

**MÉTODO MULTICRITERIAL HIERARQUIZADO PARA LOCAÇÃO DE
ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS, APLICADO NO ESTUDO DE VIABILIDADE
DO MUNICÍPIO DE BENEVIDES – PARÁ**

A Ranked Multicriteria Method For Solid Waste Landfill Site Selection Applied To Benevides County
(Pará)

Un Método de Criterio Múltiplo e Jerarquizado de Seleccion de Sitio Para la Ubicacion del Relleno Sanitario,
O Caso de Distrito de Benevides, Pará

Manoella Cristina Gadelha Vaz
Instituto Evandro Chagas
manoellavaz@hotmail.com

Leonardo Augusto Lobato Bello
UNAMA
lalbello1402@gmail.com

Marco Valério de Albuquerque Vinagre
UNAMA
valeriovinagre@gmail.com

Tácio Mauro Pereira De Campos
PUC-RJ
tacio@puc-rio.br

Erico Gaspar Lisboa
Universidade do Porto-PT
dec12006@fe.up.pt

Resumo: Apresenta-se um modelo simplificado de análise aplicado ao mapeamento de áreas adequadas à implantação de aterros de resíduos no município de Benevides, situado na Região Metropolitana de Belém. Com o modelo proposto, que determina um indicador de Viabilidade de Implantação de Aterro (VIA), foi possível identificar áreas com diferentes níveis de viabilidade, em função de seis critérios de controle, formação geológica, cursos d'água, habitações, distância de aeroportos, zonas especiais de interesse ambiental (ZEIA) e pontos de abastecimento de água, a partir dos quais foram gerados mapas de critérios. A superposição destes mapas produziu um mapa de viabilidade que foi comparado com outra análise do VIA realizada por meio da discretização do território investigado e de ponderações. Os resultados apontam para a existência de poucas áreas viáveis no município estudado, porém igualmente indicam que as ponderações do indicador proposto possibilitam a identificação de áreas passíveis de adequações.

Palavras Chaves: Aterros. Resíduos. Locação. Modelo Multicriterial.

Abstract

This paper presents a simplified model of analysis applied to mapping of areas to settle solid waste landfills in Benevides county, in Belém's metropolitan region. The model, which takes into account a waste landfill

viability indicator (VIA), is able to identify areas with different degrees of viability, considering six criteria: geology, water bodies, households, airports, areas of environmental interests, and supply water points, by means of map constructions. Overlapping of these creates a viability map of the area which, in turn, can be compared to a VIA weighted analysis of discrete continuum. Results point out to very few existing viable areas in the county, but also indicate that a weighted analysis could imply in identifying areas that could be, as well, taken into granted, if some level of modification is imposed. Research concludes that proposed model is viable as simple methodology of waste landfill location, and also that overlapping could lead to very rigid analysis which could leave out of the context areas with a certain degree of viability for solid waste landfill location.

Key Words: Landfill. Solid Waste. Location. MulticriteriaModel.

Resumen

Este texto presenta un modelo simplificado de investigación aplicado a la identificación de sitios adecuados a la ubicación de relleno sanitario de distrito de Benevides, situado en la región metropolitana de Belém. Lo modelo propuesto, que determina un indicador de Viabilidad de Ubicación de Rellenos (VIA), posibilita identificar áreas con diferentes grados de viabilidad de acuerdo con sus criterios, formación geológica, cursos de agua, habitaciones, distancia desde el aeropuertos, zonas especiales de interés ambiental (ZEIA) e pontos de abastecimiento de agua, a partir distes fueran producidos mapas de criterios. La unión distes produjo un mapa de viabilidad que fui comparado con otra análisis ponderada del VIA realizado por una discretización de lo territorio e investigado. Los resultados indican la existencia de pocas áreas con viabilidad en el territorio estudiado, sin embargo también indican que los ponderadores hacen que lo indicador propuesto posibilite una identificación de áreas con posibilidad de adecuaciones. Concluí-sé que lo modelo propuesto es viable como metodología de ubicación de relleno sanitario y que solamente un solapamiento de mapas, sin establecer grados de importancia a los criterios, acaba por hacer descarrilar algunas áreas que podrían ser adecuadas como ubicación de relleno.

Palabras Claves: Relleno Sanitario. Residuos. Ubicación. Modelo.

INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos 30 anos, a expansão da industrialização e a mudança dos padrões de consumo impostos pela sociedade levaram a diversas alterações no meio ambiente (BRASILEIRO e RODRIGUES, 2008). Dentre elas, destaca-se o acúmulo desenfreado de resíduos sólidos urbanos e o seu descarte de forma incorreta. No Brasil, esse problema ainda é muito presente, pois a precariedade de planejamento urbano e o crescimento desordenado das cidades fazem com que essa problemática ainda esteja distante de ser resolvida (AYACH *et al.*, 2012).

De acordo com dados da ABRELPE (2012), a disposição final de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), nas Regiões Sudeste e Sul do país, tornou-se mais expressiva em aterros sanitários, reduzindo o número de lixões ativos. Entretanto, nas regiões Norte, Nordeste e Centro Oeste, o número de lixões a céu aberto ainda é predominante e poucos projetos para a construção de novas áreas de aterro sanitário têm sido efetivados.

A fim de dar novos rumos para a gestão de RSU no país, foi aprovada, em 2010, a Lei Federal nº. 12.305, que define a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010). A referida Lei estabeleceu o final do ano de 2014 como prazo para que todos os municípios tivessem os seus planos integrados de resíduos sólidos prontos. Entretanto, sabe-se que tais determinações da Lei não foram cumpridas por grande parte dos municípios brasileiros, principalmente na Região Norte.

Uma das etapas que envolve a implantação de um plano integrado de RSU é o estudo de áreas para locação de aterros sanitários, que é subsidiado através de estudos técnicos, ambientais, sociais e econômicos acerca da área em questão (LIMA, 2001). Para que isso ocorra, são necessários investimentos em tempo e recursos que auxiliarão nas tomadas de decisões para a solução da problemática dos RSU em quaisquer municípios. Isso é especialmente

importante para o caso da Região Metropolitana de Belém, onde atualmente há disponível apenas um local de disposição e tratamento para toda a região (e.g. SEMAS, 2017a), o qual que tem apresentado inúmeras infrações, identificadas pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Sustentabilidade (e.g. SEMAS, 2017b), e ocasionado grande descontentamento da população e diversos impactos ambientais e urbanos no local.

Nesse contexto, o presente artigo tem como objetivo apresentar e discutir os resultados de um método auxiliar de estudo de viabilidade de locação de aterros sanitários, aplicado ao estudo do município de Benevides, na Região Metropolitana de Belém (RMB), Estado do Pará. Neste artigo, apresenta-se a metodologia desenvolvida com base em aspectos multicriteriais hierarquizados, que permitiram selecionar regiões com diferentes níveis de viabilidade para receber um aterro sanitário, em atendimento, entre outros, aos parâmetros preconizados pela legislação, em especial normativas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e critérios propostos por Vaz (2015).

