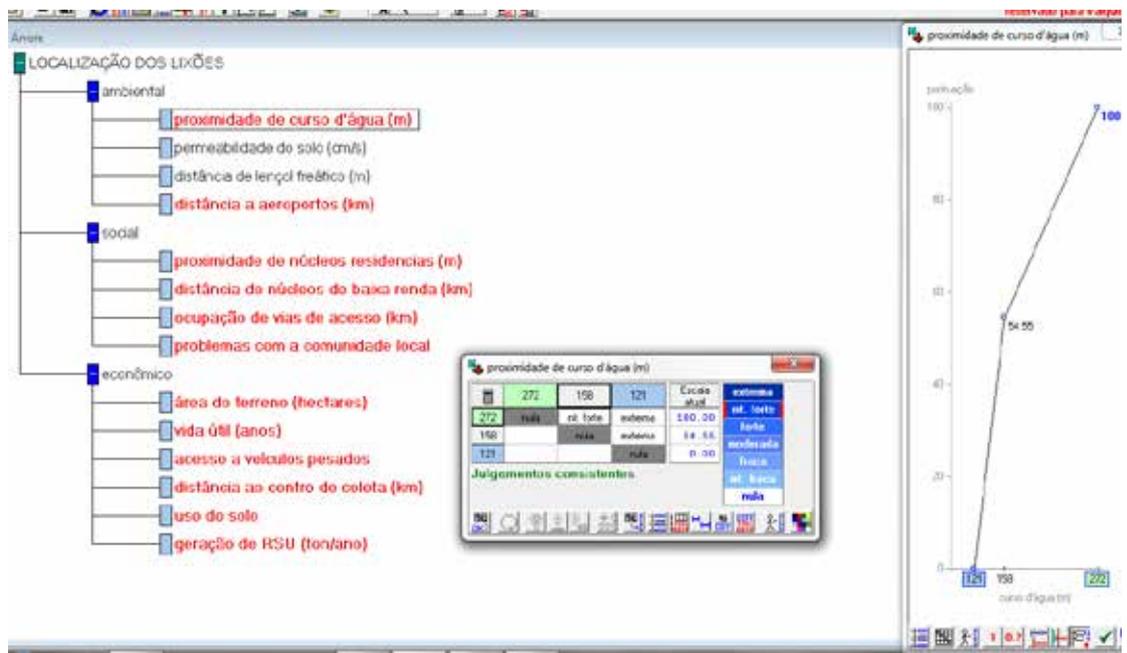
pesquisa e tratadas pelo software, que automaticamente verifica a compatibilidade com os julgamentos inseridos na matriz, acusando JULGAMENTOS CONSISTENTES, conforme mostra a Figura 11.

Figura 11: Preenchimento mostrando o nível de atratividade do critério A



A Figura 12 mostra como se apresenta uma escala de pontuação ancorada nos níveis de referência previamente estabelecidos nas propriedades do critério e atribuem as pontuações.

Figura 12: Resultado das diferenças de atratividades julgadas para o critério A com sua respectiva escala Macbeth definida pelo software



As referências de ponderação são mostradas na Figura 13, em que são indicadas as mais viáveis, assim como demonstra uma referência global com performances nos critérios iguais às respectivas referências inferiores.

Figura 13: Referências de ponderação do critério A

Referências globais	curso	aer	proxres	baixrend	ocupvias	comunid	área	vida	veic	coleta	solo	ger
[curso]	272	15	434	CRA	CRA	gr	32	20	dt	7	APA	360
[aer]	158	8	97	JUA	JUA	md	27	15	mod	5	NAPA	174
[aer]	121	13	965	BAR	BAR	peq	8	30	fac	1		40
[comunid]												
[área]												
[vida]												
[veic]												
[solo]												
[ger]												
[baixrend]												
[ocupvias]												
[proxres]												
[coleta]												
[tudo inf.]												

Após o preenchimento das referências de ponderação, analisa-se a atratividade para cada opção em relação a cada critério estabelecido. Quanto ao resultado do julgamento de atratividade intercritérios, pode ser visualizado na Figura 14, que apresenta as pontuações de cada critério, baseadas na avaliação qualitativa.

O resultado é que, após a etapa de modelagem da pesquisa, o software oferece a tabela de pontuações para cada município em relação aos critérios envolvidos e aos pesos de cada critério.

