

IV-013 – ESTUDOS HIDROLÓGICOS E GEOPROCESSAMENTO COMO FERRAMENTA NA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS: ESTUDO DE CASO NA BACIA DO IGARAPÉ PAU GRANDE-MARITUBA-PA

Gabriel Lisboa Brito⁽¹⁾

Graduando de Engenharia Sanitária e Ambiental- UFPA.

Giovanni Chaves Penner

Engenheiro Sanitarista, Mestre e Doutor em Hidráulica e Saneamento EESC-USP, Professor Adjunto UFPA.

Rubens Takeji Aoki Araujo Martins

Graduando de Engenharia Sanitária e Ambiental- UFPA.

Moisés Marçal Gonçalves

Graduando de Engenharia Sanitária e Ambiental- UFPA.

Endereço⁽¹⁾: Cidade Nova 5, we 59 nº672- CEP: 67140-010 - Brasil - Tel: (91) 98528-0374 - e-mail: lisboabrito9@gmail.com

RESUMO

O presente trabalho trata como o Sistema de Informações Geográficas SIG pode ser usado como ferramenta para a gestão de recursos hídricos. A partir de um estudo hidrológico aplicado na bacia do igarapé Pau Grande, localizado no município de Marituba-PA, busca subsidiar a tomada de decisão sobre os recursos hídricos da região. Também, foi possível observar a dinâmica no meio natural provocado por um aterro sanitário instalado na região da bacia em tela. Com o uso do SIG foi possível realizar a caracterização física da bacia, interpretações sobre a dinâmica espacial causada pelo empreendimento e sistematização das medições realizadas em campo. A bacia em questão tem uma tendência natural a picos de cheia, em imagens de satélite foram evidenciadas drenagens naturais nas proximidades do aterro podendo funcionar como rota de escoamento de matérias sólidos e líquidos do empreendimento.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema de Informações Geográficas na Gestão de Recursos Hídricos, Caracterização física de bacia hidrográfica, Dinâmica de ocupação do solo.

INTRODUÇÃO

Á agua é o mineral essencial para a existência de vida, é um dos recursos naturais mais importantes, qualquer ser vivo, seja ele Homem, animal, bactéria, fungo ou protozoário necessita da agua. No meio científico é tido como solvente universal, denominação importante para justificar a inexistência, em meio natural, de agua pura. Sempre está associada as partículas e elementos constituintes do meio onde se encontra, como: rochas, solos, minerais e materiais não inertes. Sua preservação é questão primordial para manutenção da vida.

Os recursos hídricos são utilizados para múltiplas finalidades, como abastecimento de água para consumo humano e animal, geração de energia, irrigação, recreação, navegação e diluição de poluentes. A Lei Federal 9.433/97, que instituiu a política nacional de recursos hídricos, dentro de seus objetivos, possibilita a união e órgãos credenciados fiscalizar a utilização desse valioso recurso natural e, por meio dos instrumentos previstos na lei, controlar os diversos usos. As políticas Nacional (Lei nº 9.433/1997) e Estadual (Lei nº 6381/2001) de Recursos Hídricos estabelecem a bacia hidrográfica como unidade de planejamento, onde devem ser implementados instrumentos de gestão

O grande desenvolvimento das geotecnologias nas últimas décadas trouxe consigo os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), um conjunto de dados, recursos humanos, metodologias, *hardwares* e *softwares* que têm sido cada vez mais utilizados na gestão de recursos hídricos. Nesse sentido, os SIGs têm se mostrado fundamentais, pois permitem o armazenamento e o processamento de grande volume de dados geoespaciais, bem como a análise e a representação desses dados, além da produção de novas informações, possibilitando a realização de diversas operações e análises hidrológicas importantes de forma automatizada.

MATERIAL E MÉTODOS

BASE DE DADOS:

Para realização do processamento, foi utilizada base hidrográfica em escala 1:250.000, elaborada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015), e disponibilizada no site do instituto.

Os procedimentos para a delimitação da bacia hidrográfica e a obtenção de suas características morfométricas tiveram como insumo o Modelo digital de elevação (MDE) derivado da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resolução espacial de 30 m, disponibilizado de forma gratuita pela *United States Geological Survey* (USGS).

ARC GIS E EXTENSÃO ARCHYDRO:

No estudo, foi utilizado o software *ArcGis* na sua versão 10.1 desenvolvido pela *Environmental Systems Research Institute* (ESRI). A extensão *ArcHydro* na versão 2.0 foi desenvolvida pelo Centro de Pesquisas em Recursos Hídricos (*Center for Research in Water Resources - CRWR*) da *The University of Texas at Austin*, nos Estados Unidos. Conforme ESRI (2015), o *ArcHydro* é um conjunto de funcionalidades que opera como uma barra de ferramentas (*toolbox*) dentro do *ArcGIS*, para complementar a análise temporal e geoespacial de dados, sendo voltado para suportar aplicações e gestão de recursos hídricos e modelagem hidrológica.

METODOLOGIA DE GEOPROCESSAMENTO:

A metodologia para a delimitação das bacias hidrográficas selecionadas seguiu os procedimentos descritos em (SEMAS, 2016).

CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA DA BACIA:

A discussão das características físicas e funcionais das bacias hidrográficas tem a finalidade de proporcionar o conhecimento dos diversos fatores que determinam a natureza da descarga de um rio (Porto et al., 1999).

Para entender o comportamento hidrológico da bacia, além da caracterização física, se faz necessário o monitoramento de parâmetros hidrológicos, como: precipitação, vazão, infiltração, nível do aquífero livre a fim que se obtenha dados suficientes para o balanço hídrico.

