



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS / FACULDADE DE GEOLOGIA
I CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOTECNOLOGIAS E SUAS APLICAÇÕES

SÂMIO COSTA DE SOUSA

GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO ESTUDO DE VIABILIDADE
AMBIENTAL DE ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO URAIM NO MUNICÍPIO DE PARAGOMINAS –
PA

Belém - PA
2016

Sâmio Costa de Sousa

**Geoprocessamento Aplicado ao Estudo de Viabilidade Ambiental de Áreas para
Implantação de Aterro Sanitário na Bacia Hidrográfica do Rio Uraim no Município de
Paragominas – PA**

Monografia apresentada ao Programa de Pós-Graduação Lato Sensu do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Especialista em Geotecnologias e suas Aplicações.

Orientadora: Aline Maria Meiguins de Lima

Belém - PA
2016

Sâmio Costa de Sousa

**Geoprocessamento Aplicado ao Estudo de Viabilidade Ambiental de Áreas para
Implantação de Aterro Sanitário na Bacia Hidrográfica do Rio Uraim no Município de
Paragominas – PA**

Monografia apresentada ao Programa de Pós-Graduação Lato Sensu do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Especialista em Geotecnologias e suas Aplicações.

Orientadora: Aline Maria Meiguins de Lima

Data da aprovação: 19/08/2016

Conceito: _____

Banca Examinadora:

Prof.^a. Dra. Aline Maria Meiguins de Lima
Doutorado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido.
Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, NAEA-UFPA, Brasil.

Valeria Marinho Nascimento
Mestrado em Geologia e Geoquímica pela UFPA

Igor Charles Castor Alves
Mestre em Ciências, na área de Geologia Marinha pela UFPA (2010).
Doutorando na área de Geologia sedimentar-UFPA.

Belém - PA
2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me concedido o dom do conhecimento, e ter me dado a força necessária para superar obstáculos.

Aos meus pais, Antônio Enéas e Marinalva, por sempre me mostrarem desde cedo a importância dos estudos.

À minha orientadora a Dr^a Aline Maria Meiguins de Lima, pela paciência em avaliar o projeto de pesquisa e pela valiosíssima ajuda na elaboração deste trabalho, me instruído e munindo-me de material e conhecimento neste campo científico, o que de veras tornou possível a elaboração deste trabalho.

Aos demais professores do Instituto de Geociências e outros professores convidados, pelos ensinamentos ao longo do curso e/ou contribuições ao meu trabalho.

Ao Instituto de Geociências da UFPA, pela oportunidade de concretizar mais um importante passo na minha vida profissional e acadêmica.

Aos funcionários da Secretaria de Pós Graduação a Distancia, principalmente às secretárias Carla Tayanna e Lais Corrêa Torres por sempre ser o nosso principal canal mesmo diante de todas as dificuldades durante o curso.

A minha esposa Elisângela, pela paciência e incentivo.

A todos que me apoiaram e contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

RESUMO

SOUSA, S. C. **Geoprocessamento Aplicado ao Estudo de Viabilidade Ambiental de Áreas para Implantação de Aterro Sanitário na Bacia Hidrográfica do Rio Uraim no Município de Paragominas – PA.** 2016. 47 f. Monografia, Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, I curso de especialização em geotecnologias e suas aplicações.

A disposição final dos resíduos sólidos é um dos maiores problemas ambientais nos municípios brasileiros, sendo muito comum a simples deposição em lugares inadequados, acarretando inúmeros problemas ambientais e à saúde pública. Mesmo em municípios que se propõem a executar uma destinação final adequada, como o aterro sanitário, selecionar uma área viável para esta finalidade é uma problemática bastante complexa devido aos múltiplos critérios a serem considerados. Diante deste cenário, as geotecnologias apresentam-se como ferramentas viáveis por facilitarem a análise de uma infinidade de fenômenos geográficos, permitindo a modelagem ambiental dos meios físico-biótico, ocupação humana e seus inter-relacionamentos. Neste contexto, executou-se a análise multicritério por meio de geotecnologias aplicando o método de Varredura Analítica e Integração Locacional, para analisar de forma conjunta as características de geomorfologia, hidrografia, infraestrutura, tipos de solo e uso e ocupação do solo, com o objetivo de identificar as áreas propícias para implantação de aterro sanitário na bacia do rio Uraim, na qual se localiza a sede do município de Paragominas (PA). O resultado final do trabalho é um mapa com a classificação das áreas da bacia do rio Uraim quanto à viabilidade para instalação de aterro sanitário. Neste resultado verificou-se uma grande disponibilidade de áreas aptas para a finalidade estudada. Além disso, os resultados descritos podem ser utilizados como uma importante ferramenta na gestão de resíduos sólidos urbanos, por fornecer ao município um elenco de opções de áreas potencialmente viáveis para disposição final de resíduos.

Palavras-Chave: Aterro sanitário, análise multicritério, modelagem ambiental.

ABSTRACT

SOUSA, S. C. Geoprocessing Applied to Environmental Feasibility Study of Areas for Landfill Site Implantation in Watershed of Uraim River in the City of Paragominas - PA. 2016. 47 f. Monograph, University Federal of Pará, Institute of Geosciences, I specialization course on geotechnology and its applications.

The final disposal of solid waste is one of the biggest environmental problems in the cities where the most common is the simple deposition in inappropriate places, causing many environmental and public health problems. Even to cities that propose to perform an adequate final destination, such as landfill site, selecting a viable area for this finality is a very complex problem due to multiple criteria to be considered. In this scenario, the geotechnologies introduced themselves as viable tools for facilitating the analysis of a lot of geographic phenomena, allowing environmental modeling of physical and biotic resources, human occupation and their interrelationships. In this context, we performed to multicriteria analysis by means of geotechnologies using the method of Analytical Scanning and Integration Locational to jointly analyze the characteristics of geomorphology, hydrography, infrastructure, soil types and land use and occupation, with objective of identify areas suitable for the implantation of landfill sites in watershed of Uraim River, where is located the seat of the city of Paragominas (PA). The end result of this study is a map with the classification of areas of the watershed of the Uraim River about the viability of the landfill site facility. In the result it was verified a large availability of areas suitable for the study purpose. In addition, the results described can be used as an important tool in municipal solid waste management, to provide the municipality a list of potentially viable areas options for disposal of waste.

Keywords: Landfill site, multi-criteria analysis, environmental modeling.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1. RESÍDUOS SÓLIDOS: PROBLEMÁTICA E ASPECTOS DE GESTÃO	11
2.1.1. Classificação dos resíduos sólidos	12
2.1.2. Aterro sanitário.....	13
2.1.3. Condicionantes para Seleção de Áreas para Implantação de Aterros Sanitários	14
2.1.3.1. Localização	15
2.1.3.2. Tipos de Solo	15
2.1.3.3. Geomorfologia	16
2.1.3.4. Uso e Cobertura de Solo	16
2.2. SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E ANÁLISE AMBIENTAL .	16
3. MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E SEUS ASPECTOS	18
3.1.1. Clima.....	19
3.1.2. Vegetação.....	20
3.1.3. Geologia.....	20
3.1.4. Solos	21
3.1.5. Geomorfologia	22
3.1.6. Hidrografia	23
3.1.7. Aspectos Socioeconômicos.....	24
3.2. MATERIAIS E BASE DE INFORMAÇÃO.....	25
3.3. PROCESSAMENTO DIGITAL E GERAÇÃO DE MAPAS DERIVADOS	25
3.3.1. Delimitação Automática da Bacia Hidrográfica do Rio Uraim	25
3.3.2. Classificação da Imagem de Satélite Segundo o Uso e Ocupação do Solo	26
3.4. AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS.....	27
3.4.1. Ponderação dos Critérios Ambientais.....	29
3.4.2. Padronização dos Critérios	29
3.4.2.1. Pesos das Classes da Camada Tipos de Solo	30
3.4.2.2. Pesos das Classes da Camada Geomorfologia.....	31
3.4.2.3. Pesos das Classes da Camada Altimetria	31
3.4.2.4. Pesos das Classes da Camada Declividade	32
3.4.2.5. Pesos das Classes da Camada Proximidade de Estradas.....	32

3.4.2.6.	Pesos das Classes da Camada Cobertura e Uso do Solo	33
3.4.3.	Restrições Segundo as Normas e Legislação	33
3.4.4.	Cálculo da Área Mínima do Aterro Sanitário	34
3.4.4.1.	Cálculo da população estimada em 2030	34
3.4.4.2.	Cálculo da produção de lixo (kg/dia)	35
3.4.4.3.	Cálculo do volume de resíduo sólido (m ³ /dia).....	35
3.4.4.4.	Cálculo da área mínima para o Aterro Sanitário	35
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1.	ÁREAS AMBIENTALMENTE VIÁVEIS PARA INSTALAÇÃO DE ATERRO..	36
5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	40

1. INTRODUÇÃO

O desafio da limpeza urbana, diante do crescimento das cidades não se resume em remover o resíduo sólido de logradouros e residências, mas principalmente em destinar este a um local adequado para sua disposição final. A disposição final de resíduos sólidos ainda é um problema de grande magnitude, pois diante de um orçamento restrito, as autoridades municipais acabam por priorizar apenas à coleta e à limpeza pública, sendo em muitos casos a única ação pública executada é a de afastar o lixo coletado das zonas urbanas. Por este motivo é comum observar em municípios de menor porte a presença de “lixões”, onde o resíduo é depositando inadequadamente em áreas a céu aberto, áreas protegidas, cursos de água ou próxima de núcleos populacionais (sobretudo os carentes). Esta disposição inadequada e sem qualquer tipo de controle ou cuidado ambiental acaba por poluir o solo, corpos hídricos (subterrâneos e superficiais) e o ar além de causar mau aspecto visual e problemas sociais (IBAM, 2001; DOMINGOS, 2007; SILVA; ZAIDAN, 2011).

Diante deste cenário, gestão integrada de resíduos sólidos, regulamentada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei Federal nº 12.305/2010 traz um conjunto de ações voltadas à busca de soluções que consideram os aspectos políticos, econômicos, ambiental, social com o objetivo no desenvolvimento sustentável. Desta forma para elaboração do plano municipal de gestão integrada, é imprescindível a identificação de áreas favoráveis para disposição final ambientalmente adequada de rejeitos.

De acordo com estudos que abordaram esta problemática, avaliar a viabilidade ambiental de áreas para implantação de aterros sanitários é um tema bastante complexo devido à multiplicidade de critérios a serem considerados em grandes extensões territoriais (DOMINGOS, 2007; MELO, 2008). Entretanto, diversos estudos relatam o potencial e a eficiência da aplicação conjunta de técnica de geoprocessamento e da análise multicritério para avaliar a viabilidade ambiental, proporcionando uma visão global da área estudada, facilitando assim a busca por áreas ambientalmente aptas à implantação de aterro sanitário (LIMA, 2001; CRESPO, 2006; DALMAS, 2011).

Este potencial e eficiência devem-se a facilidade de armazenamento e de realização de operações de cruzamento de informações proporcionada pelo Sistema de Informação Geográfica (SIG), pois o uso de SIG possibilita a aplicação de diversas técnicas de geoprocessamento para manipular mapas, imagens digitais de sensores remotos, integrar e

combinar diversas fontes de dados em uma única base de dados georreferenciada (LIMA, 2001; MAGALHÃES, 2007; MELO, 2008).

A partir destas premissas, esta pesquisa pretende realizar uma análise na bacia hidrográfica do rio Uraim, onde está localizada a sede do município de Paragominas com finalidade de indicação de áreas potencialmente adequadas para implantação de aterro sanitário. Como esta tarefa de análise é de complexa execução devido aos diversos critérios envolvidos (técnicos, ambientais e legais) o ponto mais relevante deste trabalho está no esforço de organizar e integrar esta diversidade de critérios com o auxílio de um SIG de forma a aplicar a capacidade analítica proporcionada por esta ferramenta para simplificar a tarefa de seleção preliminar das áreas potencialmente adequadas para implantação de aterro sanitário.

Destaca-se como a maior contribuição deste trabalho: a elaboração de um mapa indicativo das áreas potencialmente adequadas para implantação de aterro sanitário, visto que o município de Paragominas não possui um local de ambientalmente adequado para a disposição final do resíduo sólido coletado. Este fato é agravado pelo recente crescimento econômico e o crescimento demográfico que consequentemente aumenta a produção de resíduos podendo de curto a médio prazo, ocasionar um colapso no sistema de gerenciamento de resíduo sólido (PARAGOMINAS, 2011).

Levando em consideração que a implantação de aterro sanitário demanda a seleção de áreas que atendam o máximo de critérios técnicos e normativos, este trabalho se propõe a fornecer subsídio técnico por meio de dados em forma de mapa temático hierarquizando as áreas quanto as sua viabilidade ambiental para instalação de aterro. Este tipo de informação pode ajudar a minimizar a quantidade de medidas corretivas a serem implantadas, consequentemente podendo reduzindo os gastos com investimento inicial na implantação de aterros sanitários, colaborando também para que gestão municipal possa elaborar segundo a PNRS o plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos.

Objetivo Geral

Elaborar uma carta temática que demonstre de forma hierarquizada os níveis de viabilidade ambiental e distribuição espacial das áreas favoráveis a implantação de aterro sanitário na bacia do rio Uraim, município de Paragominas (PA).