Figura 14: Tabela de pontuações

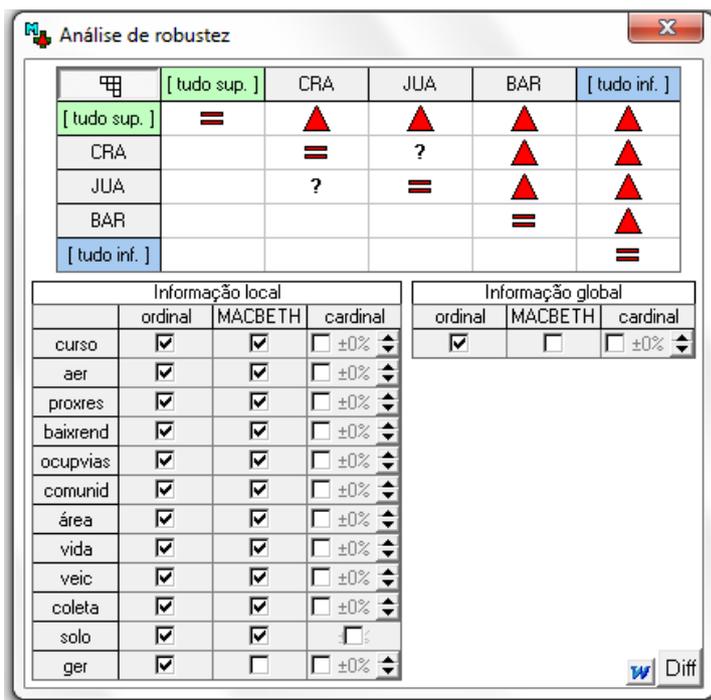
Opções	Global	curso	aer	proxres	baixrend	ocupvias	comunid	área	vida	veic	coleta	solo	ger
CRA	73.75	54.55	100.00	100.00	100.00	100.00	50.00	100.00	100.00	0.00	100.00	100.00	50.00
JUA	71.52	100.00	50.00	50.00	50.00	50.00	100.00	50.00	50.00	50.00	40.00	100.00	100.00
BAR	14.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
[tudo sup.]	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
[tudo inf.]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pesos :		0.1567	0.1406	0.0184	0.0484	0.0346	0.1336	0.1244	0.1083	0.0922	0.0023	0.0760	0.0645

Na análise da tabela de pontuações (Figura 14), percebe-se que a escala resultante de valores ficou entre os dois valores de referência (100) e (0). Logo, não se pode descartar nenhuma opção nessa etapa de análise.

Ao ordenarem-se as opções, tem-se: Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha. No entanto, para não ter uma conclusão precipitada, analisando-se somente a tabela de pontuações, existe também a possibilidade de se verificar qual é o município que apresenta maiores deficiências em sua área de descarte final

de resíduos sólidos, que seria por meio da análise de robustez, como ilustra a Figura 15, em que o símbolo em vermelho (triângulo equilátero) representa tal situação que uma opção domina outra opção se for mais atrativa nos nós critérios, ou, ao menos, em um critério. A análise de robustez mostra, exatamente, a melhor decisão a ser tomada, visto que nela estão contidas todas as informações relevantes da localização atual dos lixões e sua atratividade, podendo-se, assim, tomar uma decisão, ainda que com um olhar apenas superficial.

Figura 15: Análise de robustez elaborada pelo M-Macbeth



6 CONCLUSÕES

Com o acelerado aumento da geração de resíduos sólidos, o lixão se torna um dos maiores desafios enfrentados pelos municípios, devido à contaminação das águas terrestres e superficiais; e um grande problema para as comunidades, por causa da poluição atmosférica e cheiros de fermentação de resíduos degradáveis, doenças e ausência de controle ambiental.

O software M-Macbeth faz a análise dos atributos inseridos na árvore submetida por quem tem o propósito de tomar a decisão e posteriormente calcula os valores das variáveis nos atributos, chegando, assim, a uma classificação final e demonstrando os resultados obtidos, sem o intermédio de qualquer órgão externo.

A pesquisa foi realizada analisando-se dados de três importantes municípios da Região do Cariri, os quais apresentam deficiências na destinação final dos seus resíduos sólidos. Assim, considerou-se apropriada e eficiente a utilização da fer-

ramenta para auxiliar na tomada de decisão, pelo fato de seus resultados serem precisos e condizentes com a situação analisada no trabalho.