OBJETIVOS:

O objetivo principal da caracterização física da bacia é servir de base para o balanço hídrico da bacia do Igapó Pau grande. Que por meio das características morfológicas da bacia e com o auxílio de outros estudos é possível estimar o comportamento hidrológico da região estudada.

O objetivo específico é fazer uma análise da dinâmica espacial da bacia, por meio de ferramentas de geoprocessamento de imagens, buscar elucidar a tomada de decisão no que diz respeito dos problemas ambientais ligados aos recursos hídricos, gerados por um aterro sanitário localizado na região.

ASPECTOS NATURAIS DA REGIÃO:

SOLO:

Os solos do município têm as mesmas características dos solos da região Bragantina: latossolo amarelodistrófico textura média, concrecionários lateríticos indiscriminados textura indiscriminada, Gleieutrófico e distrófico, solos aluviais eutróficos, texturas indiscriminadas (Prefeitura de Belém, 2012).

VEGETAÇÃO:

A vegetação dos mangues acompanha as porções fluviais e semi-litorâneas do setor estuarino, enquanto a Floresta Ombrófila domina os tratos marginais dos cursos d'água e as baixadas, onde prevalecem formações herbáceas, subarbustiva e arbustiva. A cobertura vegetal do Município compõe-se de floresta secundária ou capoeiras que substituíram a antiga floresta densa dos baixos platôs, da qual testemunhos ainda são encontrados em Mosqueiro, Caratateua e áreas adjacentes (Prefeitura de Belém, 2012).

GEOLOGIA E RELEVO:

O território do Município de Belém é constituído por restos da formação Barreiras e terrenos do Quaternário Subatual e do Recente. Refletindo a litologia, suas formas de relevo caracterizam-se pelos baixos platôs e planícies litorâneas, fazendo parte neste contexto, junto com áreas limítrofes, na unidade morfoestrutural Planalto Rebaixado do Amazonas (Baixo Amazonas) (Prefeitura de Belém, 2012).

CLIMA:

Belém tem um clima tropical. A classificação do clima é Af segundo a Köppen e Geiger. 26,8 °C é a temperatura média. Pluviosidade média anual de 2537 mm (Prefeitura de Belém, 2012).

PLUVIOSIDADE:

Existe uma pluviosidade significativa ao longo do ano em Belém. Mesmo o mês mais seco apresenta uma alta pluviosidade (Prefeitura de Belém, 2012). Condição evidenciada no de Belém de 1961 a 2016.

DADOS DO EMPREENDIMENTO:

HISTÓRICO:

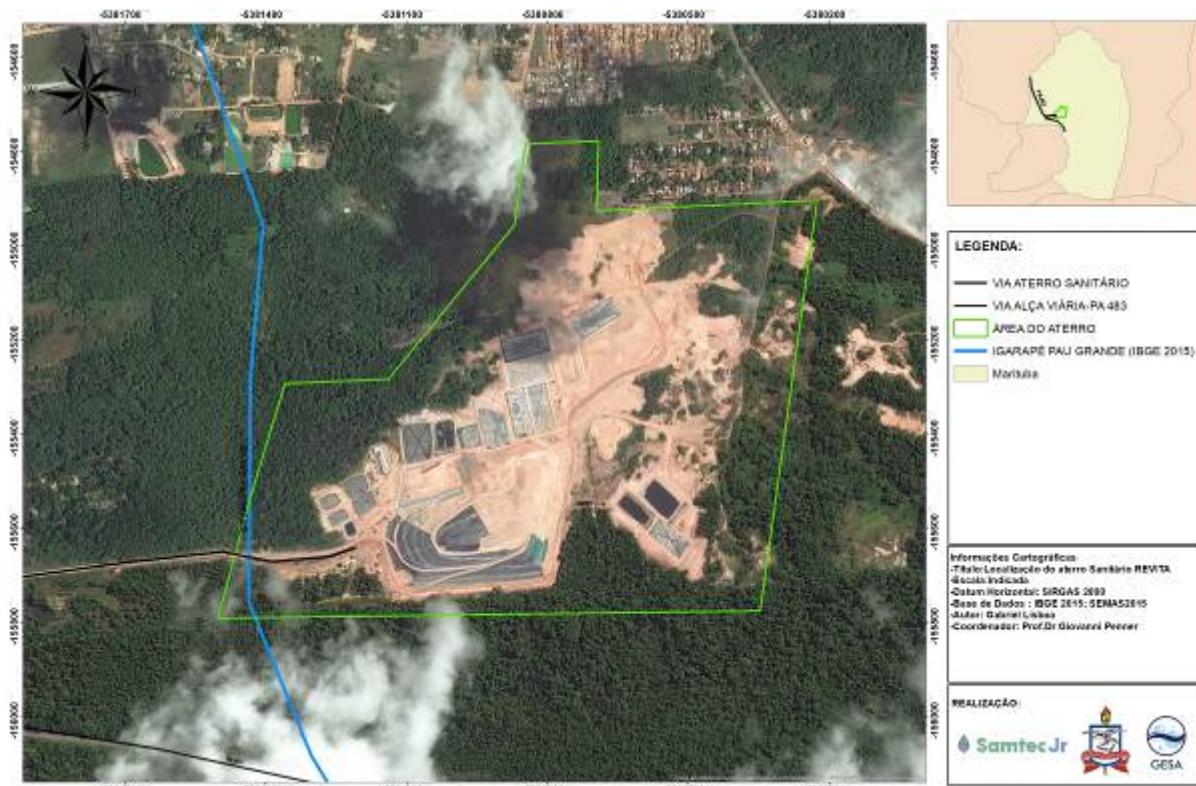
A área para implantação do empreendimento foi utilizada por 40 anos, período de 1967 a meados de 2007, para a criação de gado, plantação de acerola e açudes de criação de peixes, com o nome de Fazenda Santa Lúcia. Após o fechamento da fazenda seguiu-se o desenvolvimento das atividades de extração de areia, saibro e argila. Como consequência dessa atividade, o terreno já se encontrava bastante alterado, com ausência de cobertura vegetal e escavações em grande parte do terreno.