O município de Benevides, foco da pesquisa, faz parte da RMB (Lei Complementar Estadual nº027/1995) e é constituído por uma área de 187,826 km². Estima-se que esse espaço seja ocupado por uma população de aproximadamente 56.000 habitantes (IBGE, 2010). O município possui seis distritos sedes, quais sejam: Santa Maria, Benfica, Murinin, Paricatuba Benevides Centro e Taiassuí, regiões essas delimitadas pelo plano diretor do município de 2006. Neste contexto, o distrito de Benevides Centro é o polo do município para oferecimento de bens e serviços sendo, consequentemente, o distrito com maior densidade populacional.

O método utilizado neste artigo se constitui como uma ferramenta adicional no apoio à tomada de decisões, quando se considera, por exemplo, o Estatuto da Metrópole, que determina a elaboração de planos de desenvolvimento urbano integrado em regiões metropolitanas até 2018, ou, ainda, o que preconiza a Lei no. 11.445, de 05 de janeiro de 2007, que trata da política nacional de saneamento básico, além dos decretos no. 7.217, de 21 de junho de 2010, e o Decreto no. 8.211, de 21 de março de 2014, que regulamentam a referida lei e estabeleceram prazos para elaboração dos planos de saneamento municipais. A efetivação dos instrumentos normativos elencados certamente poderá fazer uso do instrumento técnico aqui descrito no processo de investigação de áreas para a locação de aterros sanitários.

MATERIAIS E MÉTODOS

O método multicriterial - VIA

O modelo multicriterial empregado neste artigo foi concebido com base na avaliação proposta por Monteiro *et al.* (2001). Buscou-se construir um indicador numérico de representação da viabilidade de locação de aterro sanitário, denominado simplesmente de **VIA**, o qual pudesse hierarquizar, de maneira simples, as áreas do município investigado em três níveis distintos de viabilidade: (i) áreas viáveis; (ii) áreas viáveis com adequações; e (iii) áreas inviáveis, conforme o Quadro 1. O valor de VIA varia entre 1,0 e 3,0. O valor maior representa viabilidade e o valor menor inviabilidade, e pode ser obtido por meio da equação 1.

Quadro 1. Escala de valoração do indicador VIA e designação de viabilidade

VIA	Designação de Viabilidade
1,0 – 1,9	Área inviável
2,0 – 2,5	Área viável com adequações
2,6 – 3,0	Área viável

Fonte: elaborado pelos autores

$$VIA = \sum_{i=1}^{v_c} \frac{NA \cdot X_i \times P_i}{v_c} \quad \text{(Equação 1)}$$

em que NA_{Xi} é a Nota de Avaliação da Variável de Controle X_i , que tem Peso de ponderação P_i e v_c é a número de variáveis de controle, que para este caso é 6. O estudo para avaliação do VIA neste trabalho ocorreu em duas etapas: (i) superposição de variáveis de controle; (ii) ponderação de células discretizadas. No primeiro caso, cada uma das seis variáveis de controle do VIA foi estudada de maneira individual, conforme critérios que serão apresentados e discutidos em sequência. O estudo possibilitou a elaboração de seis mapas temáticos, representando zonas do território investigado (município de Benevides, Pará) com três diferentes níveis de classificação de viabilidade, quais sejam: (a) zona excluída - representando um perímetro investigado que não atende aos critérios da legislação; (b) zona intermediária - área que se traduz por um trecho do município investigado que está dentro do permitido pela legislação para a variável avaliada, mas que não é considerada como uma distância ideal; (c) zona favorável - áreas que não se enquadram em (a) e (b) e são consideradas favoráveis com base na variável investigada.

Por sua vez, a segunda etapa envolveu a discretização¹ do meio investigado para aplicar um critério mais ponderado na determinação do VIA, conforme expressa a equação 1, evitando, assim, a superposição direta de imagens obtidas na etapa anterior e exclusão de áreas potencialmente viáveis.

(i) Estudo do VIA por superposição das variáveis de controle

Nesta pesquisa, foram empregadas 06 variáveis de controle (X_i) no estudo da viabilidade, quais sejam: a) formação geológica; (b) distância de cursos d'água; (c) distância de habitações; (d) distância de Zonas Especiais de Interesse Ambiental (ZEIAS); (e) distância de aeroportos; e (f) distância de pontos de abastecimento de água. As referidas variáveis foram definidas tomando como base os critérios determinados pelas normativas da ABNT NBR 8419/92 "Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos" (ABNT, 1992) e ABNT NBR 13.986/96 (ABNT, 1996) "Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para Projeto, Implantação e Operação - procedimentos" (ABNT, 1996), e estão sintetizadas no Quadro 2.

As referidas normas brasileiras determinam diversos critérios de exigência para um projeto de locação de aterro e definem distâncias mínimas aceitáveis para cada um deles. Nesta pesquisa, os seis critérios selecionados foram embasados nas especificações mínimas das referidas legislações. Para cada critério, representado pela variável de controle, foi elaborado um mapa do território investigado ilustrando zonas com diferentes Notas de Avaliação (NA) considerando o contexto de locação de aterro. Portanto, NA=3 para zona Favorável, NA=2 para zona Intermediária e NA=1 para zona Excluída.

A variável X_1 - formações geológicas - trata de um requisito importante na escolha de área de locação de aterro sanitário, pois remete ao risco de falha do sistema de impermeabilização de fundo e contato do percolato contaminante (chorume) com o solo. Portanto, solos mais permeáveis, com predominância arenosa, não são considerados adequados para locação do aterro. Por outro lado, a adequação de locais para a finalidade em tela ocorre para os solos menos permeáveis (argilosos), que tendem a dificultar infiltrações. Neste artigo, áreas com a formação do subsolo com Plintossolopétrico, de características arenosas, foram consideradas como o pior cenário para implantação de aterros de RSU, e áreas com a formação do subsolo com predominância de Latossolo amarelo, de características argilosas, como o melhor cenário para implantação de aterros de RSU. Todavia, como não se dispunha de informações sobre o coeficiente de permeabilidade do solo (k), nos locais investigados, optou-se por atribuir um

¹DISCRETIZAR :Dividir ou particionar um todo em partes com menor complexidade, com a finalidade de facilitar cálculos. Na área de estatística e matemática, o termo é utilizado para expressar a individualização (discretização) de uma unidade contínua em unidades individuais (discretas).

peso menor para essa variável e trabalhar com formação geológica e não propriedade geotécnica. De fato, informações geotécnicas como permeabilidade do solo dificilmente estão disponíveis em municípios do Pará.

Quadro 2. Síntese das variáveis, valoração, notas e pesos atribuídos na determinação do VIA

Variável de Controle		Designação / Valoração			Peso
Nome	Descrição	Favorável (NA = 3)	Intermediária (NA = 2)	Excluída (NA =1)	(P)
X1	Formação Geológica	Solo Argiloso	Solo Siltoso	Solo Arenoso	1
X2	Distância de Cursos D'água	>300m	200 a 300m	<200m	4
X3	Distância de habitações	>600m	500 a 600m	<500m	5
X4	Distância de ZEIAs	>400m	300 a 400m	<400m	2
X5	Distância de aeroportos	>20km	-	<20km	2
X6	Distância de pontos de abastecimento SAEBE	>1km	500m a 1km	<500m	3

A variável X2 - distância de cursos d'água - tem grande importância na proteção contra possíveis acidentes ambientais, por potencializar a mobilidade do contaminante no meio ambiente. Segundo as normativas da ABNT, já citadas, qualquer empreendimento de aterro sanitário deve manter uma distância mínima de 200 metros de cursos de água. Atribuiu-se um peso de ponderação de importância de 4 pontos para X2.