Objetivos Específicos

- Realizar o levantamento dos critérios técnicos e critérios legais (normas e legislação) para locação de áreas destinadas a aterros sanitários;
- Aplicar a análise multicritério na hierarquização de as áreas por grau de aptidão para locação de áreas destinadas a aterros sanitários.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. RESÍDUOS SÓLIDOS: PROBLEMÁTICA E ASPECTOS DE GESTÃO

Desde os primórdios da humanidade até meados da Idade Média, o lixo gerado pelas sociedades não ocasionava grandes impactos ambientais, pois este era constituído em grande parte por matéria orgânica, que se degrada rapidamente. A escala de geração de resíduo também era pequena, se comparada à produção da atual sociedade, já que a população mundial sofreu um significativamente incremento nos últimos 200 anos após a Revolução Industrial, e sabe-se que à medida que a população mundial cresce, a produção de lixo aumenta. Além do aumento da população, os produtos consumidos possuem mais embalagens, que por sua vez, não são reaproveitadas e na maioria dos casos se tornam resíduos (ARRUDA, 2007; DOMINGOS, 2007).

Atualmente em todo o planeta, a destinação final inadequada dos resíduos sólidos tem sido vista com um dos principais problemas das sociedades. Mesmo países desenvolvidos se deparam com resíduos cada vez mais complexos e de complexo gerenciamento. Países subdesenvolvidos como o Brasil, enfrentam graves problemas no gerenciamento de resíduos sólidos tais como deposição inadequada sobre o solo, os "lixões", que quase sempre estão associados à queima a céu aberto, tal situação implica em significativos impactos ambientais e grave risco à saúde pública (MAGALHÃES, 2007).

Solucionar adequadamente a disposição final dos resíduos de uma cidade é fundamental para a questão ambiental, sanitária e de saúde pública, todavia não é o suficiente. Os resíduos sólidos devem ser gerenciados de forma integrada, desde sua origem até a disposição final devendo ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização e reciclagem. Não obstante, mesmo se adotando todas estas medidas, permanece ainda a necessidade de tratamento dos resíduos que não podem ser reciclados nem reutilizados e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (WEBER; HASENACK, 2000).

No Brasil foi instituída pela lei federal número 12.305 de agosto de 2010, Política Nacional de Resíduos Sólidos. Esta lei dispõe sobre diversos princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos. A Política elenca como formas de destinação final ambientalmente adequada: a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento

energético e a disposição final. A disposição final ambientalmente adequada definida pela Política trata-se da distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos (BRASIL, 2010).

2.1.1. Classificação dos resíduos sólidos

Com objetivo de fornecer subsídio ao gerenciamento de resíduos sólidos e atender a crescente preocupação da sociedade com relação às questões ambientais, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) elaborou ao longo dos anos aperfeiçoou a ABNT NBR 10004:2004. Esta norma estabelece critérios de classificação e códigos para identificação dos resíduos de acordo com suas características físico-químicas e infectocontagiosas classificando-os em: Classe I (ou Resíduos Perigosos) e Classe II (ou Resíduos Não Perigosos). Sendo que a Classe II está subdividida em Classe IIA (ou Não Inertes) e Classe IIB (ou Inertes) (ABNT, 2004).

A lei 12.305/2010, que estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos, os mesmos são classificados quanto à origem e periculosidade (BRASIL, 2010).

As classes segundo a origem são:

- Resíduos domiciliares: originários de atividades domésticas;
- Resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- Resíduos sólidos urbanos: resíduos domiciliares e de limpeza urbana;
- Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços;
- Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico;
- Resíduos industriais: os gerados nos processos industriais;
- Resíduos de serviços de saúde;
- Resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil;
- Resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- Resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;

- Resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.

Quanto à periculosidade, os resíduos são classificados em:

- Resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;

- Resíduos não perigosos: aqueles não se enquadram como resíduos perigosos.

2.1.2. Aterro sanitário

O aterro sanitário é o processo utilizado para a disposição final de resíduos sólidos no solo, sobretudo o resíduo sólido urbano que, fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas. Esta técnica permite um confinamento seguro e controlado, garantindo a preservação do meio ambiente e da saúde pública e consiste principalmente nos seguintes serviços: terraplanagem, impermeabilização do terreno, de preferência com argila, canalização das águas da chuva e do lixiviado, tubulação para coleta e saída de gases, plantio de grama e, finalmente, instalação de uma cerca ao redor da área de serviço. Em geral, um aterro sanitário deve ter vida útil de, no máximo, dez a quinze anos, mas alguns deles chegam a durar até vinte, o que torna sua implantação mais vantajosa do ponto de vista econômico (IPT, 2000).

A técnica consiste basicamente na compactação dos resíduos no solo, dispondo-o em camadas que são periodicamente compactadas e cobertas com uma camada de terra ou outro tipo de cobertura desde que a mesma seja inerte como o objetivo de isolar o resíduo do ambiente. Estas camadas, resíduo/cobertura, são construídas alternadamente de modo que são formadas as células ou câmaras (SILVA; ZAIDAN, 2011).

Segundo CETESB (1997 *apud* DALMAS, 2011) o objetivo dos aterros sanitários não é tratamento ou a reciclagem dos materiais presentes no lixo urbano, mas sim o armazenamento do resíduo sólido no solo de forma definitiva, o que demanda estudo para seleção de áreas, uma vez que os espaços disponíveis a essa técnica tornam-se cada vez mais escassos. A execução de um projeto de aterro sanitário deve ser precedida de uma série de estudos técnicos que vão desde levantamentos de viabilidade técnica e econômica até a elaboração do projeto. São pré-requisitos para a escolha de uma área para implantação de um aterro sanitário os estudos de: topografia, dimensões, tipo de solo, áreas vulneráveis a

enchentes, distância de corpos de água, profundidade do aquífero, distância de ocupações urbanas, além de outras disposições da legislação ambiental e de uso do solo.

2.1.3. Condicionantes para Seleção de Áreas para Implantação de Aterros Sanitários

Segundo Silva e Zaidan (2011) as maiores problemáticas para seleção de áreas ambientalmente adequadas para instalação de aterros são: a possibilidade de contaminação do solo e dos recursos hídricos superficiais ou subterrâneos, geração de gases oriundos da decomposição do resíduo, necessidade de áreas disponíveis para a instalação, necessidade de constante manutenção das condições de salubridade e ambientais e a resistência dos moradores que pode gerar impasses e desgaste para as administrações municipais.

Para se assegurar a resolução das problemáticas deve-se realizar a seleção de áreas utilizando-se critérios definidos em normas técnicas e legislações tais como a norma técnica NBR 13.896 elaborada por ABNT (1997), que estabelece diversas exigências relativas à localização, segregação e análise de resíduos, monitoramento, inspeção, fechamento da instalação e treinamento de pessoal, para assegurar os níveis de proteção, segurança e eficiência do aterro sanitário. Autores como IPT (2000) elencam vários critérios a serem observados para construção e operação de um aterro sanitário, estes são:

- Adequação ambiental, considerando-se as recomendações e restrições existentes em normas técnicas e na legislação ambiental em vigor;
- Aptidão natural do terreno, avaliada em função de características como geologia, geotecnia, hidrogeologia, biota, tendências de uso e ocupação do solo nos entornos da área, conflitos de uso do solo existentes;
- Vida útil, determinada com base no volume do resíduo sólido a ser disposto, dimensão da população atendida e área efetiva disponível;
- Histórico de operação, incluindo-se aspectos como volume, tipos de resíduos sólidos recebidos;
- Infraestrutura existente (impermeabilização de base, drenagens, sistemas de tratamento de percolado e biogás, isolamento, etc.), e condições de operação praticadas no passado (compactação, cobertura, entre outros.);
- Distância aos centros produtores de resíduos;
- Estado de conservação das vias de acesso;
- Infraestrutura, mão-de-obra e equipamentos necessários à adequada operação do local;

- Possibilidade de expansão em áreas contígua ao atual local de disposição;
- Existência de áreas alternativas e tempo necessário para viabilizar o novo aterro;
- Disponibilidade de recursos financeiros.

2.1.3.1. Localização

Os critérios para localização de áreas ambientalmente adequadas para implantação de aterro sanitário devem considerar os impactos ambientais causados pela instalação, procurando minimizá-los. Estes locais devem ter aceitação da população, respeitar os zoneamentos da região, estar afastado no mínimo 500 metros dos núcleos populacionais bem como ser passíveis de utilização por um longo espaço de tempo (ABNT, 2004).

As áreas mais adequadas são aquelas que estão afastadas de aeroportos, a mais de 2 km das zonas urbanas residenciais adensadas (pois se evita acidentes aéreos e o incômodo ao bem-estar e à saúde dos moradores), estar afastado a 200 m do sistema viário principal e estar a uma distância mínima de 200 m de cursos d'água. Estes locais devem apresentar vias de acesso em boas condições, disponibilidade de rede de energia elétrica e possuir área útil suficiente para viabilizar utilização por um período de tempo que justifique o investimento (SILVA; ZAIDAN, 2011).

2.1.3.2. Tipos de Solo

É comum que durante a decomposição do resíduo sólido seja gerado o chorume, que é um líquido com grande potencial contaminante, dado que possui altíssima demanda bioquímica de oxigênio (DBO). O chorume pode contaminar o solo e o lençol freático pelo fenômeno da lixiviação, que é mais intenso em solos muito permeáveis, por conseguinte, os solos ideais para implantação de aterro devem ter baixa permeabilidade, pois estes retêm os contaminantes à medida que o chorume percola (SILVA; ZAIDAN, 2011). Deste modo, os aterros sanitários devem ser construídos em áreas onde solo predominante possuam coeficiente de permeabilidade inferior a 5×10^{-5} cm/s, ou seja, solos de baixa permeabilidade (ABNT, 2004).

2.1.3.3. Geomorfologia

Os dados geomorfológicos dizem respeito sobre as formas e à dinâmica do relevo do terreno. Neste aspecto, diversas considerações técnicas devem ser feitas, por conseguinte este é um fator determinante na escolha do método construtivo. Deste modo são recomendados locais com declividade entre 1% a 30%, localizados em depressões naturais secas e não sujeitas à inundação (ABNT, 2004; BIANA, 2007).

2.1.3.4. Uso e Cobertura de Solo

As áreas para instalação de aterro devem atender as legislações de Uso e Ocupação do Solo, sendo prioritárias aquelas já antropizadas e com potencial mínimo de incorporação à zona urbana de qualquer tipo (BRASIL, 2008).

Existem diversas restrições para conversão de áreas de florestas nativas em área de uso bem como impossibilidade de uso de áreas ambientalmente sensíveis e de vulnerabilidade ambiental, como Áreas de Preservação Permanente (APP) e de Áreas de Proteção Ambiental APA's (BRASIL, 2012).

2.2. SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E ANÁLISE AMBIENTAL

Segundo Biana (2007), a observação e representação da superfície da terra têm sido importantes na organização da sociedade. Desde a mais remota antiguidade até os tempos atuais, as informações espaciais têm sido descritas de forma gráfica pelos antigos cartógrafos e utilizadas por guerreiros, navegadores, geógrafos e pesquisadores. O que hoje se conhece como mapa nada mais é do que uma das mais antigas formas de comunicação visual de toda a humanidade.

A produção cartográfica, que se inicia na coleta de informações sobre a distribuição geográfica de recursos naturais e delimitação de unidades paisagens até metade do século passado, era realizada exclusivamente em documentos e mapas em papel. Isto impedia uma análise que combinasse diversos mapas e dados. Com o desenvolvimento simultâneo, na segunda metade do século passado, da tecnologia de Informática, tornou-se possível armazenar e representar tais informações em ambiente computacional, abrindo espaço para o aparecimento do Geoprocessamento entre outras geotecnologias (CÂMARA; DAVIS, 2001).

As geotecnologias, representadas pelos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), apresentam uma série de métodos de aquisição, tratamento e manipulação de dados geográficos empregando ferramentas computacionais que facilitam a produção de dados e informações para o estudo de uma infinidade de fenômenos geográficos (PINA; SANTOS, 2000).

As aplicações das geotecnologias permitem a manipulação, avaliação e geração de produtos (geralmente cartográficos), relacionados principalmente à localização e distribuição de informações sobre a superfície da Terra (PIROLI, 2010). Nesse contexto, pode-se sintetizar o termo Geoprocessamento como a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional. Levando-se em consideração as dimensões continentais do Brasil e a falta de dados adequados para a tomada de decisões no que tange os problemas ambientais, as geotecnologias apresentam um grande potencial para suprir esta necessidade (CÂMARA; DAVIS, 2001).

Um amplo campo de aplicação de geotecnologias é na modelagem ambiental, onde estas tornam possível a geração de mapas e banco de dados que são produtos que subsidiam tecnicamente atividades de gestão ambiental numa perspectiva moderna de gestão do território, na qual toda ação de planejamento, ordenação ou monitoramento do espaço deve incluir a análise dos diferentes componentes de ambiente, incluindo o meio físico-biótico, a ocupação humana, e seu inter-relacionamento (CÂMARA; MEDEIROS, 1998).

3. MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia aplicada neste trabalho foi a proposta por Silva e Zaidan (2011), que se baseia na utilização do Geoprocessamento, segundo uma avaliação multicritério para busca de áreas adequadas para instalação de aterro sanitário onde é realizada consulta a equipe multidisciplinar de profissionais com formação e conhecimento nas áreas de geografia, engenharia sanitária ou ambiental e geologia para avaliar e atribuir peso para cada plano de informação (litologia, geomorfologia, altimetria, declividade proximidade de estradas e cobertura vegetal e uso do solo) tendo como critério os aspectos ambientais determinantes para indicação das áreas adequadas. Posteriormente são aplicadas ao mapa, as restrições oriundas de normas técnicas e legislação e por fim o mesmo será fatiado nas seguintes classes de viabilidade ambiental para implantação de aterro:

- **Impróprias:** Áreas com pesos de 0 a 7 ou qualquer outro peso, mas com restrição;
- **Indicadas, com restrição:** Áreas com peso oito, porém com necessidade de supressão vegetal entre outras várias condicionantes ambientais que podem ser requeridas durante o licenciamento e cumpridas durante a operação;
- **Indicadas:** Áreas com peso 9, sem restrições;
- **Indicadas, com prioridade:** Áreas com peso 10, sem restrições.

Esta análise multicritério permite avaliar conjuntamente as condições ambientais características de cada uma das áreas; aspectos legislativos; extensão da área e as condições de impedância das trajetórias entre a fonte geradora de resíduos e os locais potenciais dos depósitos sanitários.

3.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E SEUS ASPECTOS

A área de estudo é bacia hidrográfica do rio Uraim, porção de cabeceira da bacia do Rio Gurupi, que está contida na bacia Atlântico - Trecho Norte/Nordeste (ANA, 2016). O talvegue principal da bacia de estudo, o rio Uraim, é afluente na margem esquerda do rio Gurupi e os seus principais tributários são: igarapé do Sete, igarapé Água Suja e o rio Maritaca. Esta bacia possui uma área de 511.011ha, dos quais se estendem em 87% no território do município de Paragominas e os 13% restantes no município de Nova Esperança do Piriá. Na bacia do rio Uraim está localizada a sede do município de Paragominas, que por

sua vez é a maior fonte geradora de resíduos sólidos por ser a única área urbanizada existente no local estudado (figura 1).

O município de Paragominas foi fundado em 1965 e está localizado no sudeste do estado do Pará, na região de integração Rio Capim. É limítrofe aos municípios de Ipixuna do Pará, Nova Esperança do Piriá, Dom Eliseu, Ulianópolis, Goianésia do Pará, e também ao estado do Maranhão (AMARAL; PINTO, 2014). Sua área abrange 19.342,3 quilômetros quadrados, que abriga uma população estimada de 107.010 habitantes, dos quais 78% residem na área urbana e 22%, na área rural (IBGE, 2015).

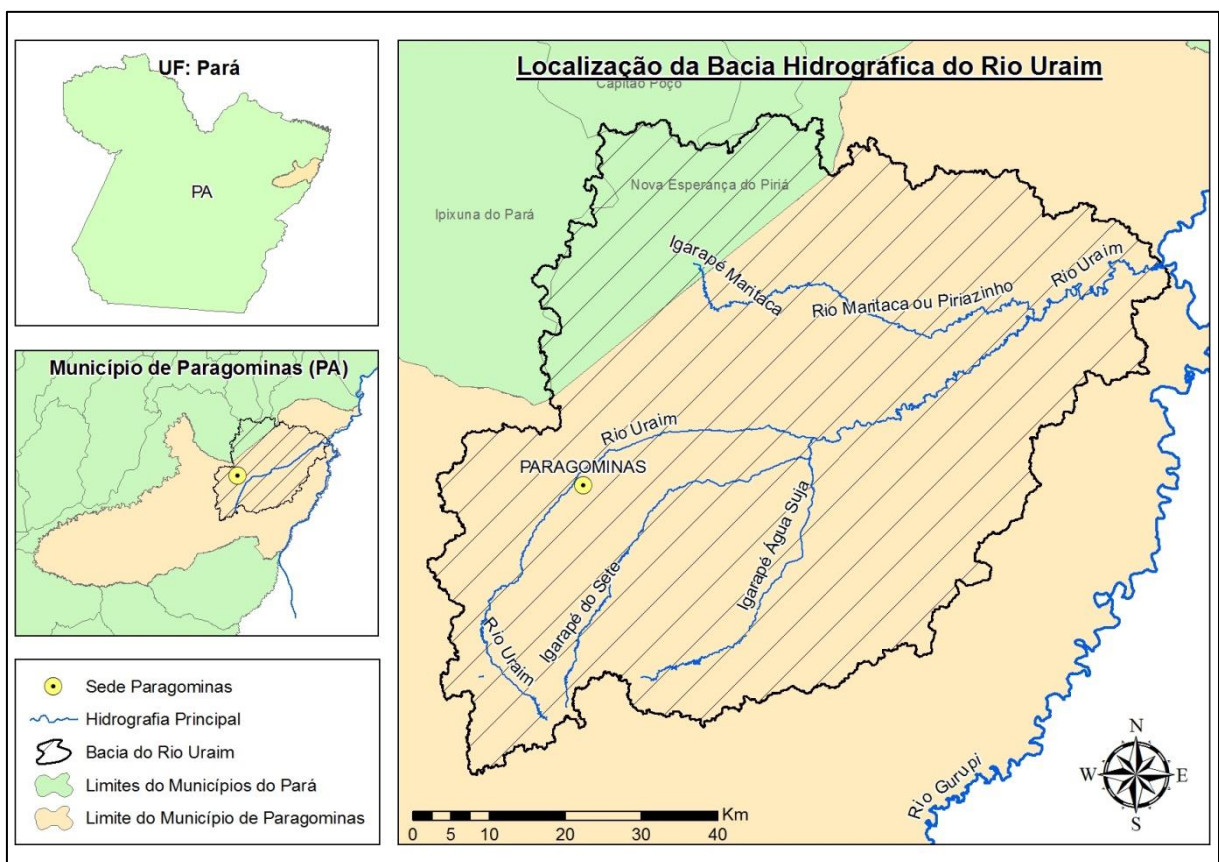


Figura 1 - Localização da Área de Estudo: Bacia do Rio Uraim.

3.1.1. Clima

O município possui clima quente e úmido, do tipo Awi da classificação de Köppen (Clima tropical chuvoso, com expressivo período de estiagem) e B1wA'a', da classificação de Thornthwaite (Clima tropical úmido, com expressivo déficit hídrico). No município de Paragominas, os valores médios anuais de temperatura e umidade relativa do ar são respectivamente: 26,3° C e 81%. A precipitação pluviométrica média anual é de 1742,9mm. A

distribuição das chuvas durante os meses define quatro períodos: chuvoso, entre fevereiro e maio; estiagem em junho; seco entre julho e novembro; transição entre dezembro e janeiro (BASTOS; SILVA, 2006).

3.1.2. Vegetação

A cobertura original do município era predominantemente de floresta tropical. Até o ano de 2008, 45% de sua área estava desmatadas ou altamente degradadas, o equivalente a 874 mil hectares. A cobertura florestal remanescente, que no ano de 2008 correspondia a 55% do território, é caracterizada por florestas em diversos estágios de uso e conservação. Em termos de tipologia, essas florestas são agrupadas em três subtipos: (i) floresta densa submontana, que atualmente ocupa 18,4% do município; (ii) floresta densa de terra baixa (34% do território); e (iii) floresta densa aluvial, cobrindo 2,9% do município (PINTO *et al*, 2009).

3.1.3. Geologia

O mapa geológico apresenta três unidades aflorantes: Formação Itapecuru (Ki), Grupo Barreiras (Tb) e Depósitos coluvionares e aluvionares do Quaternário (Qa) (figura 2). A Formação Itapecuru (Ki) apresenta uma distribuição geográfica bastante expressiva abrangendo, em subsuperfície, toda a área urbana e no entorno do município de Paragominas. Litologicamente é composta por arenitos róseos ou avermelhados, argilosos, finos e grosseiros, contendo estratos cruzados abundantes, sotopostos por um manto laterítico, rico em material ferruginoso.

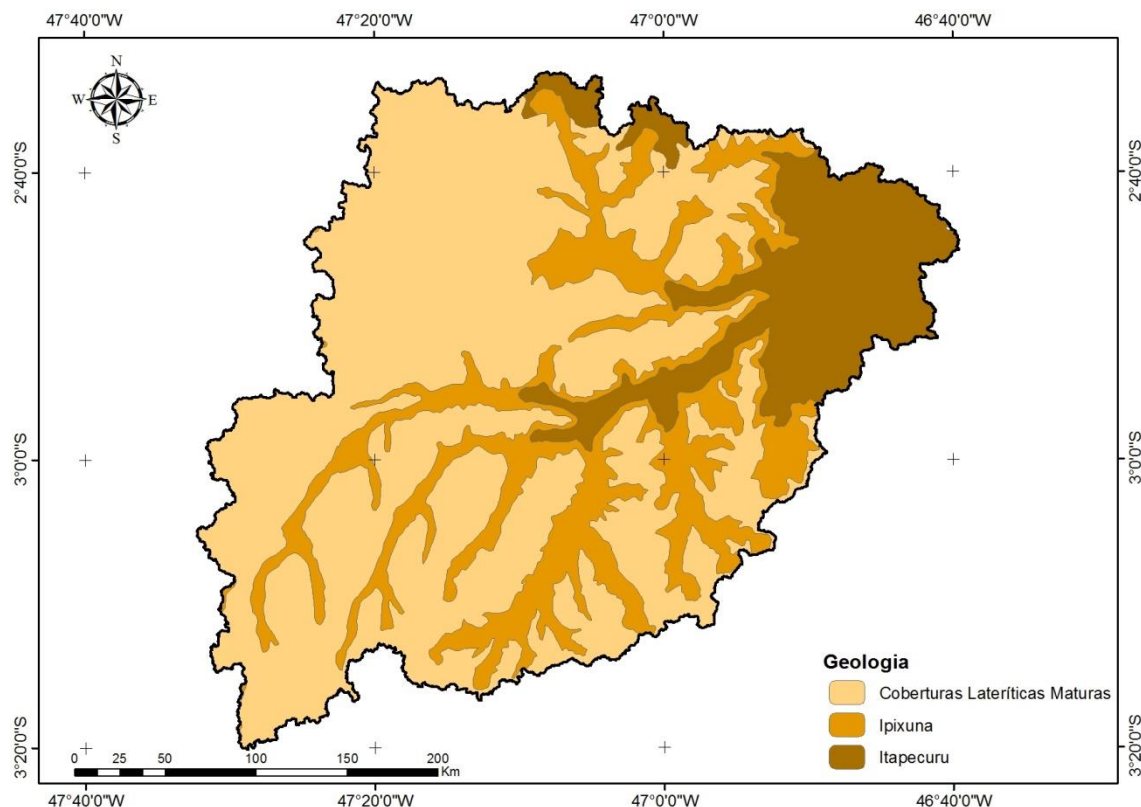


Figura 2 – Geologia da bacia do rio Uraim. Fonte: (IBGE, 2006), adaptado.

Na região urbana de Paragominas, as coberturas detrítico - lateríticas atingem cerca de 5 metros de espessura. Na área de pesquisa os sedimentos do Quaternário são inconsolidados sendo comum encontrarem-se argilas orgânicas, com restos vegetais, bioturbados e intercalados a siltes e areias finas, com espessura variando de milimétricas a centimétricas. Estes depósitos são encontrados, principalmente, ao longo dos principais rios e afluentes menores, estando em maior proporção nas proximidades de anteparos artificiais, onde se formam planícies de inundação. Ocorrem também formando os terraços aluvionares (ARAÚJO *et al*, 2006).

3.1.4. Solos

Os solos do município de Paragominas são originados de rochas sedimentares do Terciário e Quaternário, apresentam baixa fertilidade natural e boas propriedades físicas. Os principais solos da região são: Latossolos Amarelos, Argissolos Amarelos, Plintossolos Háplicos, Gleissolos Háplicos e Neossolos Flúvicos (EMBRAPA, 1999).

Na bacia do rio Uraim os solos encontrados no recorte do mapa elaborado por EMBRAPA (1999) e suas respectivas características são (figura 3):

- Latossolos Amarelos - são solos profundos, dissaturados e bem drenados. A textura é média a muito argilosa. São encontrados em áreas com relevo plano a ondulado.
- Argissolos Amarelos - compreendem solos formados por material com argila de atividade baixa. A textura é arenosa a média. São bem drenados e muito profundos, podendo ter concreções lateríticas, formando camadas ou dispersas, ocorrendo em áreas com relevo plano a ondulado.