LOCALIZAÇÃO:

A área destinada à implantação da Central de Processamento e Tratamento de Resíduos Classe II está localizada na parte sul da área urbana do município de Marituba, Região Metropolitana de Belém, conforme apresentado na Figura 1. Tendo as seguintes coordenadas geográficas: 1° 23' 49,04" Sul x 48° 20' 12,84" Oeste.

O acesso à área do empreendimento, a partir de Belém, é feito pela Rodovia BR 316, seguindo pela Alça Viária por uma distância aproximada de 4,0 km e daí, por acesso em estrada de terra por aproximadamente 600 metros até o limite da propriedade destinada à implantação do empreendimento.

Figura 1- Mapa de localização do aterro sanitário



Fonte: O autor,2019

DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO:

A Central de Processamento e Tratamento de Resíduos de Marituba recebe resíduos sólidos domiciliares, resíduos de poda e capina, resíduos de varrição e limpeza de feiras livres gerados pelos municípios da Região Metropolitana de Belém (Belém, Ananindeua, Benevides e Marituba), classificados como Classe II (Não Perigosos) pela Norma NBR 10004:2004, da ABNT.

Após o início da operação do aterro sanitário, houve a ocorrência de sucessíveis problemas de gerenciamento e operação como: geração excessiva de lixiviado, liberação de gás metano e problemas de drenagem da área do empreendimento. Além disso, a produção excessiva de lixiviado, a partir das imagens de satélite da evolução temporal do empreendimento, inicialmente operando com 4 bacias de detenção de lixiviado, atualmente, devido aos altos índices pluviométricos da região, o aterro está operando com 17 bacias(figura1)

Figura 2- Mapa de dinâmica vegetal em 2015.



Fonte: O autor, 2019

Figura 3-Mapa de dinâmica vegetal em julho2016



Fonte: O autor,2019

Figura4-Mapa de dinâmica vegetal em agosto de 2017



Fonte: O autor, 2019

CARACTERIZAÇÃO DA BACIA:

Escolha do Exutório:

O Exutório de monitoramento escolhido fica localizado em uma travessia presente na estrada de acesso a alça viária com as coordenadas geográficas, selecionadas pelo Google Earth: 1°24'7,63"S latitude e 48°20'33,01"O Longitude, Datum: SIRGAS 200.

REGIÃO E SUBREGIÃO HIDROGRÁFICA:

De acordo com a Resolução do Conselho Estadual de Recursos Hídricos nº004/2008 foi instituída a delimitação e codificação das Bacias hidrográficas do Estado do Pará e foram definidas as 7 Macro-Regiões Hidrográficas: Região da Calha Norte, Região do Tapajós, Região do Xingu, Região do Tocantins-Araguaia, Região e Portel Marajó e Região da Costa Atlântica-Nordeste (SEMAS, 2010).

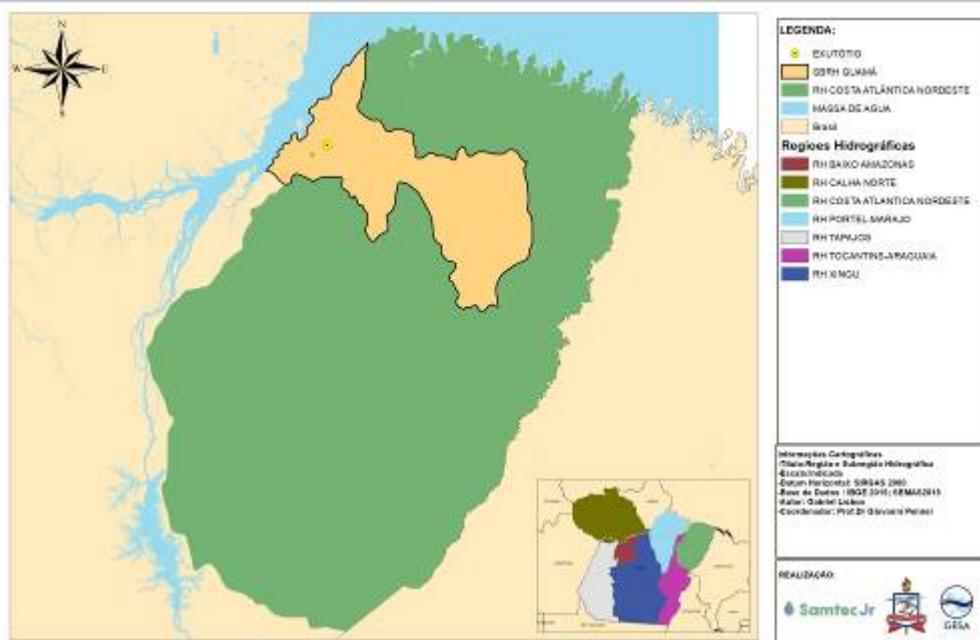
A bacia do igarapé Pau grande (IBGE, 2015) está localizada na Região Hidrográfica da Costa Atlântica Nordeste (Figura 5) e na Sub-região Hidrográfica do Rio Guamá.