Levando-se em consideração que todos os critérios adotados pelas normas visam proteger o bem-estar e a qualidade de vida da população, outra variável em destaque nesta pesquisa envolve a distância de habitações (X3), que busca investigar áreas passíveis de implantação de aterro, mas que detenham um afastamento mínimo de centros urbanos e aglomerações populacionais, proporcionando uma distância que favoreça tanto a logística de descarte de resíduos, quanto a minimização dos incômodos gerado à população. Para isso, a legislação determina que aterros sanitários sejam construídos a uma distância mínima de 500 metros de centros urbanos. Atribuiu-se um peso de ponderação de 5 pontos para esta variável

No Plano Diretor do Município de Benevides (Benevides, 2006), existem zonas definidas como Zonas Especiais de Interesse Ambiental (ZEIA), que são zonas protegidas ambientalmente, mas que, apesar disso, não apresentam irreversibilidade de interesse ambiental, como o caso de Áreas de Proteção Permanentes (APP). Apesar de detentoras de interesse ambiental no presente, esta pesquisa considerou tais zonas (variável X4) como importantes para um critério de avaliação, sem serem excludentes, uma vez que tal zoneamento poderá ser modificado no futuro quando da revisão do Plano Diretor do Município.

Por sua vez, a variável X5 é fundamental em qualquer avaliação de locação de aterros sanitários, pois considera a distância entre a destinação final e aeroportos na região, no intuito de proteção contra possíveis acidentes aéreos que poderiam ocorrer devido ao acúmulo de aves em regiões de aterros. Para isso, a legislação reconhece que a distância mínima entre um Aeroporto e um aterro de RSU deve ser de 20 km, separação considerada segura para a construção de tal empreendimento.

A variável X6, que trata da distância de pontos de serviços autônomos de abastecimentos de água, considera uma peculiaridade local da região, que é o uso de microssistemas de abastecimento de água, uma vez que o município investigado nesta pesquisa não possui centrais de tratamento e distribuição de água e caracteriza-se como uma região cujo abastecimento habitacional de água advém em grande parte por perfuração de poços artesanais. Em função disso, é comum no município a existência de poços rasos, de profundidade média de 30 metros, que abastecem pequenas

populações e serviços de bem comum. Para avaliar essa variável, foi considerada uma distância mínima de 500 m entre o aterro e pontos de abastecimento de água.

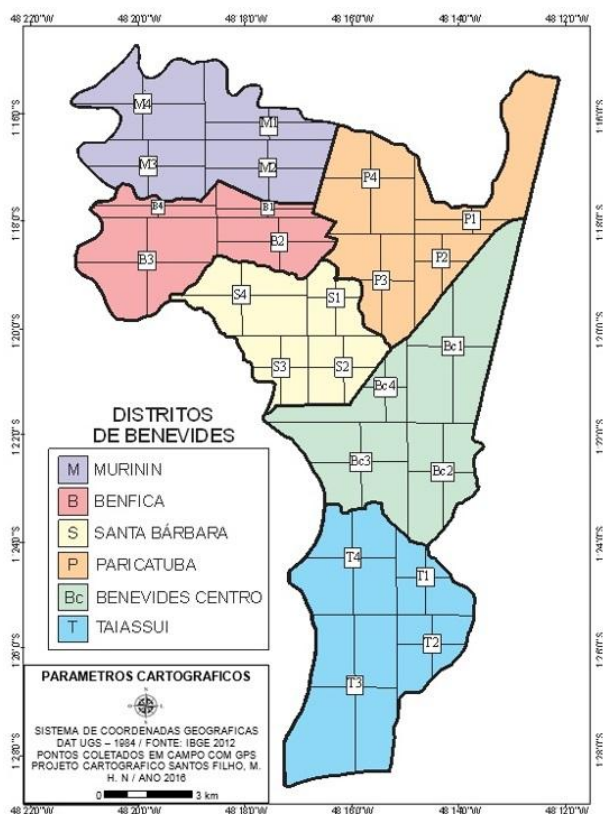
Após a definição e valoração das variáveis de controle, o estudo de caso foi realizado tomando como base o mapa georreferenciado do município, a partir do qual foi possível construir seis mapas temáticos para cada variável e visualizar a distribuição das zonas excluídas, intermediárias e favoráveis no território de maneira independente. Além disso, foi feita a superposição de todos os mapas temáticos para produção de um mapa único de viabilidade.

(ii) Estudo do VIA por ponderação de áreas discretizadas

Por entender que a superposição de imagens poderia ser rigorosa a ponto de excluir zonas com algum nível de viabilidade de implantação de aterros, Vaz (2015) optou por discretizar a área investigada no município de Benevides em células menores, isto é, transformar uma distribuição contínua em unidades individuais, a fim de melhor determinar a viabilidade.

Para tanto, os seis distritos de Benevides, quais sejam Murinin, Benfica, Santa Maria, Paricatuba, Benevides Centro e Tauassuí, foram inicialmente quarteados em quadrantes e esses subdivididos em subquadrantes, de modo que cada um dos seis distritos possuísse 16 células menores, totalizando 96 células de tamanhos diferentes na área investigada, como demonstra a figura 1. A análise seguiu pela imposição do território discretizado (Figura 1) em cada um dos seis mapas gerados no item anterior. Em seguida, cada uma das 96 células foi estudada individualmente, levando-se em conta o percentual de inviabilidade da célula para locação de um aterro para cada variável de controle, obtido pela relação percentual entre a *área inviável da célula* e a *área total da célula*. Assim, a Nota de Avaliação (NA) de cada célula foi obtida conforme valoração do Quadro 3, ou seja, quanto maior o percentual de inviabilidade, menor a nota atribuída à viabilidade de implantação de aterro de resíduos. O valor de VIA foi então calculado conforme a equação 01 para cada uma das células investigadas. Em seguida, um mosaico de viabilidade do território foi construído para fins de comparação com o mapa de superposição de viabilidade produzido na etapa anterior.

Figura 1 – Discretização dos distritos investigados



Fonte: elaborado pelos autores

Quadro 3. Classificação das notas atribuídas às células (VAZ, 2015)

Percentual de Inviabilidade	Nota de Avaliação (NA)
Até 30%	3
31% a 49%	2
Acima de 50%	1

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise de Viabilidade por Superposição de Mapas

A partir da base de dados georreferenciados, obtidos do município, foi possível identificar e traçar as respectivas zonas e *buffers*, delimitadas segundo o Quadro 2. Assim, para cada uma das seis variáveis de controle, aplicadas na pesquisa, gerou-se um mapa de viabilidade (ou de variáveis de controle), a fim de permitir a visualização das zonas excluídas ou moderadas para cada critério. Os mapas de viabilidade gerados para cada variável de controle podem ser visualizados nas Figura 2 a7.