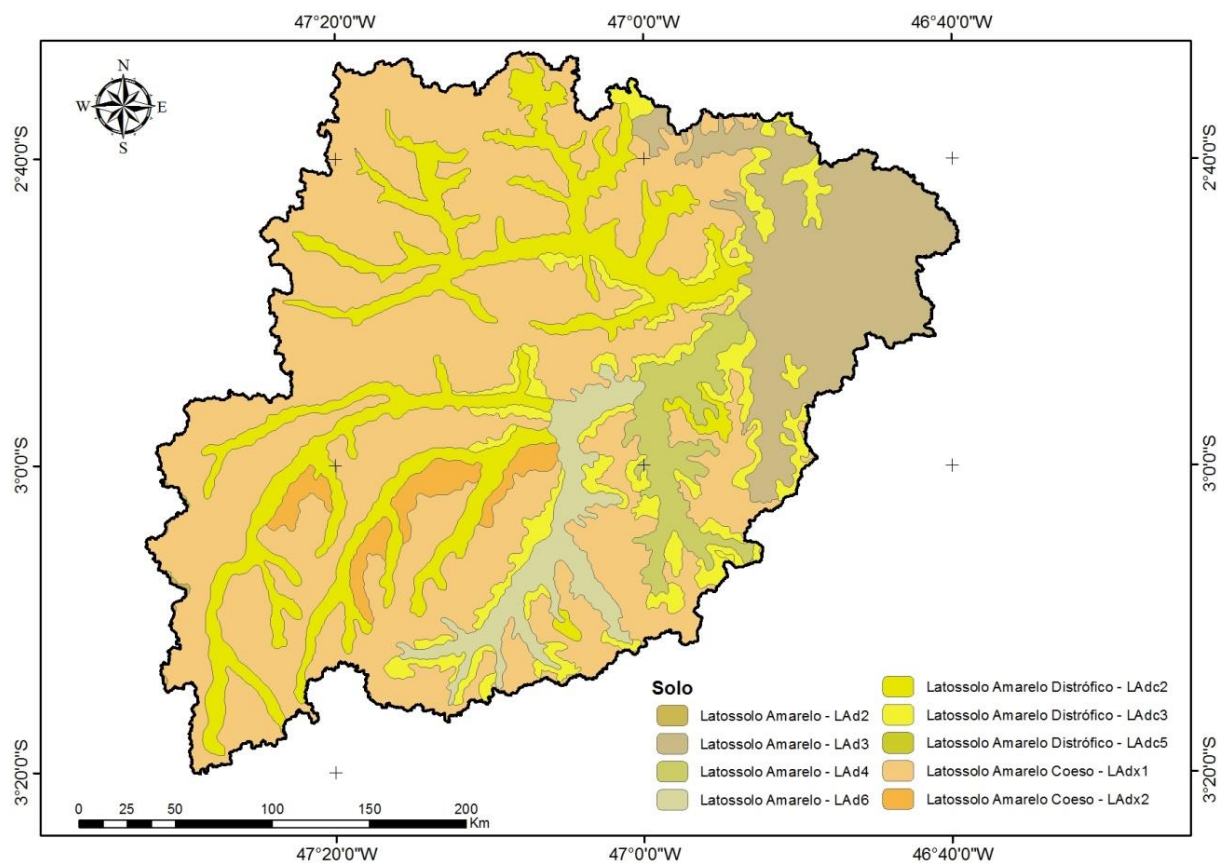


Figura 3 – Tipos de Solo da bacia do rio Uraim. Fonte: (EMBRAPA, 1999), adaptado.

3.1.5. Geomorfologia

O município apresenta uma topografia com baixa variação das cotas altimétricas. A sede municipal alcança cotas de aproximadamente 90 metros, todavia estes níveis se elevam um pouco à medida que se descola ao Sul. O relevo apresenta formas predominantes de pediplano degradados e formas homogêneas tabulares relativamente elevadas e aplainadas, são encontradas formas colinosas fortemente dissecadas em formações sedimentares (figura 4). As diversas alterações das direções dos cursos dos grandes rios da região, o reencaixamento da rede de drenagem, retomada de erosão nos vales e nos rebordos erosivos,

bem como afloramentos do Pré-Cambriano indicam movimentação sucessiva do nordeste do Estado do Pará. Morfoestruturalmente a região faz parte da unidade que se convencionou chamar de Planalto Sul do Pará/Maranhão (PALMEIRA, 2004).

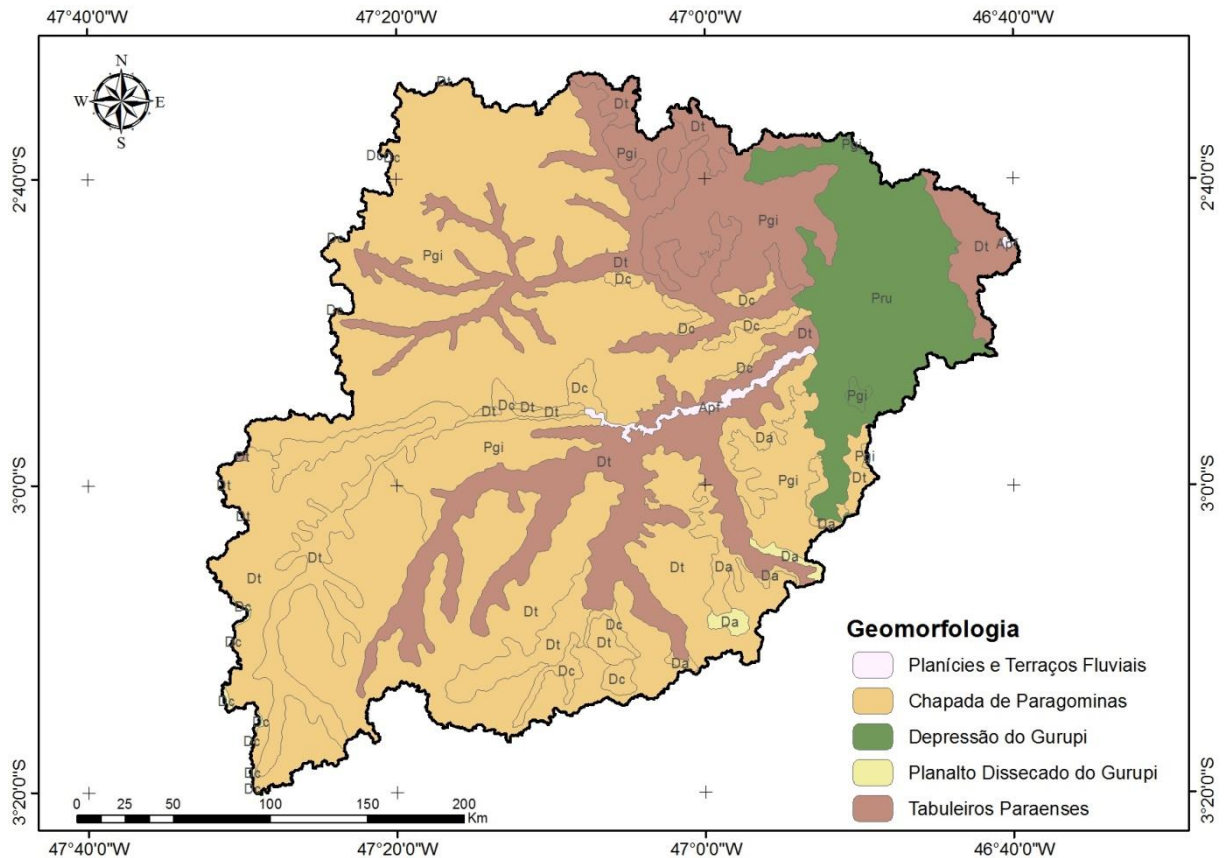


Figura 4 – Geomorfologia da bacia do rio Uraim. Fonte: (IBGE, 2006), adaptado.

3.1.6. Hidrografia

A malha hidrográfica da Bacia do rio Uraim, assim como as demais bacias existentes no município, é bastante densa sendo os seus principais tributários o igarapé do Sete, igarapé Água Suja e o rio Maritaca. A bacia do rio Uraim (figura 5), área de estudo deste trabalho, é uma das seis sub-bacias que desaguam no rio Gurupi, sendo que a mesma possui 571 km de perímetro e uma área de 511.011ha, dos quais se estendem em 87% no território do município de Paragominas e os 13% restantes no município de Nova Esperança do Piriá, entretanto, possui uma grande importância ao município de Paragominas devido à sua área urbana estar localizada no interior da mesma (PINTO *et al*, 2009).

A área apresenta notadamente controle estrutural NE-SW da rede de drenagem e localizadamente E-W, controlada por feições morfológicas, constituídas por sedimentos areno - siltosos da Formação Itapecuru (ARAÚJO *et al*, 2006).

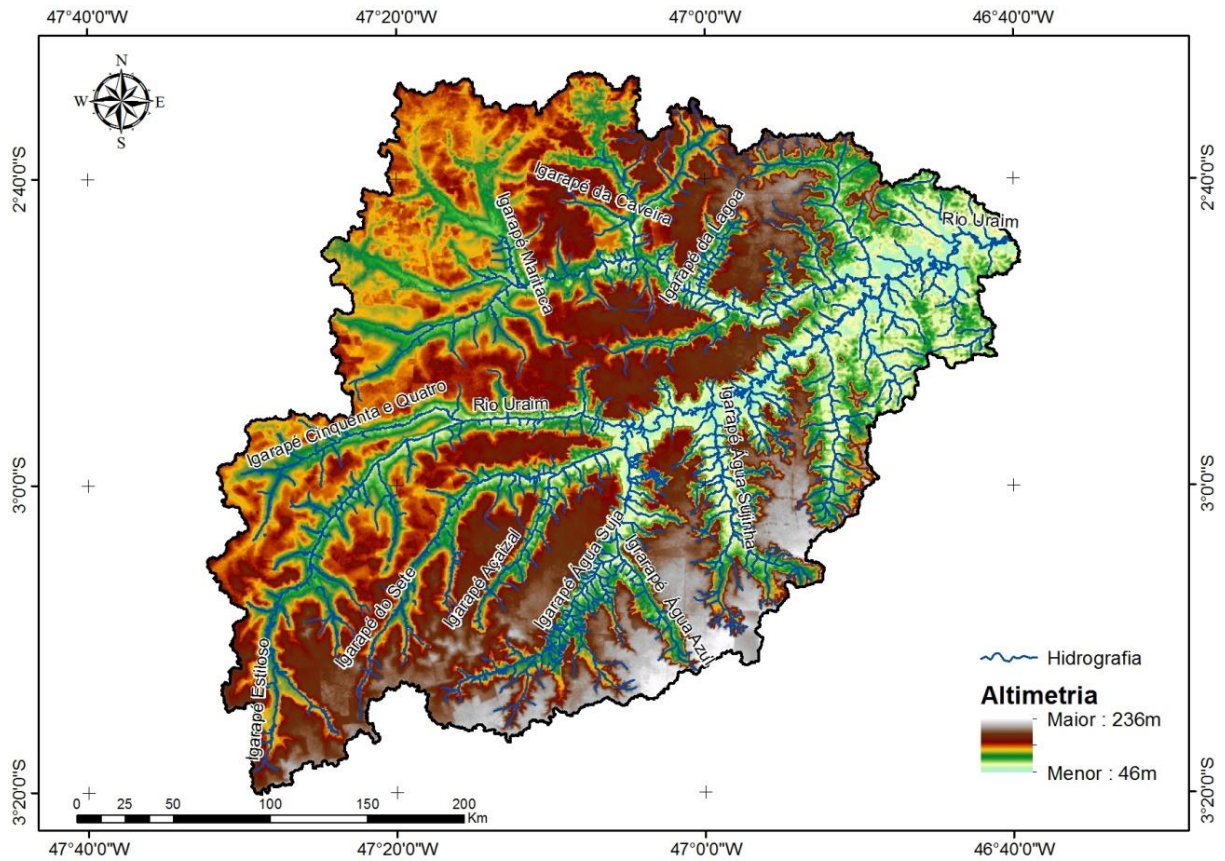


Figura 5 – Hidrografia.

3.1.7. Aspectos Socioeconômicos

O PIB nominal do município de Paragominas em 2013 foi de R\$ 1,82 bilhões, ocupando o 11º lugar com 1,5% do PIB do estado. O setor de serviços foi o que mais contribuiu para o PIB nominal municipal. O principal setor de geração de emprego é o de serviços e a cultura de soja é a que mais contribui para o valor da produção agrícola no município, seguida pelas culturas de milho e mandioca. A classe na distribuição de renda por domicílios que apresentou maior destaque no ano 2010, com 21%, foi a que enquadra os salários recebidos na faixa de $\frac{1}{4} < e \leq \frac{1}{2}$ salário mínimo, definido em R\$ 510 para o mesmo ano (AMARAL; PINTO, 2014).

3.2. MATERIAIS E BASE DE INFORMAÇÃO

De modo a subsidiar esta pesquisa, foram levantados os materiais cartográficos e bibliográficos disponíveis para a área pesquisada. Os materiais cartográficos consistem em:

- Mapa de solos do município de Paragominas-Pará, escala 1:250.000 (EMBRAPA, 1999);
- Geomorfologia do município de Paragominas, escala 1:250.000 (IBGE, 2006);
- Limites político-administrativo do município de Paragominas (IBGE);

Foram adquiridas as imagens do satélite Landsat VIII: cena 222/62, referente ao ano de 2015, com resolução espacial de 15 metros fusionada com a banda pancromática e o dado *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) da banda C com resolução espacial de 90 metros. Ambos os dados são disponibilizados publicamente por intermédio do *United States Geological Survey* (USGS).

O material cartográfico adquirido em diversas fontes foi compilado em uma base cartográfica digital georreferenciada no Datum SIRGAS 2000 e gerenciada com o SIG Arc Gis 10 e Quantum GIS 2.12 (QGIS).