ÁREA DA BACIA:

É a área plana definida pela projeção horizontal do divisor de águas, pois seu valor multiplicado pela lâmina de chuva precipitada define o volume de água recebido pela bacia. (Porto et al., 1999)

A área de contribuição da bacia foi elaborada através das ferramentas do *ArcHydro* o qual oferece um conjunto de algoritmos responsáveis por uma análise hidrológica mais detalhada. Ao final do processamento descrito na metodologia a área da bacia, definida através do cálculo da geometria do *shapefile*, foi obtido o valor aproximado de **5,0233 km²**.

Figura 5-Mapa da Região hidrográfica da bacia

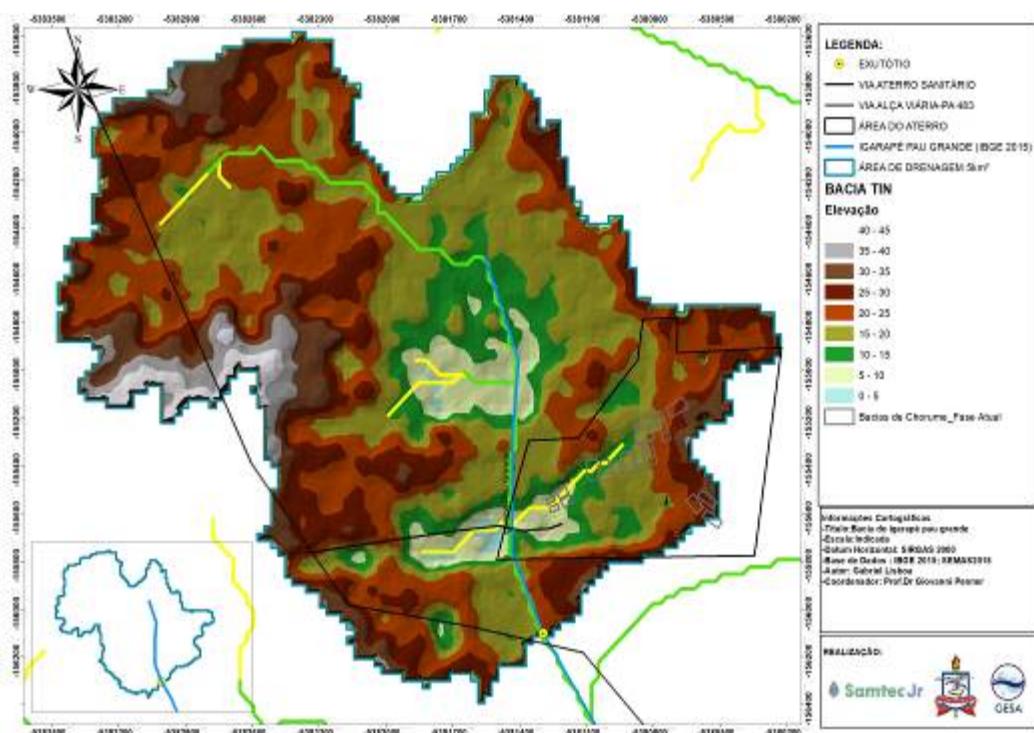


Fonte: O autor, 2019

MODELOS DIGITAIS DE REPRESENTAÇÃO DA BACIA:

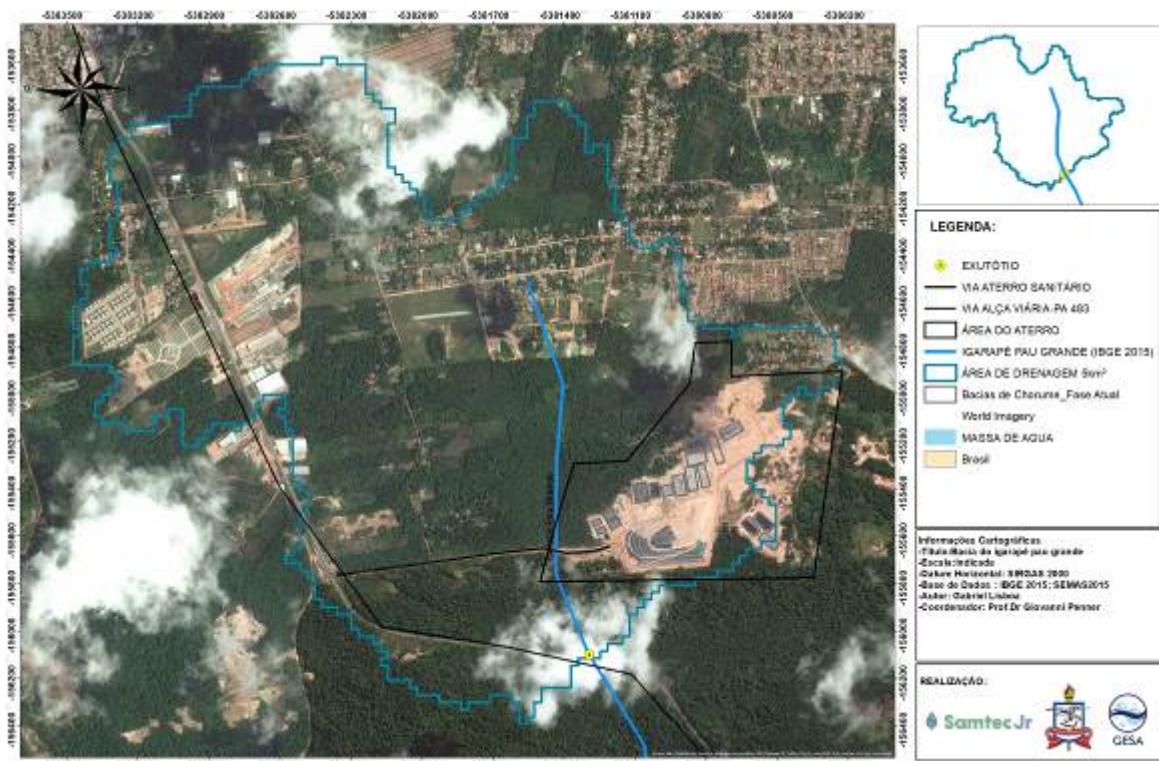
Modelo digital de elevação ou MDE da bacia foi obtido através dos dados da missão SRTM através da folha "s02_W049" e o uso da ferramenta "create tin" a qual cria as feições através da modelagem do terreno por malha triangular