O município de Benevides possui uma característica peculiar quanto ao abastecimento de água: devido à precariedade do sistema de infraestrutura, o município se caracteriza pela existência de inúmeros poços artesianos. Apesar de a maioria da população possuir seu próprio poço, há também microsistemas de abastecimento de água, com poços mais profundos monitorados pela prefeitura, que abastecem habitações em um determinado raio, incluindo espaços públicos como secretarias e escolas, denominados de pontos do SAEBE. Desse modo, a pesquisa destacou os pontos de poços municipais, que apesar de serem sistemas independentes se concentram em determinadas regiões de Benevides, principalmente na área mais urbanizada, o distrito de Benevides Centro. A partir destes pontos e das delimitações estabelecidas anteriormente, foi possível produzir o mapa da Figura 2, que limita parcialmente o uso dos

distritos Murinin, Benfica, Santa Maria, Benevides Centro e Taiassui, em diferentes proporções, mas que indica Paricatuba como área favorável.

A distância de aeroportos delimitada na Figura 3, considerando um raio mínimo de 20 km de distância, excluiu parcialmente apenas os municípios de Murinin e Benfica. As demais áreas estão favoráveis, uma vez que não existe distância intermediária para esse critério.

No projeto modelo de locação de aterro sanitário, em Volta Redonda, proposto por Gomes *et al.* (2014), foram levados em consideração 20 km para o aeroporto regional, que ainda estava em projeto de construção, assim como também os dois aeroportos dos municípios vizinhos de Resende e Araraquara, com intenso fluxo de serviços com o local de pesquisa e como aeroporto das cidades com mais infraestrutura.

Para o município de Benevides, que também não apresenta aeroporto próprio, segundo os padrões registrados pela INFRAERO, utilizou-se como referência o aeroporto de Belém Brigadeiro Protássio de Oliveira, situado na cidade de Belém, sede da Região Metropolitana e capital do Estado, e que possui intenso fluxo entre os municípios vizinhos.

Figura 2 – Mapas de Viabilidade considerando a variável de controle **Sistemas de Abastecimento de Água**

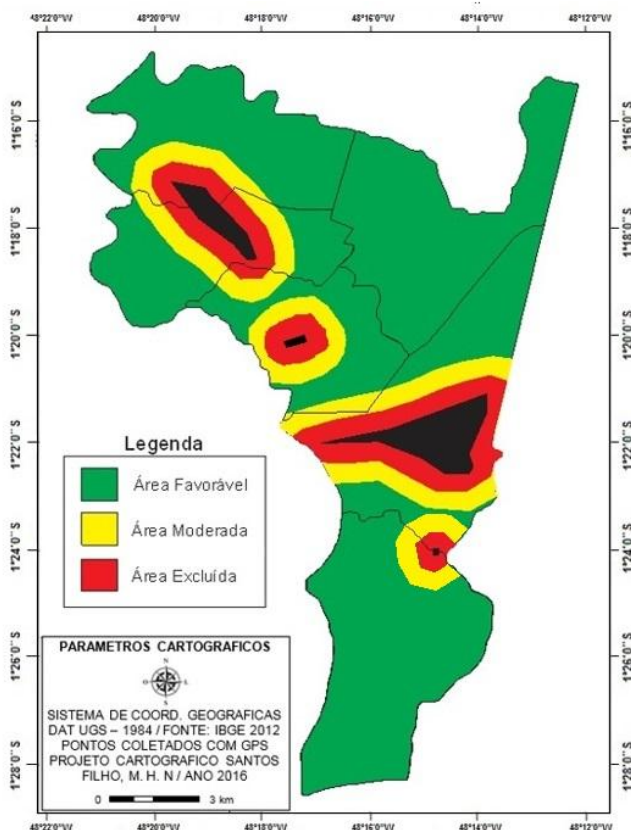
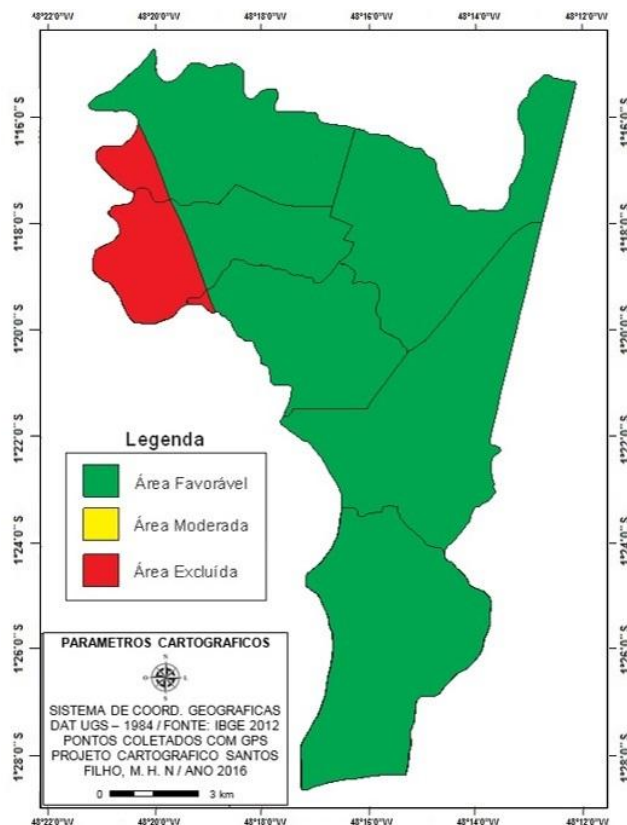


Figura 3 – Mapas de Viabilidade considerando a variável de controle **Distância de Aeroportos**



A Figura 4 delimita as exclusões no município de Benevides referente às zonas protegidas (distrito de Taiassui), que são destacadas como zonas especiais de interesse ambiental (ZEIA), segundo o descrito pelo Plano Diretor do Município (2006). Determina-se, segundo o artigo 42, que são protegidas “áreas com vegetação preservada, nas zonas rural e urbana, onde estão situadas as nascentes do Rio Benfica e ao longo de seu percurso na área urbana”, assim como “toda a área do Tauassuí e margem direita do rio Guamá, na área do município de Benevides”, e, por fim, são incluídas como ZEIAS as “ilhas limites com o município de Ananindeua”. Em seus estudos, Lupatini (2002) e Collares *et al.* (2004) também se apropriam de Áreas de Preservação Permanente ou correlacionadas a zonas de proteção ambiental como critério fundamental para a escolha da locação de aterros de RSU. Assim, as áreas descritas anteriormente como ZEIAS foram priorizadas pela grande importância regional para interesses socioeconômicos do município.

Apesar da importância de preservação de tais áreas, as ZEIAS são designadas segundo o Plano Diretor Municipal, condição, portanto, que não exclui futuras alterações na referida legislação, a fim de utilizar tais áreas do território para receber um aterro sanitário, se esse for o interesse municipal.