Verificou-se que, entre os municípios, o que possui melhor pontuação é o município de Barbalha. No entanto, a quantidade de resíduos sólidos ali gerados é bem menor que a dos demais municípios, assim como a população atendida é a menor entre os demais municípios. Nesse quesito, vem, em seguida, o município de Juazeiro do Norte e, por fim, o município do Crato.

REFERÊNCIAS

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil, 2010**. Disponível em http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2010/key_stats_2010.pdf. Acesso em: 27 abril 2016.

AHMED, S.; ALI, S. People as partners: facilitating people's participation in public private partnerships for solid waste management. **Habitat International**, 30(4), 781 e 796, (2006).

- ALM, J. Financing urban infrastructure: knowns, unknowns, and a way forward. *Journal of Economic Surveys*, v. 29, n. 2, p. 230-262, (2015).
- BATISTA D. M. B. O uso do método da listagem de controle na identificação de impactos ambientais: o caso do lixão de uma cidade de médio porte. In: **XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. São Carlos-SP. 2010.
- BRASIL. Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010. Estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF; 2010.
- BRASIL, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro: IBGE; 2010.
- BRASIL. Congresso Nacional. Política Nacional de Resíduos Sólidos. *Lei 12.305/2010*.
- COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM - CEMPRE. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**, 2. ed. corr. Brasília, Editora Páginas e Letras, 2002.
- FARIA, F. S. **Índice da Qualidade de Aterros de Resíduos Urbanos - IQA**. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 312p.
- MARSHALL, R. E.; FARAHBAKSH, K. Systems approaches to integrated solid waste management in developing countries. *Waste Management*, v. 33, n. 4, p. 988-1003. 2002 (2013).
- FONSECA, J.; MORAES, M. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Pará – UFPA. Belém, 2006. Resenha de: SANTOS, Milton. A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção. São Paulo: Hucitec, 7p. 1996.
- HAMMES, V. S. **Percepção do Impacto Ambiental**. v. 4. São Paulo: Globo, 2004.
- IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Ceará em números 2011-2012**. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/publicacoes/ceara_em_numeros/2011/completa/Ceara_em_Numeros_2011.pdf>. Acesso em: 17 out. 2016.
- MAZZINI, Ana Luiza D. de Amorim. **Dicionário educativo de termos ambientais**. Belo Horizonte: Conselho Regional de Química – MG, 2003. 384p.
- MAVROPOULOS A.; NEWMAN D. **Wasted Health – The tragic case of dumpsites**. *International Solid Waste Association – ISWA*. Jun. 2015. Disponível em https://www.iswa.org/fileadmin/galleries/Task_Forces/THE_TRAGIC_CASE_OF_DUMPSITES.pdf. Acesso em: 17 out. 2016.
- MOGHADDAS, N. H.; NAMAGHI, H. H. Hazardous waste landfill site selection in Khorasan Razavi Province, Northeastern Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 4(1e2), 103e113. 2009.
- OJHA, C. S. P.; GOYAL, M. K.; KUMAR, S. Applying fuzzy logic and the point count system to select landfill sites. *Environmental Monitoring and Assessment*, 135(1e3), 99e106. 2007.
- RAHMAN, M. M.; SULTANA, K. R.; HOQUE, M. A. Suitable sites for urban solid waste disposal using GIS approach in Khulna city, Bangladesh. *Proceedings of Pakistan Academy of Sciences*, 45(1), 11e 22. 2008.
- RUSSO, M. A. T. **Tratamento de resíduos sólidos**. Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciência e Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil. 2003.
- SANTOS, Milton. **A urbanização brasileira**. São Paulo: Hucitec, 1994. 157p.
- SINGH, A.; SHARMA, S. Composting of a crop residue through treatment with microorganisms and subsequent vermicomposting. *Bioresource Technol* 85(2):107–111. 2002.
- TORRES, N. T.; ESPENCHITT, D. G.; LINS, M. P. E. Estudo de caso: Metodologias M-Macbeth e SAD-Thor para a tomada de decisão – Escolha de um rebocador marítimo. **Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha** – Rio de Janeiro-RJ, Brasil, 12 e 13 de agosto de 2010.
- VILHENA, A. (Coord.). **Lixo municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**; 2. ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.