3.3. PROCESSAMENTO DIGITAL E GERAÇÃO DE MAPAS DERIVADOS

Nesta etapa foram gerados os mapas temáticos necessários para a execução do estudo. Tais mapas são produtos derivados do processamento digital do Modelo Digital de Elevação (MDE) oriundo do SRTM e da imagem do satélite Landsat VIII.

3.3.1. Delimitação Automática da Bacia Hidrográfica do Rio Uraim

A partir do processamento do MDE gerou-se o mapa de declividade percentual do terreno e delimitou-se a bacia do rio Uraim. O processo de delimitação automática da bacia hidrográfica foi executado no SIG ArcGIS, utilizando as extensões: Spatial Analyst e Hydrology Modeling (ESRI, 2010). A metodologia utilizada nesse processo subdividiu-se em quatro etapas, sendo: preenchimento de depressões (“fill sinks”), direção de fluxo (“flow direction”), fluxo acumulado (“flow accumulation”) e delimitação de bacias (“Watershed”) (SOBRINHO *et al*, 2010).

3.3.2. Classificação da Imagem de Satélite Segundo o Uso e Ocupação do Solo

No processamento da imagem de satélite foi utilizada a técnica de classificação supervisionada de Máxima-Verossimilhança para geração do mapa de uso e ocupação do solo. Este método considera a ponderação das distâncias entre as médias dos valores dos pixels das classes, utilizando parâmetros estatísticos de modo a tornar este um classificador muito eficiente, pois as classes de treinamento são utilizadas para estimar a forma da distribuição dos pixels contidos em cada classe no espaço de n bandas, como também a localização do centro de cada classe, deste modo, na classificação de máxima verossimilhança cada pixel é destinado à classe que tem a mais alta probabilidade, isto é, a máxima verossimilhança (MENESES; ALMEIDA, 2012). Para a definição das classes de uso e ocupação do solo adotou-se os critérios utilizados por Palmeira (2004), deste modo as classes geradas são as seguintes (figura 6):

- *Floresta* - classe de floresta que ocorre nas grandes planícies e planaltos da Amazônia, classificada como Floresta Ombrófila Densa;
- *Pastagem* - classe formada por qualquer cobertura de pastagem utilizada em atividade de pecuária. Esta agrega as áreas de pasto limpo e pasto sujo;
- *Regeneração natural* - áreas em que ocorre o processo denominado de sucessão secundária ou sucessão natural que ocorre quando a vegetação é subsequente ao desmatamento, ou seja, áreas de atividades antrópicas abandonadas (agricultura, pecuária, extração madeireira ou mineração);
- *Corpos d'água* - áreas cobertas por água;
- *Silvicultura* - áreas ocupadas por reflorestamento com espécies exóticas ou nativas;
- *Área Urbanizada* - áreas ocupadas com estabelecimentos residenciais e/ou industriais (áreas construídas).

A imagem de satélite foi submetida à interpretação visual objetivando a validação do mapa de uso e ocupação do solo, bem como para vetorização da rede de estradas e da rede de drenagem da área de estudo. A rede de drenagem vetorizada foi o principal insumo para o mapeamento das APPs que são definidas por BRASIL (2012).

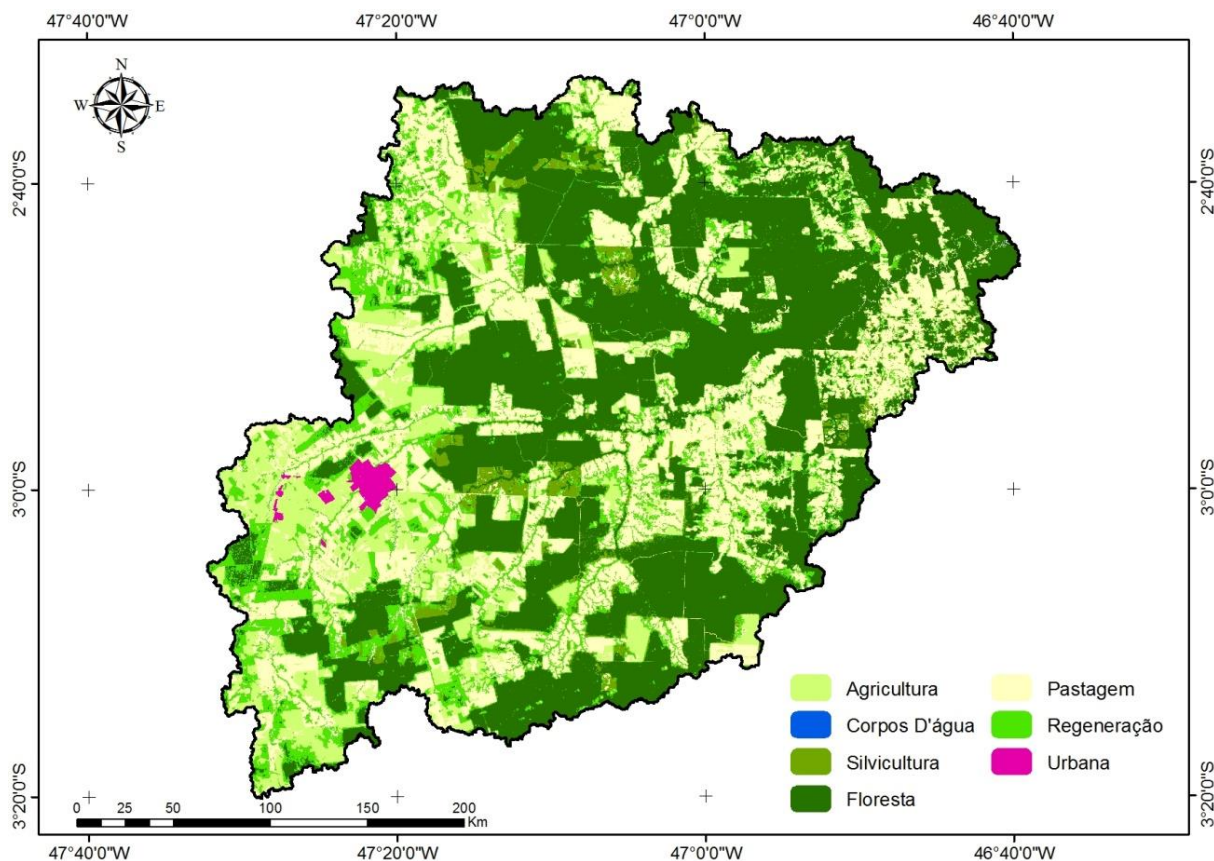


Figura 6 - Uso e Ocupação do Solo

3.4. AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS

A análise multicritério permite realizar estudos detalhados dos atributos de cada mapa temático de forma integrada. Neste tipo de metodologia é fundamental a escolha de parâmetros técnicos, ambientais e antrópicos, considerados fundamentais para o tipo de empreendimento. Dentro deste contexto, há a necessidade de que cada um dos planos de informação (critério), extraídos dos mapas, seja ponderado pela utilização de pesos segundo sua importância relativa, postulando-se que o conjunto de parâmetros selecionados componha 100% da responsabilidade pela situação ambiental analisada. Neste sentido, os pesos atribuídos apresentam-se de maneira multidisciplinar e multicritério (MELO, 2008).

Esta análise multicriterial será realizada no SIG por meio do procedimento denominado por Silva e Zaidan (2011) de Varredura Analítica e Integração Locacional (VAIL), o qual permite a geração de mapas temáticos a partir do exame detalhado de ocorrências ambientais conjuntas em forma de mapas temáticos de entrada.

Na figura 7 são ilustrados os procedimentos a serem executados para análise multicriterial, bem como o procedimento VAIL a ser utilizado para integração dos mapas

temáticos de entrada para identificação de áreas propícias para implantação de aterro sanitário.

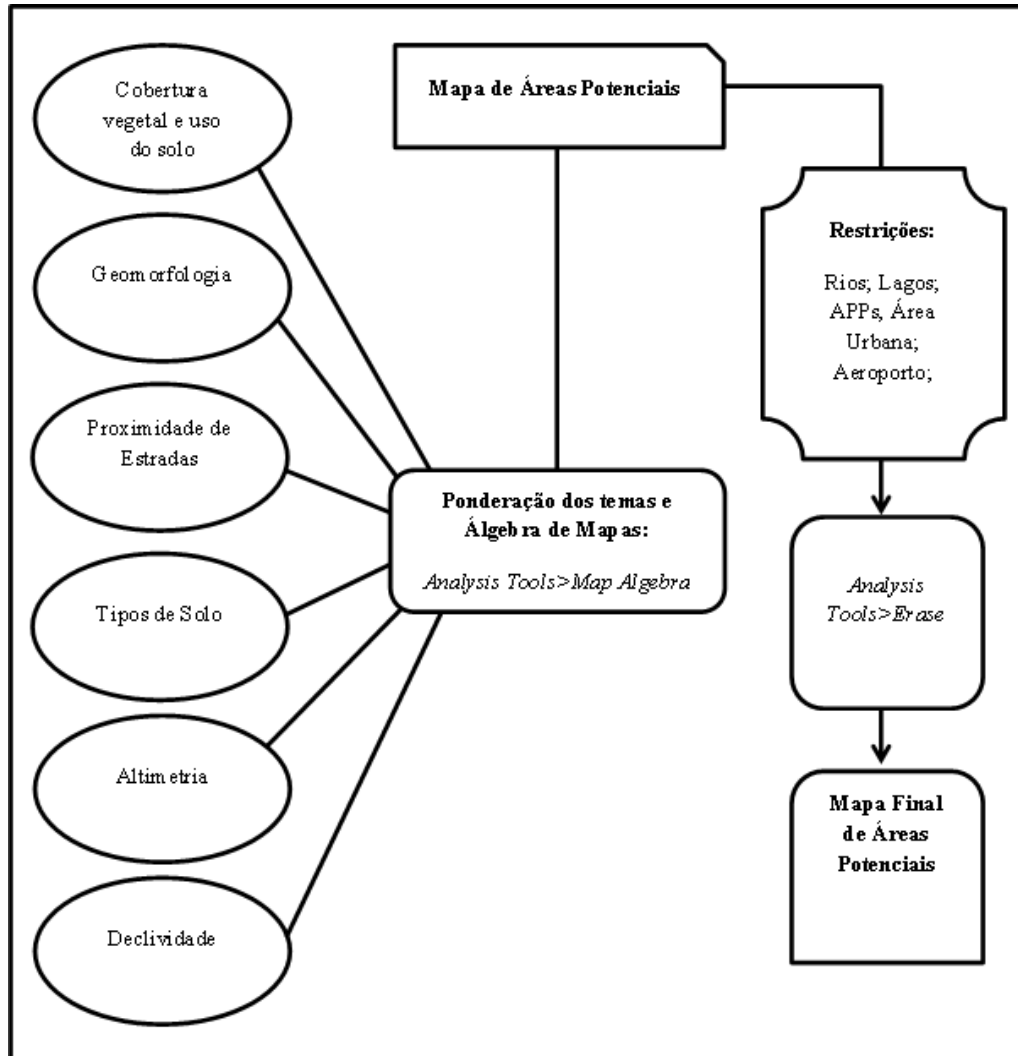


Figura 7 - Fluxograma representando os cruzamentos dos mapas temáticos para seleção de possíveis áreas para Implantação de Aterros Sanitários

Na etapa de álgebra de mapas, os mapas foram integrados ponderando os temas utilizando a seguinte expressão matemática:

$$\text{Mapa de áreas potenciais} = \frac{(\text{Tema}^1 * \text{Peso}^1) + (\text{Tema}^n * \text{Peso}^n)}{100}$$

3.4.1. Ponderação dos Critérios Ambientais

Após a análise e avaliação de todos os critérios estabelecidos, é necessário se estabelecer uma cuidadosa priorização dos mesmos, ponderando e atribuindo pesos a cada plano de informação, dando-se ênfase aos critérios de maior prioridade (ARRUDA, 2007). Os pesos foram atribuídos conforme sugere a metodologia proposta por Silva e Zaidan (2011), que consiste na consulta a equipe multidisciplinar de profissionais com formação e conhecimento nas áreas de geografia, engenharia sanitária ou ambiental e geologia. Neste trabalho foram consultados profissionais da secretaria municipal de meio ambiente e de outros integrantes do poder público, responsáveis pela área gestão urbana. Os pesos atribuídos a cada mapa temático estão na tabela 01.

Tabela 1 - Pesos atribuídos a cada mapa para indicação de áreas potenciais para aterro sanitário.

MAPAS TEMÁTICOS	PESOS (%)
Tipo de Solo (Litologia)	10
Geomorfologia	10
Altimetria	10
Declividade	15
Proximidade de Estradas	20
Cobertura Vegetal e Uso do Solo	35

3.4.2. Padronização dos Critérios

Os planos de informações, que são os critérios envolvidos na análise, precisam estar padronizados em uma escala contínua de suscetibilidade devido às diferenças tanto quantitativas quanto qualitativas que há entre os fatores utilizados em uma avaliação multicritério. Segundo Dalmas (2011), esta padronização permite a perfeita correlação entre os mapas temáticos, pois sem este procedimento seria impossível combinar, por exemplo, um mapa de distância de altimetria, quantitativo (unidade de medida em metros) com um mapa de uso e cobertura do solo, que é qualitativo, pois estes fatores não são correlacionáveis.