A distância exigida entre um aterro de resíduos e habitações é fator fundamental em questões sociais e de saúde pública da população. Apesar do critério de habitações ser suscetível a alterações, por meio da possibilidade da relocação de moradias para outras áreas, o remanejamento de um grupo populacional não é tão trivial assim, o que ocasionaria um enorme descontentamento de toda essa população à implantação do empreendimento. Esse quadro pode ser observado em diversos projetos de locação de aterros sanitários, em que a rejeição de áreas próximas a regiões escolhidas é evidente. Nesse sentido, Kreling (2006) destaca que muitos projetos de construção de aterros sanitários são mal vistos pela população que reside em regiões próximas do empreendimento. Isso ocorre muitas vezes pelo desconhecimento sobre o projeto e os reais benefícios que ele pode trazer e em função da insegurança que a população sente em relação às contaminações ao ambiente e à proteção da área. O critério de distância de habitações

(Figura5) demonstra que somente o distrito de Taiassui seria plenamente adequado e os demais distritos apenas parcialmente em diferentes percentuais de áreas disponíveis.

Figura 4 – Mapas de Viabilidade considerando a variável de controle Zona Especial de Interesse Ambiental

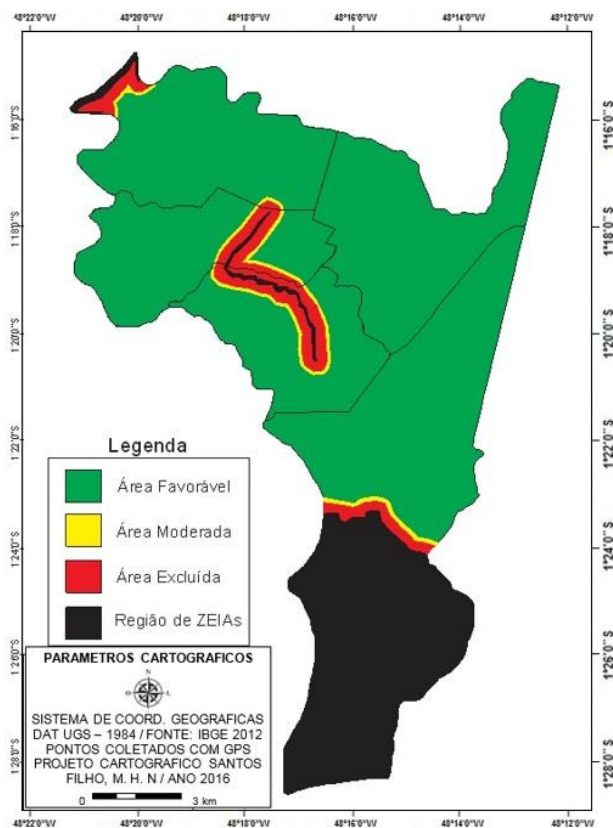
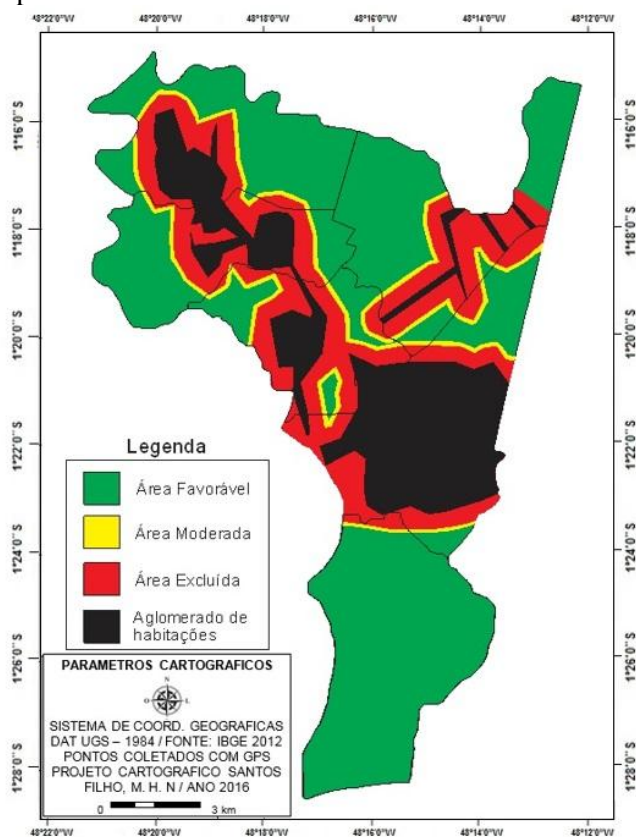


Figura 5 – Mapas de Viabilidade considerando a variável de controle Habitações



Com relação à viabilidade, considerando a distância de corpos hídricos (Figura 6), a NBR 13896 estabelece a distância mínima de cursos d'água em 200m, com o objetivo de minimizar possíveis impactos ambientais provenientes de um aterro de resíduos (LISBOA e SANTOS, 2012). O mapa de hidrologia do município de Benevides demonstra a riqueza de corpos hídricos na região, o que inviabiliza algumas áreas. Por isso, o trabalho limitou, como área mínima moderada, a distância acima de 200m, contudo, classificou como áreas favoráveis apenas aquelas acima de 300m. Considerando essa variável de controle, todos os distritos possuem algumas áreas viáveis.

A viabilidade conforme a formação geológica predominante (Figura 7), com base na distribuição de formação geológica ilustrada no mapa de pedologia do IBGE(2002), configurou que os distritos de Benfica, Paricatuba e Taiassuí têm o tipo geologia mais favorável para a construção de um aterro de resíduos sólidos, enquanto que os distritos de Murinin, Santa Maria e Benevides Centro têm solo com formação que demandaria maior investimento na construção das camadas de impermeabilização de fundo do aterro.

Segundo afirmam Hamada *et al.* (2004), o estudo de formação do solo determina de forma qualitativa os efeitos que são causados pela eventual infiltração do chorume no solo. Nesses casos, a intervenção técnica necessária para a melhoria na impermeabilização do solo poderia tornar o projeto bem mais oneroso, o que, para casos de municípios de pequeno porte, poderia inviabilizar a implantação do mesmo. Por meio da superposição de todos os mapas obtidos e ilustrados anteriormente nas Figuras 2 a 7, na qual áreas excluídas se sobrepõem em maior importância às demais, obteve-se o mapa de viabilidade (VIA) para o território investigado. A Figura 8 apresenta o resultado obtido neste procedimento, incluindo o meio discretizado, no qual se representou a sequência de cores para cada uma das definições de áreas pré-estabelecidas: viáveis, em verde; viáveis com adequação, em amarelo; e as áreas inviáveis em vermelho. Por se tratar de uma superposição sem ponderação de importância de uma variável de controle sobre a outra, o resultado é bastante conservador, restringindo áreas favoráveis àquelas que atendem aos seis critérios plenamente.

Figura 6 – Mapas de Viabilidade considerando a variável de controle **Hidrologia**.