Figura 6- MDE da bacia do Igarapé paugrande



Fonte: O autor, 2019

Figura 7-Bacia representada com imagem de satélite

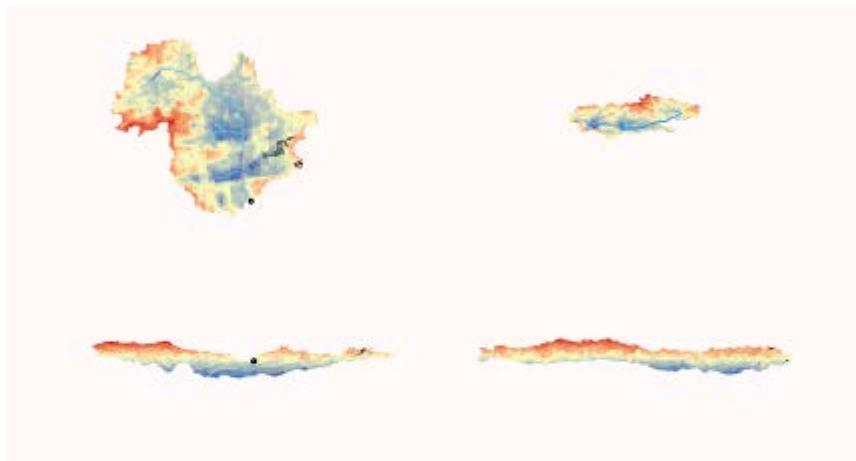


Fonte: O autor, 2019

MODELO 3D:

O modelo de visualização 3D da bacia do igarapé Pau grande foi gerado com a extensão ArcScene 10.1. A partir da utilização da imagem SRTM em formato TIF, posteriormente recortada pelo shape da área da bacia através da ferramenta “*Extract by mask*”, dando origem a uma imagem contendo os dados dos pixels produzindo os mapas de elevação do terreno em representação 3D.

Figura 8-Representação 3D da bacia



Fonte: O autor, 2019

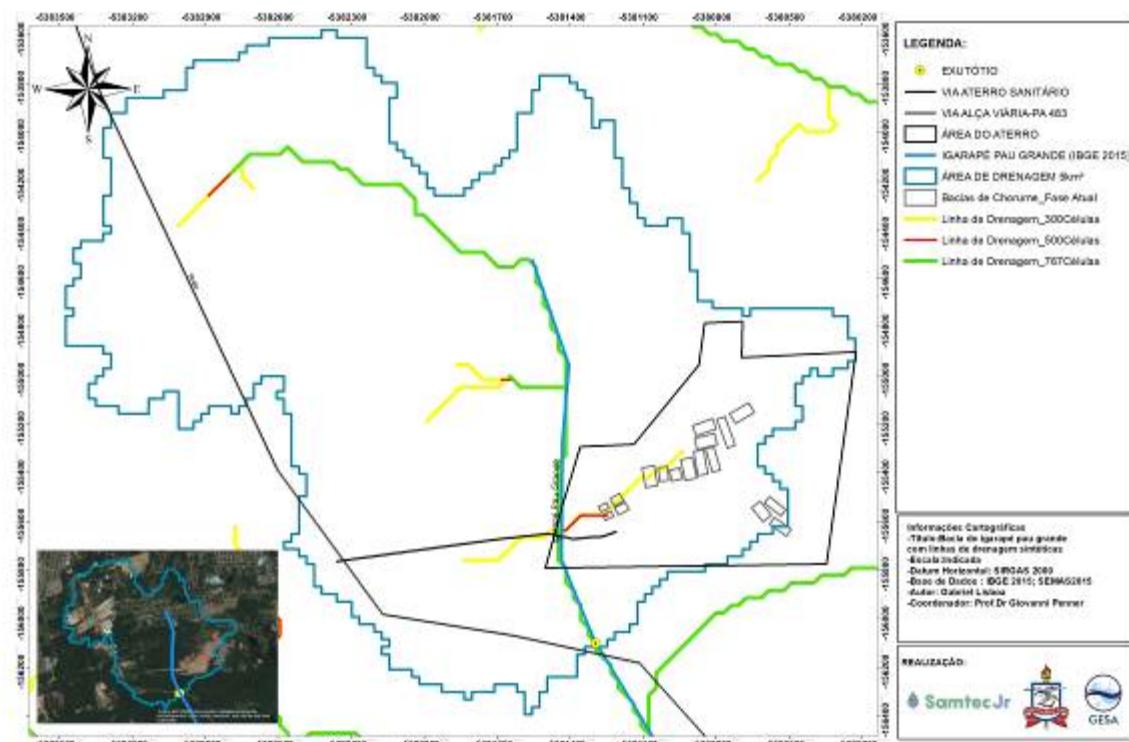
LINHAS DE DRENAGEM:

Em uma das etapas de processamento automático de bacias hidrográficas do Archydro, a função “*Stream Definition*” define, a partir do número céulas, o nível de detalhamento da rede de drenagem. Nessa etapa, quanto menor for o número de contagem de células, maior será o detalhamento da imagem raster, possibilitando observar possíveis drenagens naturais do terreno. Para essa análise foi realizado testes entre 3 numerações de contagem de células. O valor automático gerado pelo programa foi 767 células que foi usado como referência, posteriormente alterado para 500 e 300 células, presente da tabela 1 com a numeração e sua respectiva cor representada no mapa. O resultado do processamento está apresentado na figura 9

Tabela 1-Classificação do número de células

| | | |
|----------------------|-------------|-----------------|
| Linha de drenagem 01 | 500 células | VERMELHO |
| Linha de drenagem 02 | 767 células | VERDE |
| Linha de drenagem 03 | 300 células | AMARELO |

Figura 9-Linhas de drenagens sintéticas

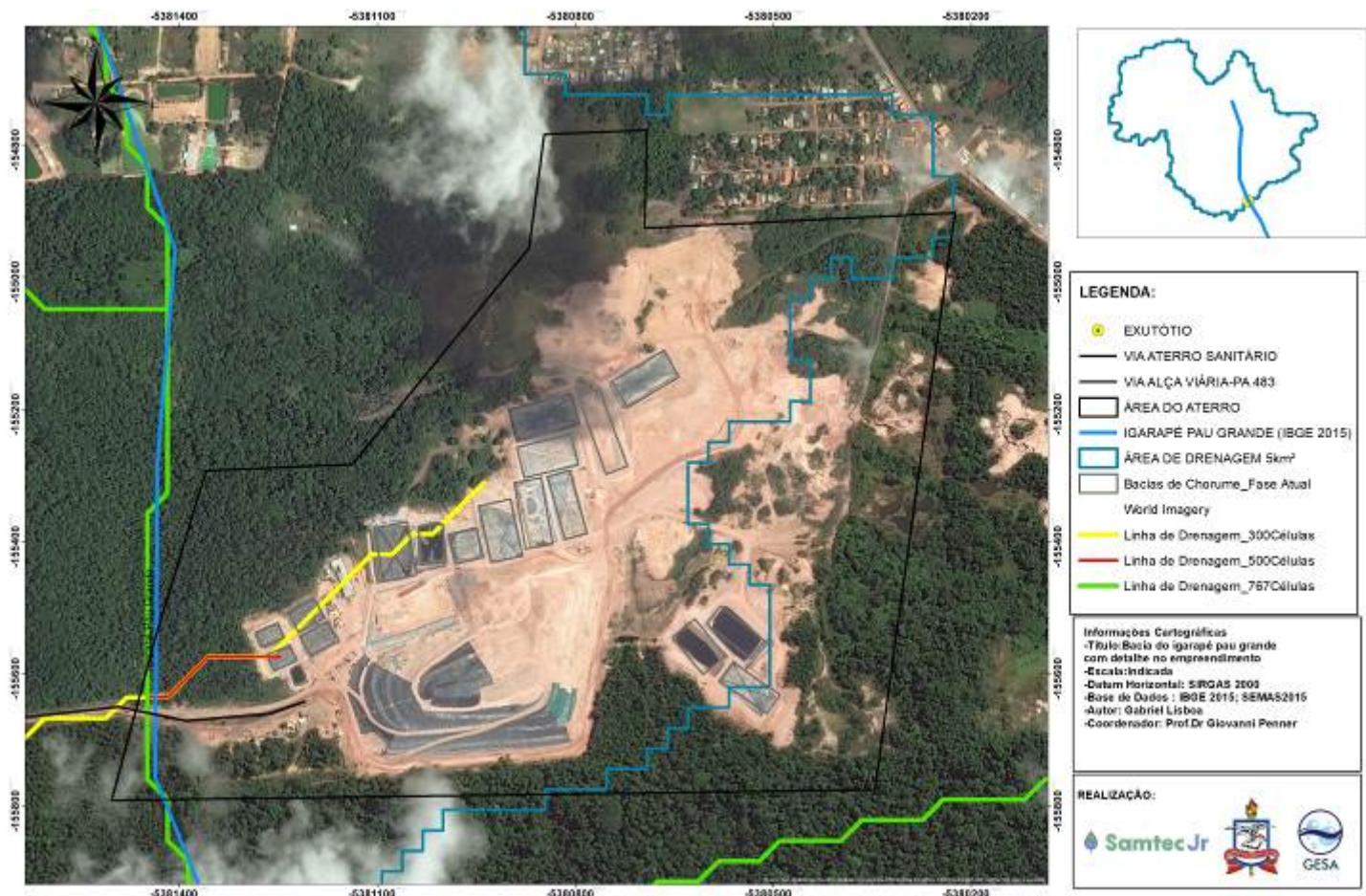


Fonte: O autor,2019

A alteração no número céulas, consequentemente, deu origem a outros resultados de processamento. Porém foi observado que nada alterou na delimitação da área da bacia “Adjoin Catchment” apresentou-se o mesmo para as linhas de drenagem geradas para diferentes números de céulas, logo não houve variação do traçado da bacia. O resultado que interessou nessa análise foi as linhas de drenagem geradas pelo programa

As análises das imagens geradas evidenciam áreas naturais de inundação que possivelmente não devem mais existir devido a movimentação de terra (terraplanagem) realizado pelo empreendimento. Considerando as bacias de chorume como os pontos críticos do empreendimento, é uma área de alto risco devido a declividade desfavorável para a implantação de bacias de lixiviado.