A padronização dos critérios foi realizada segundo o método proposto por Silva e Zaidan (2011), atribuindo-se pesos de 0 a 10 para cada classe (atributo) contida em cada um do mapa citados na tabela 1. Estes pesos foram atribuídas tendo em vista os aspectos ambientais determinantes para indicação dessas regiões, sendo que o peso 0 (zero) indica

áreas inadequadas no critério avaliado, assim como peso 10 (dez) expressa o maior medida de indicação.

3.4.2.1. Pesos das Classes da Camada Tipos de Solo

Foi observado que na área estudada há a predominância de Latossolo amarelo, que são solos são bastante argilosos e estáveis, por serem solos bem desenvolvidos, maduros de elevada profundidade (PALMEIRA, 2004). Os tipos de solo que receberam maior peso foram os de mais elevado teor de argila, por terem uma menor permeabilidade natural, em contrapartida, solos com textura arenosa receberam pesos menores, devido a maior permeabilidade (tabela 2).

Tabela 2 – Pesos das classes do mapa de tipos de solo.

Sigla	Descrição	Textura	Pesos
LAd2	Latossolo amarelo distrófico	Textura média.	9
LAd3	Latossolo amarelo distrófico	Textura média + ARGISSOLO AMARELO Distrófico com textura arenosa/média.	7
LAd4	Latossolo amarelo distrófico	Textura média + ARGISSOLO AMARELO Distrófico de textura arenosa/argilosa.	7
LAd6	Latossolo amarelo distrófico	Textura média + LATOSSOLO AMARELO Distrófico Concrecionário de textura muito argilosa	9
LAdc2	Latossolo amarelo distrófico Concrecionário	Textura muito argilosa + LATOSSOLO AMARELO Distrófico com textura muito argilosa.	10
LAdc3	Latossolo amarelo distrófico Concrecionário	Textura muito argilosa cascalhenta + LATOSSOLO AMARELO Distrófico de textura muito argilosa.	10
LAdc5	Latossolo amarelo distrófico Concrecionário	Textura muito argilosa + ARGISSOLO AMARELO Distrófico de textura arenosa/média.	7
LAdx1	Latossolo amarelo distrófico coeso	Textura muito argilosa.	10
LAdx2	Latossolo amarelo distrófico coeso	Textura muito argilosa + LATOSSOLO AMARELO Distrófico de textura muito argilosa cascalhenta.	9

3.4.2.2. Pesos das Classes da Camada Geomorfologia

Os pesos atribuídos a cada de classe do tema geomorfologia seguiram os critérios de vulnerabilidade ao processo erosivo, que foram obtidos do trabalho de Palmeira (2004). As classes com menor vulnerabilidade receberam peso 10 (tabela 3). De forma geral, os valores obtidos mostram que a região estudada é composta por extensas áreas aplainadas com baixa declividade e amplitude altimétrica, nas quais a estabilidade predomina.

Tabela 3 – Pesos das classes do mapa de geomorfologia.

Sigla	Categoria	Pesos
Da	Homogênea aguçada	8
Dc	Homogênea convexa	8
Dt	Homogênea tabular	10
Pgi	Pediaplano degradado inumado	10
Pru	Pediaplano retocado desnudado	9
Apf	Planície fluvial	0

3.4.2.3. Pesos das Classes da Camada Altimetria

Nota-se que a área de estudo apresenta uma topografia com baixa variação altimétrica, estando as cotas predominantes situadas na faixa entre 40 a 120 metros (tabela 4). A faixa altimétrica predominante recebeu peso 10 devido a menor amplitude altimétrica no terreno. Já as áreas acima de 200 metros receberam o menor peso, pois apresentam maior amplitude altimétrica o que as sujeitam ao processo erosivo.

Tabela 4 – Pesos das classes do mapa de altimetria.

Altimetria	Pesos
40 - 120m	10
120 - 200m	8
200 - 250m	5

3.4.2.4. Pesos das Classes da Camada Declividade

O relevo da área de estudo apresenta pouca declividade, sendo a declividade predominante a que compreende a faixa entre 0% a 10%. O mapa de declividade foi fatiado nas faixas apresentadas na tabela 5 e os pesos foram extraídos de Silva e Zaidan (2011).

Tabela 5 – Pesos das classes do mapa de declividade.

Declividade	Pesos
0,0 - 2,5%	10
2,5 – 5,0%	10
5,0 – 10,0%	9
10,0 – 20,0%	6
20,0 – 40,0%	3
40,0 – 60,0%	1
>60%	0

3.4.2.5. Pesos das Classes da Camada Proximidade de Estradas

O acesso ao terreno deve ter pavimentação de boa qualidade, sem rampas íngremes e sem curvas acentuadas, de forma a minimizar o desgaste dos veículos coletores e permitir seu livre acesso ao local de vazamento mesmo na época de chuvas muito intensas (ARRUDA, 2007). As áreas próximas até 2 km das vias que cumprem estes requisitos receberam peso 10, este peso foi reduzido à medida que os requisitos não foram atendidos por certos tipos de via, que podem onerar a obra de instalação e operação do aterro sanitário (tabela 6).

Tabela 6 – Pesos das classes do mapa de proximidade de estradas.

Tipo de Estrada (Proximidade Até 2km)	Pesos
Rodovia Pavimentada	10
Rodovia Não Pavimentada	9
Caminho Carroçável	7
Trilha	6
Distante a mais de 2Km de qualquer tipo de via	3

3.4.2.6. Pesos das Classes da Camada Cobertura e Uso do Solo

A atribuição de pesos das classes de Uso e Ocupação do Solo se deu com base nas orientações de IBAM (2001) de que as áreas têm que se localizar numa região onde o uso do solo seja rural (agrícola) ou industrial (tabela 7). Deste modo, as classes “Florestas” e “Área Urbanizada” receberam peso 0 (zero) por serem inadequadas ao que tange este critério. Por sua vez, a classe “Pastagem” recebeu o peso máximo estando, portanto, mais adequadas ao critério, visto que as áreas de pastagens no município se encontram em sua maioria degradadas.

Tabela 7 – Pesos das classes do mapa de cobertura vegetal e uso do solo.

Cobertura Vegetal e Uso do Solo	Pesos
Floresta	0
Agricultura	9
Pastagem	10
Regeneração Natural	4
Água	0
Silvicultura	4
Área Urbanizada	0

3.4.3. Restrições Segundo as Normas e Legislação

O mapa gerado no processo de “álgebra de mapas” foi submetido ao processamento digital para aplicação das restrições ambientais e técnicas por meio de cruzamento de mapas com auxílio de ferramenta de *overlay* do SIG. Os mapas de restrições aplicados foram (figura 8):

- Área urbana e *buffer* de 2 km;
- *Buffer* de 200 m do curso d’água;
- *Buffer* de 200 m do sistema viário principal;
- *Buffer* de 1,6 km do aeroporto municipal.

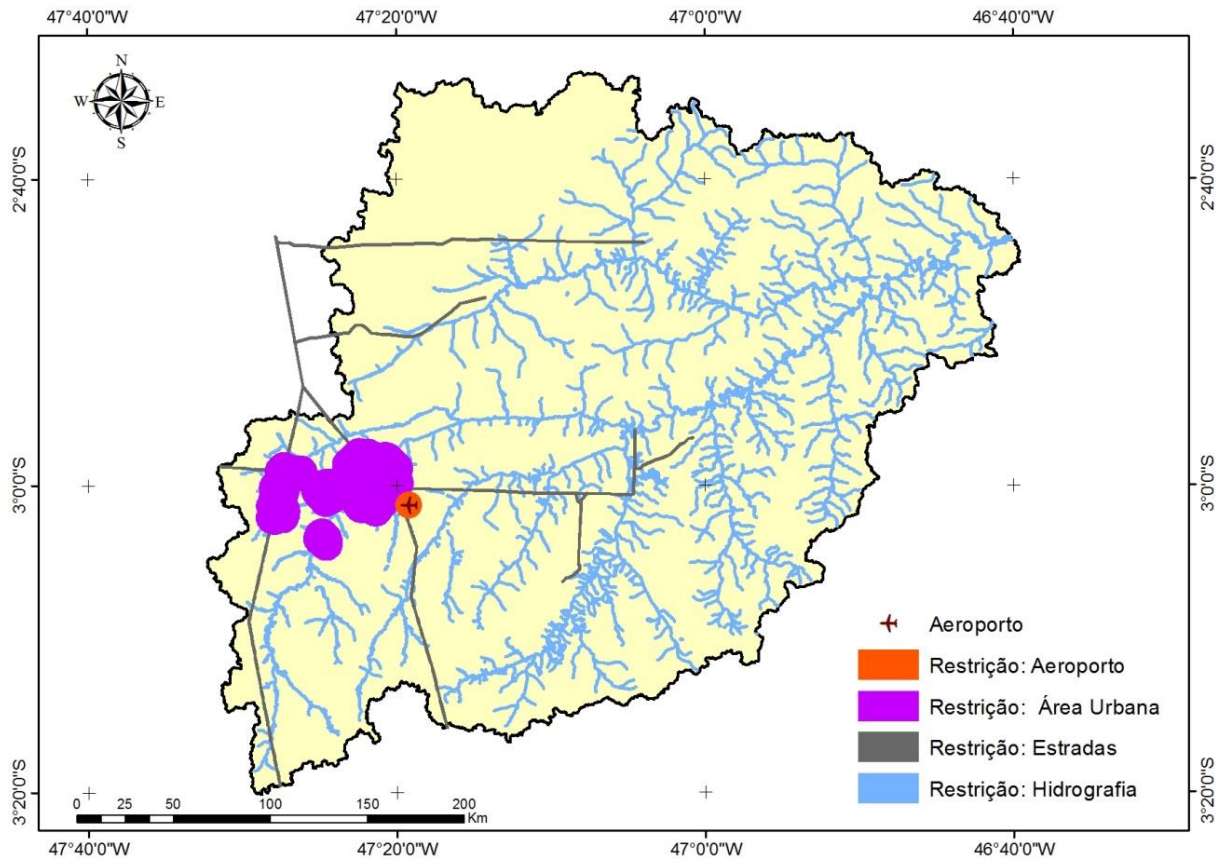


Figura 8 - Mapa de restrições ambientais e técnicas

3.4.4. Cálculo da Área Mínima do Aterro Sanitário

Nesta etapa, foi calculada a área mínima para o aterro sanitário de Paragominas, utilizando-se como dados a população atual (107.010 pessoas) e a taxa de crescimento 2,59% ao ano (IBGE, 2015). Foi adotada uma vida útil de 15 anos de operação para este depósito sanitário.

3.4.4.1. Cálculo da população estimada em 2030

A partir da fórmula de progressão geométrica, obtêm-se:

- $P_f = P_0 \cdot (1 + \alpha)^t$, onde:

P_f = População ao final da vida útil do aterro (ano 2030)

P_0 = População atual (ano 2015): 107.010 habitantes

α = taxa de crescimento atual: 2,59%

t = tempo em anos

- $P_{2030} = 107.010 (1 + 0,0259)^{15}$

- **$P_{2030} = 157.036 \text{ hab.}$**

3.4.4.2. Cálculo da produção de lixo (kg/dia)

Segundo Costa e Costa (2012) a produção diária de resíduo sólido domiciliar em Paragominas é de 0,58 kg/hab.dia, deste modo a produção de lixo (Q) é de:

- $Q_{2030} = 157.036 \text{ hab. } 0,58\text{kg/hab.dia}$
- **$Q_{2030} = 91.080 \text{ kg/dia}$**

3.4.4.3. Cálculo do volume de resíduo sólido (m³/dia)

Segundo Silva e Zaidan (2011), o peso específico (Pe) do lixo compactado é de 500 a 700kg/m³. Desta forma, o volume diário de resíduo sólido produzido é de:

- $V = + \frac{Q}{Pe} \rightarrow V = \frac{91.080 \text{ kg/dia}}{700\text{kg/m}^3}$
- **$V = 130,1\text{m}^3/\text{dia}$**
- $V_{2030} = 130,1\text{m}^3/\text{dia} \cdot 365 \text{ dias} \cdot 15 \text{ anos}$
- **$V_{2030} = 712.297,50\text{m}^3$**

3.4.4.4. Cálculo da área mínima para o Aterro Sanitário

Segundo IBAM (2012), para que o lixo aterrado tenha as melhores condições para que seja decomposto, a altura das células após a compactação dever ser de quatro a seis metros, deste modo tem-se que:

- $A_{\text{mínima}} = V/h_{\text{máx}}$
- $A_{\text{mínima}} = 712.297,50\text{m}^3/6\text{m}$
- $A_{\text{mínima}} = 118.716\text{m}^2 \rightarrow \mathbf{A_{\text{mínima}} \approx 12\text{ha}}$

Devido o pequeno porte da cidade de Paragominas, neste cálculo final foi considerada a população de 2030 de modo a fornecer uma margem de segurança. Contudo, a área selecionada deve ser maior que 12 ha.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o processamento da álgebra de mapas, onde foi aplicada a ponderação dos temas (critérios) padronizados, obteve-se o “Mapa das áreas potenciais para instalação de aterro sanitário” (figura 9) com pesos de 4 a 10. Estes pesos refletem o grau de atendimento aos multicritérios que determinam a viabilidade (potencial) ambiental das áreas para a finalidade proposta.