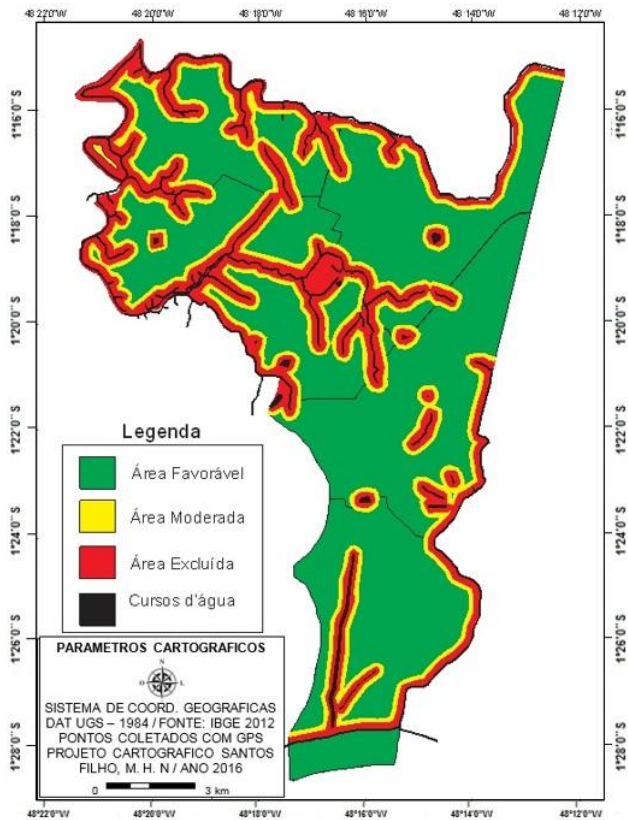


Figura 7 – Mapas de Viabilidade considerando a variável de controle **Formação Geológica**.

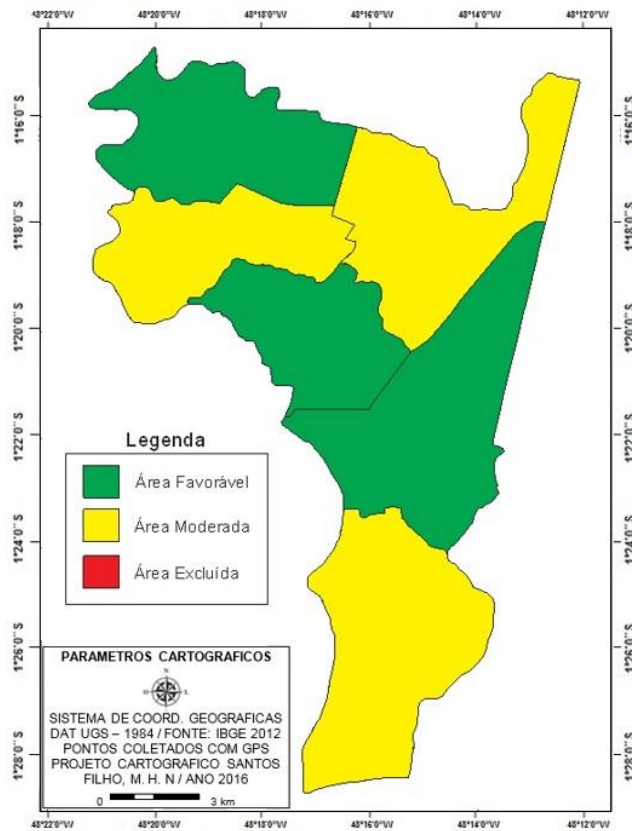
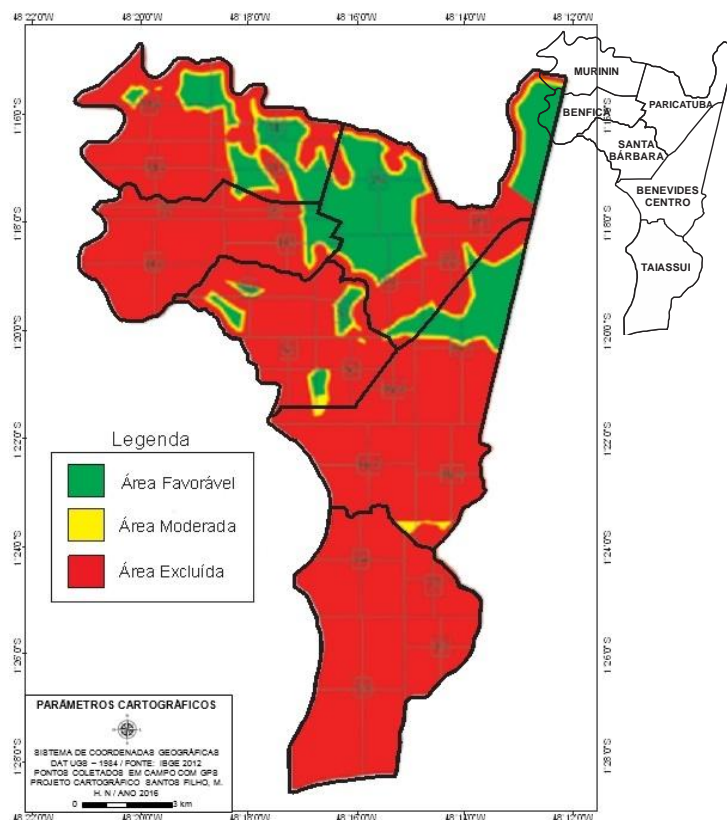


Figura 8 – Mapa de Viabilidade pela superposição de variáveis de controle



Fonte: elaborado pelos autores

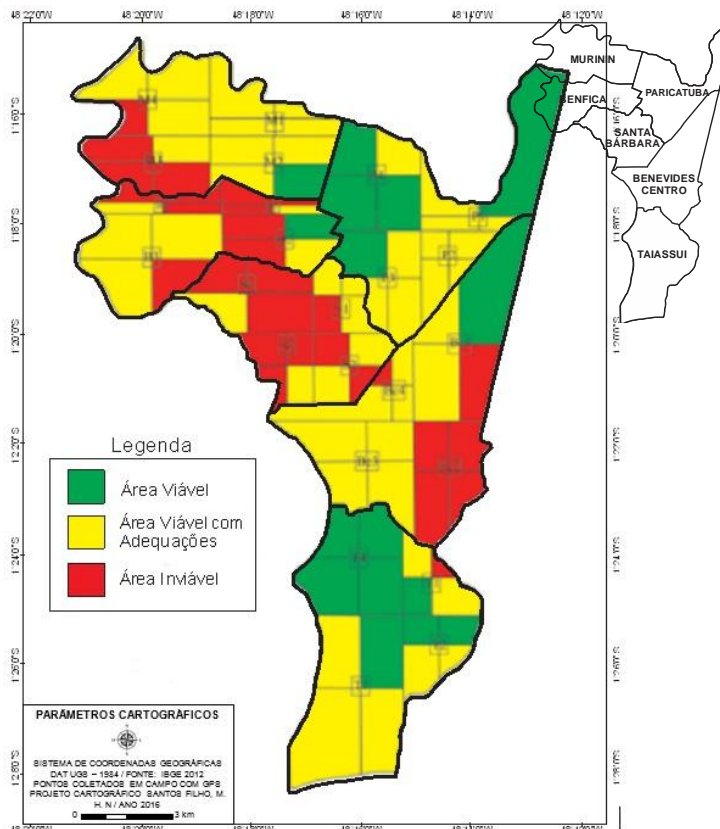
Estudo do VIA por ponderação de áreas discretizadas

Após a elaboração dos seis mapas de viabilidade, considerando cada variável de controle, foi realizada uma análise hierárquica, em que, além da atribuição de notas, avaliou-se a ponderação de grau de importância estabelecida para cada critério. Para tanto, estudou-se cada uma das 96 células discretizadas, em cada um dos seis mapas, e suas respectivas valorações e ponderações (Quadro 2), bem como o percentual de inviabilidade (Quadro 3) das áreas das células, e empregou-se a Equação 1 para obtenção do valor de VIA e a respectiva designação de viabilidade (Quadro 1). O resultado obtido está ilustrado por meio da Figura 9.