Figura10 – Mapa de linhas de drenagens sintéticas



Fonte: O autor, 2019

ÍNDICES FÍSICOS:

De modo geral, as bacias hidrográficas apresentam grande diversidade quanto a seus aspectos fisiográficos, os quais, entre outros fatores, interferem diretamente no comportamento hidrológico de uma bacia. Os índices físicos analisados são:

Tabela 2-Índices Físicos

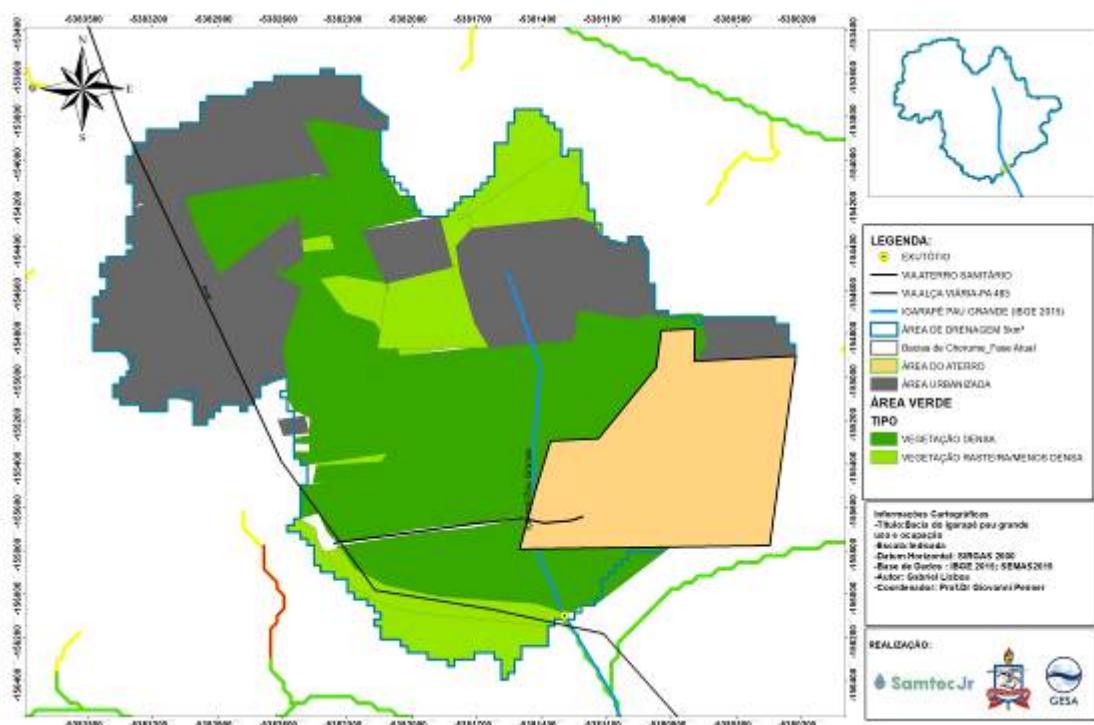
| VARIÁVEL | DESCRIÇÃO | FÓRMULA | RESULTADOS |
|------------------------------|---|--|---|
| Perímetro | Valor do comprimento linear total da Bacia | | |
| Área total | É a área plana definida pela projeção horizontal do divisor de águas (Rubem Porto e Kamel Filho. 1999) | | |
| Fator de Forma | O fator de forma é expresso como sendo a razão entre a largura média distância e o comprimento axial da mesma (Rubem Porto e Kamel Filho. 1999) | $F = \frac{B}{L}$ <p>onde, F = Fator de forma B=Largura média.</p> | $K_c = \frac{0,28 \times P}{\sqrt{A}}$ |
| Índice de Compacidade | Relaciona a forma da bacia com um círculo, sendo um número adimensional que varia de acordo com a forma da bacia. | | <p>onde, K_c = Coeficiente de compacidade P = Perímetro (km^2) A = Área de drenagem (km^2).</p> |
| Índice de Conformação | Compara a área da bacia com a área do quadrado de lado igual ao comprimento axial. (Rubem Porto e Kamel Filho. 1999) | | $Fc = A/L^2$ <p>onde, A = Área de drenagem (km^2) L = comprimento axial (km)</p> |

Fonte: O autor, 2018

USO E OCUPAÇÃO:

A partir de imagens de satélite, foi possível classificar em função de três categorias de uso: Vegetação Rasteira; Vegetação Densa; Área Urbanizada e Área do Empreendimento. O mapa 4 foi gerado. Porém, contém alguns buracos devido, por isso foi calculado o erro relativo entre o somatório das áreas (Km^2) e a área total da bacia.

Figura 11- Classificação de uso e ocupação



Fonte: O autor, 2019

Tabela 3-Erro na classificação

| | |
|--------------------|--------|
| Erro Relativo | 0,3953 |
| Erro Percentual(%) | 0,0039 |

Fonte: O autor, 2018

COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL:

O coeficiente de escoamento de uma bacia de superfícies variáveis pode ser estimado pela ponderação do coeficiente de diferentes superfícies (Tucci, 2000). Os valores de referência para o cálculo do coeficiente médio de escoamento superficial da bacia estão presentes nos valores do coeficiente de escoamento superficial direto adotados pela prefeitura do município de São Paulo(P.S.Wilken,1978). O valor para o coeficiente médio da bacia foi extraído através da média ponderada entre as áreas e seus respectivos índices de escoamento adotados.