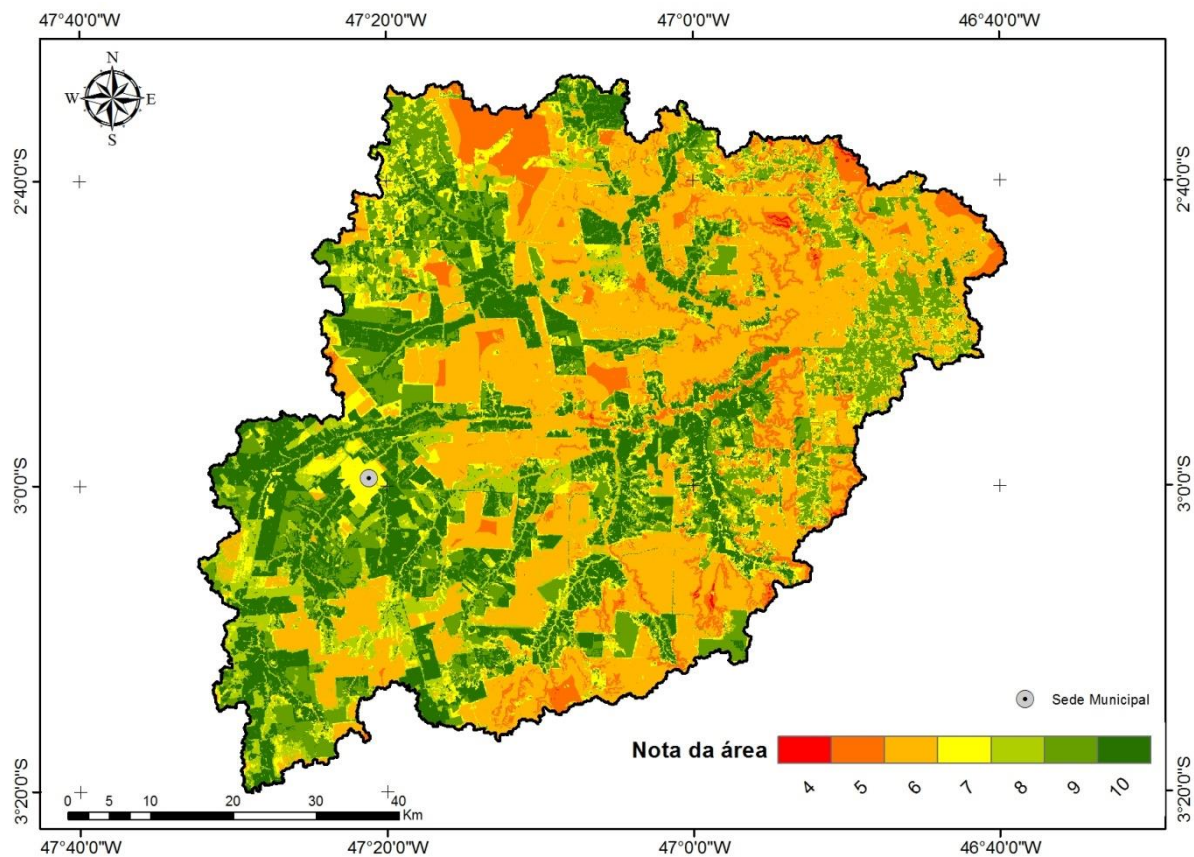


Figura 9 - Mapa das áreas potenciais para instalação de aterro sanitário

4.1. ÁREAS AMBIENTALMENTE VIÁVEIS PARA INSTALAÇÃO DE ATERRO

Com o cruzamento do “mapa de áreas potenciais” com “mapa de restrições ambientais e técnicas” obteve-se um plano de informações que por sua vez foi reclassificado com a ferramenta *reclass* do Arcgis. O resultado obtido foi o “mapa das áreas indicadas para instalação de aterro sanitário” (figura 10).

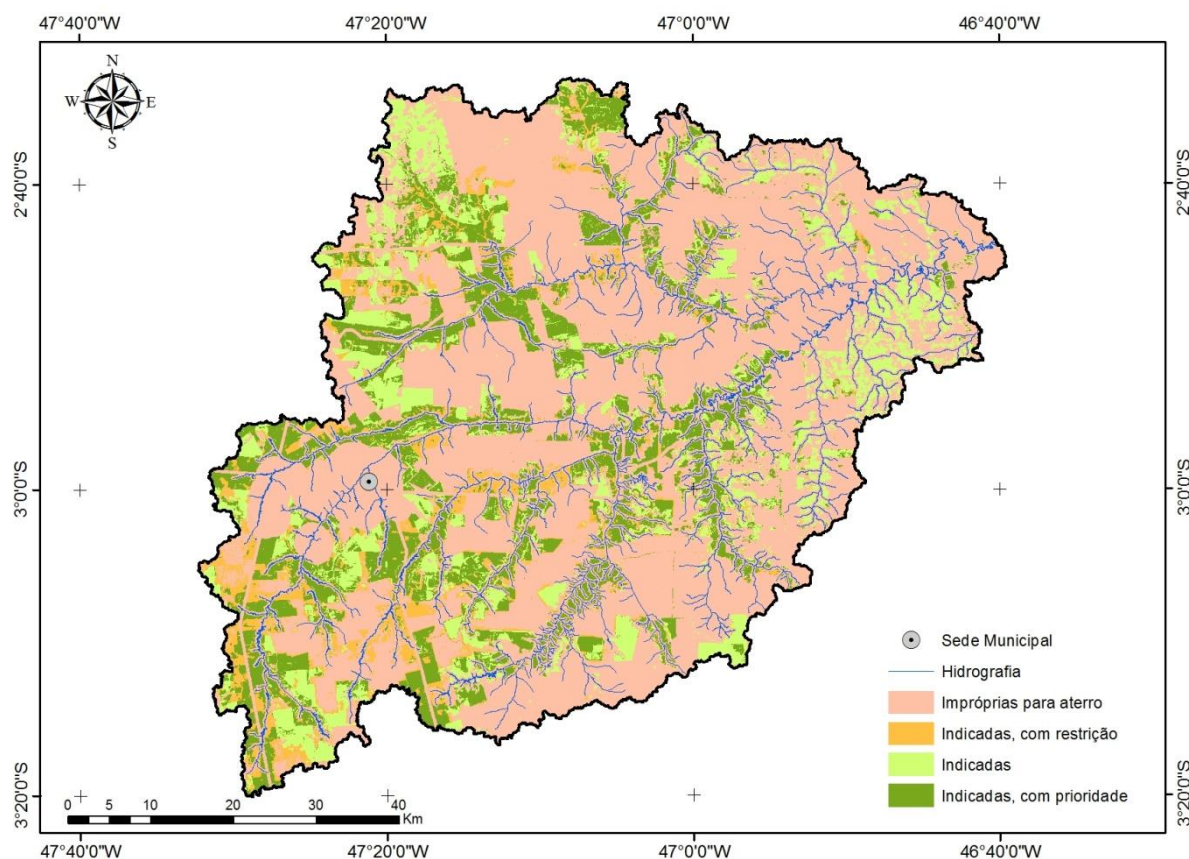


Figura 10 - Mapa das áreas indicadas para instalação de aterro sanitário

O mapa das áreas indicadas representa as classes de viabilidade ambiental, o mesmo é composto pelos atributos das localizações resultantes da análise multicritério, agrupados conforme Silva e Zaidan (2011). Tais atributos indicam se as áreas quanto à finalidade de instalação de aterro são: Impróprias; Indicadas, com restrição; Indicadas; Indicadas, com prioridade.

Visto que é desejável que o percurso de ida (ou de volta) que os veículos de coleta fazem até o aterro, através das ruas e estradas existentes, seja o menor possível, com objetivo de reduzir o seu desgaste e o custo de transporte do resíduo sólido (IBAM, 2001), foi realizado no mapa de áreas indicadas, uma busca a partir do centro geométrico de coleta em um raio de 20 km de áreas classificadas como “Indicadas, com prioridade”.

Das áreas que se enquadraram nesta filtragem, foram eliminadas todas as com dimensões menores que 12 ha, área mínima necessária para implantação do aterro de Paragominas, o resultado desta busca está ilustrado na figura 11.

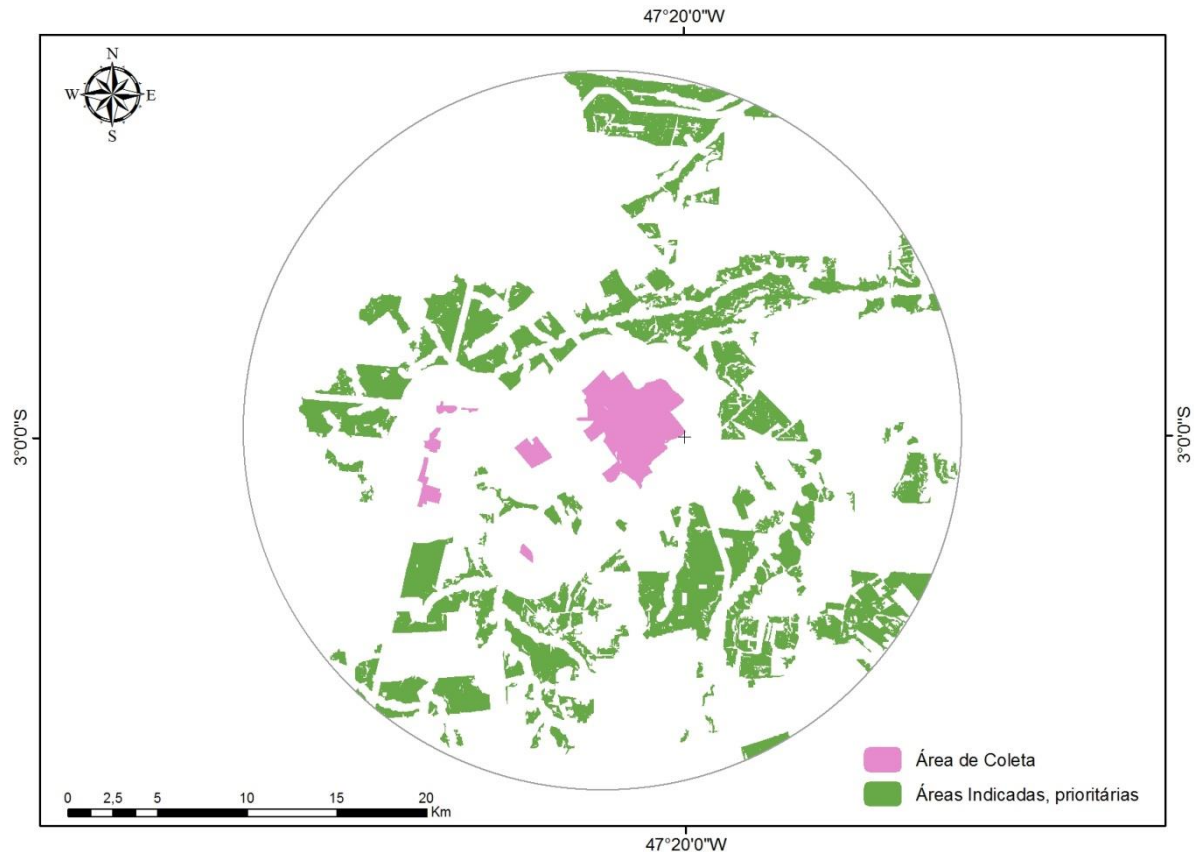


Figura 11 - Mapa do raio de busca de Áreas Indicadas com prioridade

Os resultados obtidos demonstram que há um grande elenco de áreas simultaneamente aptas à instalação de aterro e próximas do centro gerador de resíduos sólidos, somente dentro do raio de busca o total de áreas “indicadas, com prioridade” é de 21.160 ha, distribuídos em 138 polígonos de área superior a 12 hectares. Este fato majora as possibilidades disponíveis ao órgão gestor dos resíduos sólidos, na escolha de uma área que seja ambientalmente propícia e concomitantemente de baixo valor imobiliário.

De forma geral, a abundância de áreas aptas na região estudada deve-se principalmente pela existência de solos predominantemente argilosos e pela geomorfologia, cuja principal característica é a estabilidade, pois a mesma é composta por extensas áreas aplainadas com baixa declividade e amplitude altimétrica. Estes fatores favoráveis junto à existência de grandes áreas agropastoris foram predominantes na determinação dos resultados obtidos.

Embora tenha resultado deste trabalho o mapeamento por meio de critérios técnicos e ambientais, das áreas ambientalmente viáveis para se implantar aterros sanitários, para a escolha efetiva das áreas pelo município, são necessárias providências que estão além da esfera técnico-científica.

Dentre estas providências, a avaliação de outros critérios relevantes como o econômico-financeiro, deve ser adotada, com o objetivo de se reduzir os custos, identificando entre as áreas indicadas pelas análises, quais pertencem à prefeitura, avaliando também se estes locais são áreas rurais ou industriais, de modo a identificar aquelas em que é possível a aquisição ou desapropriação a custos aceitáveis a seus orçamentos.

Outra providência desta natureza é a busca por parcerias políticas com outros municípios para a formação de um consórcio público para a gestão dos resíduos sólidos, pois além de possibilitar a diminuição dos custos de construção de um aterro sanitário possibilita a redução dos impactos ambientais caso fossem construídos vários aterros em municípios circunscritos na mesma região.