Segundo Monteiro *et al.* (2001), a severidade dos critérios para a implantação de um aterro sanitário vai muito além da sobreposição desses em um território, sendo, portanto, necessária a priorização dos mesmos. A observação de Monteiro *et al.* (2001), quanto à introdução de hierarquização em uma análise de locação de aterro, é corroborada por Weber e Hasenack (2000), que empregaram esta abordagem e afirmam que cada variável contribui de forma diferenciada na avaliação como um todo. Essas afirmativas corroboram com as análises realizadas com o VIA, já que a sobreposição de áreas acaba por inviabilizar regiões que poderiam de alguma forma ser reparadas ou adaptadas para a implantação de tal projeto. Aplicando a ponderação em associação com as notas estipuladas, determinou-se, por fim, quais células são consideradas viáveis, viáveis com adequação, isto é, passíveis de estudos mais aprofundados para ajustes necessários, e aquelas células que definitivamente estariam com a condição de área inviável para a construção de um aterro sanitário.

Dentre as células designadas pelo VIA como *áreas viáveis*, destaca-se distrito do Taiassuí com oito células. Esse distrito havia sido considerado por Moraes *et al.* (2010) como região excluída. Entretanto, as células viáveis na região do Distrito de Taiassuí, indicadas pelo VIA, podem ser justificadas na pesquisa pelo fato de que as Zonas Especiais de Interesses Ambientais, determinadas pelo Plano Diretor de Benevides (2006), podem ser reinterpretadas em função de outras necessidades urbanas. Taiassuí apresenta áreas pouco urbanizadas e que se adequam bem aos demais critérios.

Figura 9 – Mosaico de Viabilidade conforme modelo VIA



Fonte: elaborado pelos autores

O distrito de Paricatuba também aparece como destaque para a apropriação de áreas para locação de aterros de resíduos, com 5 células viáveis de implantação e as demais viáveis com adequações. Duas células isoladamente dos distritos de Murinin e Benfica também se enquadram na viabilidade para estudos de adequação futuros. É possível observar que essas células estão no limite de continuidade de células viáveis no distrito de Paricatuba.

Os distritos de Murinin, Benfica, Santa Maria e Benevides Centro se destacaram por apresentar a maior parte das células inviáveis. Em Benevides Centro, observou-se que o VIA identificou a região no entorno onde está localizado o atual aterro da cidade com área inviável, o que, de fato, é uma realidade na cidade em vários aspectos, como por exemplo, proximidade entre o aterro e habitações (Figura 5). Vaz (2015) aprofunda essa análise como elemento validador do modelo proposto. Apesar de a região apresentar as maiores densidades populacionais e de oferta de serviços do município, o VIA identificou algumas células com viáveis com adequações. Isto se deu pelo fato do cenário real ser mais complexo que o cenário modelado pelo VIA, pois não se estudou os investimentos necessários para as adequações.

Análise comparativa entre abordagens.

Ao confrontar o resultado obtido nas duas análises (Figura 9c e 9b), isto é, a primeira com a superposição de mapas e a segunda por meio da ponderação discretizada, pode-se observar que os dois cenários mostram como áreas viáveis grande parte do Distrito de Paricatuba, assim como um área limite com o Distrito de Benfica. Vale ressaltar que a região de Paricatuba também é destacada favoravelmente por Moraes, Ferreira e Oliveira (2010), afirmativa que está ilustrada na Figura 9c.

Pode-se interpretar que o cenário obtido pelo modelo VIA se mostrou mais otimista (Figura 9b). A ponderação das variáveis envolvidas demonstrou que: (i) 16,67% das 96 células avaliadas (16 delas) foram determinadas como viáveis; (ii) 30,2% se enquadraram como inviáveis (29 dessas); (iii) 53,2% das células para o território de Benevides (51 dessas) se apresentaram como viáveis com adequações. Entende-se, portanto, que a região apresenta áreas que não são ideais segundo exigências normativas atuais, mas que, apesar disso, considerando os critérios desta pesquisa, poderiam ser utilizadas, caso sejam alvo de adequação pelo município. Um estudo sobre a necessidade e nível de adequação de cada área não foi alvo deste artigo, mas envolve outros critérios que serão discutidos por meio de publicação específica. Contudo, ressaltam-se questões ambientais, sociais, urbanas e econômicas como impactos de remanejamentos, necessidade de investimento em infraestrutura, macrozoneamento, adensamento urbano, etc. como elementos importantes que devem ser contabilizados na escala da discretização de cada célula.

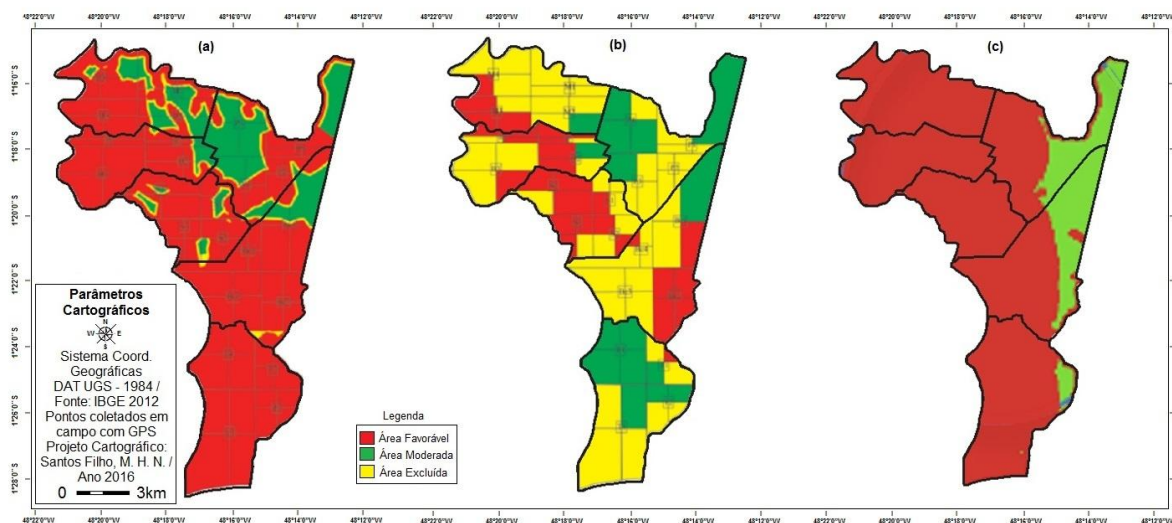


Figura 9 – Comparação da viabilidade de implantação de aterro de resíduos sólidos em Benevides, considerando: (a) superposição variáveis de controle do VIA ; (b) Modelo VIA com discretização da área; (c) Análise adaptada de Monteiro *et al.* (2010).