Tabela 4-Classificação de uso e ocupação

| Tipos | Área Total (Km ²) | Percentual (%)* | Coeficiente (C) |
|--------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|
| Vegetação densa | 1,1452 | 22,9042 | 0,1 |
| Vegetação Rasteira | 1,6046 | 32,0928 | 0,2 |
| Área Urbanizada | 1,3742 | 27,4850 | 0,5 |
| Área Aterro | 0,4805 | 9,6104 | 0,8 |

*Em relação a área total da bacia

Fonte: O Autor, 2018.

Coeficiente de escoamento superficial médio, obtido através da média ponderada em relação a cada área classificada anteriormente, a bacia do igarapé “Pau grande” tem o coeficiente de *run off* próximo de: 0,33. O

valor a ser considerado, por exemplo, no dimensionamento de galeria de drenagem de água superficial do exutório delimitado.

TEMPO DE CONCENTRAÇÃO:

É o tempo que a água leva para percorrer a distância do ponto mais afastado até a saída da bacia. Para o cálculo foi utilizada a fórmula empírica de Ventura indicada para regiões planas.

$$TC = 4,54 \cdot \sqrt{A} - \text{fórmula de ventura}$$

$$TC = 4,54 \cdot \sqrt{5}$$

$$TC = 10,17 \text{ min}$$

CACARTERÍSTICAS FÍSICAS DA BACIA:

De modo geral, as bacias hidrográficas apresentam grande diversidade quanto a seus aspectos fisiográficos, os quais, entre outros fatores, interferem diretamente no comportamento hidrológico de uma bacia. Os índices físicos analisados são:

Tabela 5-Índices Físicos

| VARIÁVEL | DESCRIPÇÃO | FÓRMULA | RESULTADOS |
|------------------------------|--|---|-------------------------|
| Comprimento do rio principal | Comprimento linear medido da nascente até o exutório | | 1,7 Km |
| Perímetro | Valor do comprimento linear total da Bacia | | 15,27 Km |
| Área total | É a área plana definida pela projeção horizontal do divisor de águas (Rubem Porto e Kamel Filho. 1999) | | 5 Km² |
| Fator de Forma | O fator de forma é expresso como sendo a razão entre a largura média distânci a e o comprimento axial da mesma (Rubem Porto e Kamel Filho. 1999) | $F = \frac{B}{L}$ onde, F = Fator de forma B=Largura média. | 0,81 |
| Índice de Compacidade | Relaciona a forma da bacia com um círculo, sendo um número adimensional que varia de acordo com a forma da bacia. | $Kc = \frac{0,28 \times P}{\sqrt{A}}$ onde, Kc = Coeficiente de compacidade P = Perímetro (km ²) A = Área de drenagem (km ²). | 1,91 |
| Índice de Conformação | Compara a área da bacia com a área do quadrado de lado igual ao comprimento axial. (Rubem Porto e Kamel Filho. 1999) | $Fc = A/L^2$ onde, A = Área de drenagem (km ²) L = comprimento axial (km) | 0,86 |

Fonte: O autor, 2018

CONCLUSÕES

As ferramentas de geoprocessamento em ambiente SIG facilitam o processo de caracterização física e outras variáveis, pois permitem mais celeridade na obtenção dos resultados. Os índices físicos como coeficiente de compacidade, conformação e fator de forma são indicativos que a bacia tende a ter picos significativos de cheia. Um agravante para o corpo hídrico principal que compõe a bacia é a localização de um empreendimento de um alto potencial poluidor. Pelo processamento de imagens foi possível observar que o terreno tem áreas naturais de inundação e se não for tomado a devida segurança nas instalações de drenagem, consequentemente haverá grandes volumes de produção de chorume. O aterro apresenta com um potencial poluidor considerável. Podendo levar a contaminação de águas subterrâneas e superficiais.

O monitoramento do nível do lençol também é importante, pois em terrenos susceptíveis a inundação a carga hidráulica tende a ser maior e em época de chuvas intensas potencializando o grau de risco do empreendimento. Porém, é necessário a complementação do estudo, como balanço hídrico, estudo do solo, monitoramento do nível de poços a jusante e montante do empreendimento, teste de infiltração no maciço, humidade relativa, temperatura são alguns temas que podem ser abordados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004- **Resíduos Sólidos Classificação**. Rio de Janeiro. 30 de novembro de 2004
2. ESRI. Environmental Systems Research Institute. ArcGIS – Tutorials. Disponível em: <<http://www.esri.com/software/arcgis/index.html>>. Acesso em mar. 2015.
3. IBGE, 2015. Base Cartográfica Vetorial Contínua – **Hidrografia**, escala 1:250.000. Disponível em: <downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias>. Acesso em: mar 2017
4. PORTO, R. L. L., FILHO, K. Z., SILVA, R. M. **Bacias hidrográficas**. Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. PHD 307 – Hidrologia aplicada. São Paulo, 1999.
5. Prefeitura de Belém . (2012). **Anuário estatístico do município de Belém** . Belém , Brasil .
6. SEMAS,2010. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade. Cartilha Educativa “**Gestão das Águas: por um futuro sem sede**”.
7. SEMAS,2016. Secretaria do Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade . *Diretoria de planejamento e gestão de Recurso Hídricos-DIREH*. (2016). **Roteiro de apoio técnico em geoprocessamento-Delimitação de bacias hidrográficas com Archydro tools**. Belém, PA.
8. Tucci, C. E. (2000). **Coeficiente de Escoamento e Vazão Máxima em Bacias Urbanas**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, RBRH.
9. Lei Federal Nº 9.433. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos**. (8 de Janeiro de 1997). Brasília. Distrito Federal. Brasil
10. Lei Estadual Nº 6.381. **Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos**. (25 de Julho de 2001). Belém. Pará. Brasil