Ressalta-se que a análise com geração de mapas temáticos com classificação contínua dos dados, permite reduzir o custo financeiro além de realçar as potencialidades do uso das geotecnologias para a tomada de decisão em empreendimentos com potencial degradador, tal como é o aterro sanitário. O método de ponderação aplicado, neste caso, pode ser utilizado para gerar vários cenários para o mesmo objetivo através da simples alteração dos pesos ou da inclusão ou exclusão de variáveis.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A disposição final em aterro sanitário é o método mais difundido e utilizado de destinação final de resíduos sólidos na atualidade. Quando este procedimento é efetuado adotando rigorosos procedimentos técnicos, o resultado são obras seguras e eficientes. Contudo, vários impactos ambientais podem ocorrer na área, porém são passíveis de correção.

Neste contexto, características naturais da área de estudo como a predominância dos tipos de solo de baixa permeabilidade, que apesar de evitar a percolação de contaminantes aos mananciais subterrâneos, esta característica facilita o escoamento superficial, principalmente na ocorrência de chuvas de grande intensidade pluviométrica o fluxo superficial pode vir a ser direcionado às células do aterro inundando-as caso não ocorra um correto dimensionamento do projeto de drenagem o que pode vir a ocasionar uma elevada produção de chorume. Porquanto o cuidado com o projeto de drenagem da instalação deve ser prioritário.

Tendo em vista que na classificação do uso e ocupação do solo do ano de 2015 obteve-se a que a bacia hidrográfica do rio Uraim possui 289.725 hectares de área desmatada e/ou altamente degradadas e que a área de floresta remanescente (primária e secundária), cubram 221.212 ha, o que representa 43% de cobertura florestal, conclui-se que a área desmatada já é suficiente para sustentar as atividades de produção. Foi verificado ainda que a geografia do desmatamento demonstra maior concentração das áreas abertas no entorno das estradas oficiais. Embasado nestes fatos, concluiu-se que áreas propícias à instalação de aterro sanitário são as que já se encontram desmatadas.

Os fatos da grande disponibilidade de áreas desmatadas e o da grande pressão exercida sobre a cobertura florestal ao longo das décadas de 1970, 1980 e 1990, foram os principais fatores considerados ao se avaliar o critério “Cobertura Vegetal e Uso do Solo” como o mais importante dentre os demais. Este critério recebeu o maior peso sendo 35%, e dentre os tipos de classe de uso e ocupação as classificadas como “Floresta” receberam peso 0 (zero), a fim de se evitar a classificação de áreas de florestais como áreas indicadas para aterro com base em outros critérios favoráveis tais como topografia e tipo de solo.

Quanto à aplicação da técnica de análise multicritério aplicada utilizando SIG, fica evidente a importância do seu uso como ferramenta na classificação de áreas quanto o seu potencial para implantação de aterro sanitário e pode ser bem aplicada em trabalhos de planejamento territorial. Nesta classificação as áreas “indicadas, com prioridade” na bacia hidrográfica do rio Uraim foram de 75.300ha, dos quais 21.160 ha estão localizados no raio de 20 km de distância do centro gerador, este resultado representa uma grande disponibilidade

de áreas aptas para a finalidade estudada, todavia, a área onde está instalado o aterro controlado que atualmente atende o município de Paragominas, possui peso sete no mapa das áreas potenciais sendo, por conseguinte, uma área imprópria e restrita para a finalidade.

Este fato demonstra a importância da utilização de metodologias aplicadas via SIGs para análise prévia dos critérios ambientais e técnicos para evitar a escolha de área imprópria para destinação final dos resíduos sólidos. Desta forma, os resultados descritos neste estudo podem ser utilizados como uma importante ferramenta na gestão de resíduos sólidos urbanos, por fornecer ao município um elenco de opções de áreas para disposição final de resíduos, entretanto deve ser realizada uma melhor validação em *in-loco* a fim de constatar se os critérios realmente são respeitados.

Apesar da grande disponibilidade de áreas ambientalmente viáveis para destinação final do lixo, a efetiva solução para o município é o desenvolvimento de uma visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública, a qual se materializa pela efetiva implantação de um sistema de gerenciamento de resíduos sólidos integrado nos moldes da Política Nacional de Resíduos Sólidos, ou seja, o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos onde deve ser promovida a educação ambiental da população, implantação da coleta seletiva, a integração das já existentes cooperativas de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis e principalmente a não geração, redução, reutilização e reciclagem dos resíduos sólidos.

A efetiva execução do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos trará diversos benefícios para o meio ambiente, tais como: a diminuição de área necessária para instalação de aterro sanitário e, por conseguinte, aumento da vida útil do mesmo, uma vez que é será menor o volume de resíduos destinado a ele; redução da exaustão de recursos naturais não renováveis, ao utilizar os materiais descartados no processo industrial; a economia de energia e água, se comparado com os gastos no processo convencional a partir de matéria-prima original, sobretudo na indústria de alumínio.

O município deverá ainda estabelecer no seu Plano Diretor, áreas para instalação, construção e operação do aterro sanitário. Deste modo o mesmo não só estará contribuindo para que o uso de seu solo tenha um desenvolvimento ambiental adequado, mas também se evitando futuros incômodos de alteração de uso do solo, tal como urbanização, nas áreas onde já exista instalado um aterro sanitário, ou onde se planeja instalar.

REFERÊNCIAS

- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil) (ANA). **HidroWeb**: sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>>. Acesso em: 15 jul. 2016.
- AMARAL, Paulo; PINTO, Andreia. **Indicadores Municipais**: Paragominas. Jun. 2014. Disponível em: <<http://municipiosverdes.com.br/>>. Acesso em: 15 jan. 2016.
- ARAÚJO, Paulo Pontes et al. **Hidrogeologia Prospectiva em Bacia Sedimentar**: Estudo de Caso em Paragominas (PA). *In*: XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2006, São Paulo: ABAS, 2006. Disponível em: < <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/download/23010/15138>>. Acesso em: 15 Abr. 2015.
- ARRUDA, Paloma Louzada. **SIG como ambiente de análise e avaliação da implementação do centro de tratamento de resíduos sólidos urbanos do município do Rio de Janeiro – CTR-Rio**. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: < http://www.nima.puc-rio.br/cursos/pdf/041_paloma.pdf>. Acesso em: 15 Abr. 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. São Paulo, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13896**: Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação. São Paulo, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15849**: Resíduos sólidos urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento. São Paulo, 2010.
- BASTOS, T. X.; SILVA, G. de F. G. da. **Informações agroclimáticas do município de Paragominas para o planejamento agrícola**. Embrapa Amazônia Oriental, 2006. Disponível em <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/102368/1/Nilza4.pdf>> Acesso em: 26 Dez. 2016.
- BIANA, Silvio Mário de Souza. Seleção de Áreas Para Implantação de Aterros Sanitários no Município de Campina Grande–PB. 2007. 67f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande, 2007.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n° 404, de 11 de novembro de 2008. Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos. **Diário Oficial da União**. n. 220, p.

93. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=592>>. Acesso em: 15 Abr. 2012.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, 2 de agosto de 2010. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 15 abr. 2012.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 12.651**, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Brasília, 25 de maio de 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 16 fev. 2016.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 6.938**, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, em 31 de agosto de 1981. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm>. Acesso em: 15 abr. 2012.

CALIJURI, Maria Lúcia; MELO, André Luis de Oliveira; LORENTZ, Juliana Ferreira. Identificação de Áreas para Implantação de Aterros Sanitários com o Uso de Análise Estratégica de Decisão. **Revista IP**, Belo Horizonte, vol. 4, n. 2, p. 231-251, dez. 2002. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/brasil/iii-097.pdf>>. Acesso em: 15 Abr. 2012.

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu. **Fundamentos de Geoprocessamento**. São José dos Campos (SP): Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001.

CÂMARA, Gilberto; MEDEIROS, José Simeão. **Geoprocessamento para Projetos Ambientais**. 2. Ed. São José dos Campos (SP): Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Aterro Sanitário**. Apostilas Ambientais. São Paulo, 40 p., 1997.

COSTA, Dayane da Silva; COSTA, Ianna Farla da Silva. **Cota Per Capita de Resíduos Sólidos e Recicláveis no Município de Paragominas**. Paragominas (PA): Universidade do Estado do Pará, 2012.

CRESPO, Daniel Pizarro. **Estudo de Viabilidade Ambiental para Implantação do Aterro Sanitário de Canaã dos Carajás**. 2006. 49f. Monografia (Especialização) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, 2006. Disponível em:

<<http://www.csr.ufmg.br/geoprocessamento/publicacoes/DanielPizarroCrespo.pdf>>. Acesso em: 15 Abr. 2012.

DALMAS, Fabrício Bau *et al.* **Geoprocessamento aplicado à gestão de resíduos sólidos na UGRHI-11 – Ribeira de Iguape e Litoral Sul**. São Paulo: UNESP, Geociências, v. 30, n. 2, p. 285-299, 2011.

DOMINGOS, Clarice Silvestre. **Geoprocessamento na escolha de sistemas ambientais para aterros sanitários na Região Metropolitana de Fortaleza – CE**. 2007, 144f. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Geografia) – Universidade Estadual do Ceará Fortaleza - CE, 2007. Disponível em: <http://www.uece.br/mag/dmdocuments/clarice_silvestre_dissertacao.pdf>. Acesso em: 15 Abr. 2012.

EMBRAPA. **Mapa de Solos do Município de Paragominas – Estado do Pará**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental: SUDAM, 1999. Escala 1:250.000.

ESRI - ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **ArcGis Desktop. Versão 10**. Redlands: ESRI Inc., 2010.

IBAM - Centro de Pesquisas Urbanas do Instituto Brasileiro de Administração Municipal. **Manual de Gerenciamento de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

IBAM - INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. Disponível em: <<http://www.resol.com.br/cartilha4/manual.pdf>>. Acesso em: 15 Abr. 2012.

IBGE. **Cidades@**. 2015. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/EMX>>. Acesso em: 22 Dez. 2016.

IBGE. **Sistematização das Informações sobre Recursos Naturais: Geomorfologia**. Rio de Janeiro, RJ: Diretoria de Geociências, 2006. Escala 1:250.000.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. São Paulo: 2ª edição. IPT/Cempre, 2000.

LIMA, Gisele Sant'Anna de; GUIMARÃES, Lucy Teixeira. Metodologia para seleção de áreas para implantação de aterro sanitário municipal. *In*: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001 João Pessoa. **Anais eletrônicos do 21 Congresso da ABES**. Rio de Janeiro: ABES. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/brasil/iii-097.pdf>>. Acesso em: 15 Abr. 2012.

MAGALHÃES, Márcia Helena. **Estudo ambiental para seleção de área para implantação de aterros sanitários com recuperação de energia na bacia do rio Sapucaí**. 2007, 101 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia da Energia) - Universidade Federal de

Itajubá - Itajubá - MG, 2007. Disponível em: <<http://adm-net-a.unifei.edu.br/phl/pdf/0032870.pdf>>. Acesso em: 15 Abr. 2012.

MELO, Luciano de. **Seleção e Hierarquização de Áreas Para Implantação de Aterro Sanitário, Utilizando Geoprocessamento e Lógica “Fuzzy”**: Aplicação na Região Metropolitana de Aracaju (SE). 2008. 177 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati (org.). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: CNPq, 2012. 266 p.

PALMEIRA, Alessandro Ferraz. **Técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicadas à Gestão Do Território do Município de Paragominas (Estado do Pará)**. 2004. 265 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Especiais, São José dos Campos – SP, 2004.

PINA, Maria de Fátima de; SANTOS, Simone M. **Conceitos básicos de Sistemas de Informação Geográfica e Cartografia aplicados à saúde**. Brasília: OPAS, 2000.

PINTO, Andreia *et al.* **Diagnóstico Socioeconômico e Florestal do Município de Paragominas**. Relatório Técnico. Belém/PA: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia – Imazon, 2009. 65 p.

PIROLI, Edson Luís. **Introdução ao Geoprocessamento**. Ourinhos (SP): Universidade Estadual Paulista, 2010. 46 p. : ils.

SILVA, Jorge Xavier da; ZAIDAN, Ricardo Tavares. **Geoprocessamento e análise ambiental**. 5. ed. Rio de Janeiro: Beltrand Brasil, 2011.

SOBRINHO, Teodorico Alves; OLIVEIRA, Paulo T. S.; RODRIGUES, Dulce B. B.; AYRES, Fabio M. **Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM**. Eng. Agrícola, Jaboticabal, v.30, n.1, p.46-57, jan./fev. 2010.

VIEIRA, Sálvio José *et al.* Geoprocessamento utilizado na seleção de áreas para aterro sanitário. *In*: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001 João Pessoa. **Anais eletrônicos do 21 Congresso da ABES**. Rio de Janeiro: ABES, 2001. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/brasil/iii-086.pdf>>. Acesso em: 15 Abr. 2012.

WEBER, Eliseu; HASENACK, Heinrich. **Avaliação de áreas para instalação de aterro sanitário através de análises em SIG com classificação contínua dos dados**. Porto Alegre: UFRGS, 2000. Disponível em: <<http://www.ecologia.ufrgs.br/paginas.centro/idrisi/artigos/aterro.pdf>>. Acesso em: 15 Abr. 2012.