Por outro lado, dentre as células designadas pelo VIA, como áreas viáveis na Figura 9b, destacam-se as do Distrito do Taiassuí, em contraponto ao observado por Moraes, Ferreira e Oliveira (2010), os quais designaram a região como excluída (Figura 6c). As células viáveis identificadas na região do Distrito de Taiassuí são justificadas na pesquisa pois detêm Zonas Especiais de Interesses Ambientais, que são determinadas pelo Plano Diretor de Benevides (2006), e que poderiam, de acordo com a necessidade, vir a serem alteradas, diferentemente de uma Área de Proteção Permanente (APA). Taiassuí é uma região pouco urbanizada e que se adequa bem aos outros critérios.

Outra região em destaque foi o Distrito de Paricatuba, com a segunda maior quantidade de células viáveis, sendo das suas 16 células, 5 viáveis (31,25%) e o restante viável com adequação (68,75%). Apesar de não possuir o maior número de células viáveis de Benevides, Paricatuba se mostrou na análise como uma região com grande potencial para implantação de aterro sanitário e um dos únicos distritos que apresentou viabilidade nas três análises ilustradas na Figura 9.

Em contrapartida, o Distrito de Santa Maria destacou-se por apresentar o maior número de células inviáveis e nenhuma célula viável (Figura 9b), avaliação pode ser entendida pelo fato de que a região, além de ser bastante urbanizada, possui pontos de abastecimento SAEBE e hidrologia desfavorável, visto que a área concentra inúmeros cursos d'água, o que dificulta a locação de empreendimento que possa pôr em risco a hidrologia dessa região. Esse cenário também é retratado nas demais análises (Figura 9a e 9c).

Após as análises de áreas para a locação de aterros sanitários para o município de Benevides, observou-se que o VIA, dentro dos limites estabelecidos para a adequação de critérios empregado, possibilita, através de uma hierarquização de diferentes variáveis, análises não excludentes, mas com certo rigor. Para uma análise complementar, a avaliação de locação de aterros há de incluir critérios socioeconômicos, tendo em vista que essas questões têm forte influência na implantação de um empreendimento desse porte.

CONCLUSÃO

Os dois métodos aplicados possibilitaram a identificação de poucas áreas plenamente viáveis para implantação de aterros sanitários no município de Benevides. A superposição direta de critérios de controle é, de fato, um método conservador que identificou três áreas viáveis no nordeste do território investigado de Benevides. Essas áreas também foram identificadas como viáveis pelo modelo VIA, que também apontou outra área ao sul de Benevides com viabilidade. Nesse sentido, o método VIA apresenta maior maleabilidade no estudo de critérios para a locação de um aterro, pois indica áreas potencialmente viáveis desde que haja adequação pertinente, mantendo o padrão de rigor exigido pela legislação das Normas da ABNT.

A análise comparativa realizada entre as duas abordagens descritas neste artigo e dados da literatura apontam para o nordeste dos distritos de Paricatuba e Benevides Centro como unanimidade de viabilidade. Entretanto, foi possível identificar outras áreas que guardam potencial de viabilidade, desde que devidamente alteradas para adequar à demanda.

O método em destaque nesta pesquisa, o VIA, demonstrou ser uma ferramenta de auxílio válida na tomada de decisões, no âmbito das políticas públicas ou privadas, para o estudo de locação de aterros sanitários. A criação dos mapas temáticos de critérios de viabilidade permitiu uma melhor visão da distribuição das áreas no território avaliado, sendo fundamental para a obtenção do objetivo perseguido.

Por fim, concluiu-se que o modelo proposto pode ser considerado como uma ferramenta adicional de análise para o estudo de áreas para locação de aterros sanitários. Todavia, o modelo pode ser aprimorado por meio da ampliação das variáveis de controle que permitam contabilizar outros aspectos importantes na tomada de decisões, como aqueles associados aos critérios sociais, econômicos e urbanos da região.

REFERÊNCIAS

- ABRELPE. **Panorama dos Resíduos sólidos no Brasil**. Edição especial de 10 anos. 2012. Disponível em <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2012.pdf>>. Acesso em 08 junho 2015.
- AYACH, L. R.; GUIMARÃES, S. T. L.; CAPPI, N.; AYACH, C. Saúde, Saneamento e Percepção de Riscos Ambientais Urbanos. **Caderno de Geografia**. (22), 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **ABNTNBR 8419:1996 - Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro, abril de 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **ABNT NBR 13896:1997 - Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro, junho, 1992.
- BRASIL. Presidência da República. **Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em 28 Março 2014.
- BRASILEIRO, L. A. ; RODRIGUES, Pedro Sergio Hortolani . **Critérios de avaliação para seleção de área para disposição final de resíduos sólidos**. In: 2 Seminário Sulbrasileiro de Saneamento Ambiental, 2006, Curitiba. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental/Seção Paraná, 2006.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo 2010**. Disponível em < <http://www.ibge.gov.br>>. 2010. Acesso em 03 junho 2014 .
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Mapa de Pedologia do Pará**. 2002. Disponível em <ftp://geofpt.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/mapas/unidades_da_federacao/pa_pedologia.pdf>. Acessado em junho de 2014
- LIMA, G. S.; GUIMARÃES, L. T. **Metodologia para seleção de áreas para implantação de aterro sanitário municipal**. In: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental; AIDIS. Saneamento ambiental: desafio para o século 21. Rio de Janeiro, ABES, 2001. p.1-10.
- LISBOA, N. S.; SANTOS, A. H. B. **A adequabilidade de seleção de áreas para a implantação de aterros sanitários: oscaros do aterro sanitário Sítio São João e da Central de Tratamento de Resíduos Leste, São Paulo**. Revista Geonorte. Edição especial. v.3.n.4. p. 325-335. 2012.
- MONTEIRO, J. H.P.; FIGUEIREDO, C. E. M.; MAGALHÃES, A. F.; MELO, M. A. F.; BRITO, J. C. X.; ALMEIDA, T. P. F.; MANSUR, G. L. **Manual gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República SEDU. Ed. 15, p. 151 – 158, IBAM. 2001.
- MORAES, I. S.; FERREIRA, H. S.; OLIVEIRA, S. F. C. **A utilização do SIG como ferramenta para indicação de áreas possíveis a implantação de aterro sanitário na região metropolitana de Belém – PA**. In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésias e Tecnologias da Geoinformação. 27-30. Recife, 2010.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE BENEVIDES. Plano Diretor de Benevides. **Lei municipal n. 1.031/06**. 2006. Dispõe sobre o ordenamento territorial do município de Benevides, e dá outras providências. Disponível em <http://www.seidurb.pa.gov.br/pdm/benevides/PDM_%20BENEVIDES.pdf>. Acesso em 17 Julho 2014.
- VAZ, M. C. G. **Modelo para estudo da viabilidade de áreas para locação de aterros sanitários, aplicado ao município de Benevides – Pará**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente Urbano, Universidade da Amazônia-UNAMA. Belém, PA, 102 p. 2015.