

## Discussão metodológica para delimitação de áreas sujeitas a processos hidrodinâmicos

Camila Galindo Dantas<sup>1</sup>  
Raquel Alfieri Galera<sup>1</sup>  
Katia Canil<sup>1</sup>

1 Universidade Federal do ABC – UFABC  
Av. dos Estados, 5001 – Bairro Santa Terezinha – Santo André – SP, Brasil  
{camila.dantas; raquel.galera; katia.canil}@ufabc.edu.br

**Abstract.** The objective of this study was to evaluate and compare the results of two methodological proposals used to map plains and terraces; The terrain descriptor algorithm *HAND* (Height Above the Nearest Drainage) and the mapping of relief patterns method, considering the analysis focused on areas subject to hydrodynamic processes (BITAR, 2014). The study area where the proposals were applied was the Ribeirão Pires basin in the municipality of Ribeirão Pires, located in the Metropolitan Region of São Paulo; in the context of the elaboration of its Geotechnical Charter for Aptitude for Urbanization, result of an agreement between the Federal University of ABC and the Intermunicipal Consortium of Grande ABC. The primary data for the elaboration of the products in the two methodologies was the Digital Elevation Model (MDE) available by Emplasa (2010). The results obtained with the different processes performed, presented distinct but complementary conformations of the plain, since the results obtained with the *HAND* algorithm highlight areas related to water accumulation processes, and the relief pattern mapping methodology privileges the aspects of geomorphological compartmentalization and the resulting units. The comparison of the products and their field validation made possible the discussion about the relief unit of the plain and the hydrodynamic processes acting in its formation, besides making possible the definition of guidelines and recommendations contained in the scope of the geotechnical mapping for areas susceptible to the processes mentioned.

**Keywords:** Digital Elevation Model (MDE), plains, *HAND*, relief units, geomorphological compartmentalization

### 1. Introdução

A partir da criação do Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/2001) e da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC (Lei nº 12.608/2012) foi colocada à disposição dos municípios uma série de instrumentos, definindo novos parâmetros e diretrizes para o ordenamento territorial, visando primordialmente à identificação de áreas de risco. A identificação e mapeamento das áreas de risco é possível por meio da elaboração das cartas geotécnicas, que retratam principalmente as características do meio físico, indicando processos relacionados a determinados padrões geológicos. Dentre as cartas geotécnicas, as de aptidão à urbanização se destacam ao orientar e definir diretrizes específicas para a ocupação de áreas de expansão urbana, áreas não urbanizadas ou em processo de consolidação, em escala de detalhe que variam entre 1:5.000 e 1:10.000 (SOBREIRA & SOUZA, 2012).

Dentro deste contexto, coube ao Ministério das Cidades, por meio da Secretaria Nacional de Acessibilidade e Programas Urbanos, a definição de instrumentos no campo da prevenção, bem como a elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais. A definição dos conceitos e os procedimentos metodológicos para a elaboração das cartas geotécnicas de aptidão à urbanização para o município de Ribeirão Pires é o resultado de um projeto em cooperação entre a Universidade Federal do ABC com participação de professores e pesquisadores de outras Universidades e centros de pesquisa, no apoio do conhecimento científico e tecnológico nacional para o desenvolvimento do termo de referência com orientações bem definidas para a elaboração desse instrumento (COUTINHO, 2013).

A pesquisa se pautou em duas linhas de pesquisa distintas para investigação dos processos geo e hidrodinâmicos como erosão, deslizamentos, transporte e sedimentação fluvial e inundações. A primeira se concentrou na correlação das formas de relevo e a

dinâmica dos processos no espaço, a metodologia aplicada se pautou na caracterização dos aspectos morfométricos básicos associado à geologia, definindo as Unidades Geológicas-Geomorfológicas. Os procedimentos metodológicos para sua elaboração consideraram os fatores descritos por Bitar (2014), para elaboração de Cartas de Suscetibilidade a Movimento Gravitacional de Massa e Inundação, conforme recomendação do Ministério das Cidades. Como um dos produtos intermediários, as unidades geomorfológicas, foram definidas a partir de compartimentos dos principais elementos e formas de relevo, como as planícies.

A análise dos processos hidrodinâmicos, dentro do arcabouço do projeto das Cartas Geotécnicas, fundamentou-se na identificação e análise das áreas de risco a inundação a partir da delimitação das planícies fluviais. As planícies de inundação são descritas pelos autores Peres Filho et al (2006) como a faixa do vale fluvial composta por sedimentos aluviais, margeando o curso d'água e periodicamente inundada pelas águas de transbordamento provenientes do rio. Nesse contexto, a conformação da planície está sujeita a processos de transporte e sedimentação fluvial, onde o relevo é caracterizado por terras baixas, com baixas declividades e amplitudes. O mapeamento de planícies oferece uma grande contribuição aos estudos da paisagem, uma vez que é o local mais propício ao acúmulo de água e a porção do terreno mais vulnerável à inundação.

O algoritmo *HAND* consiste na modelagem das características do terreno em relação à hidrografia, privilegiando a distinção das áreas suscetíveis ao acúmulo de água próximas aos canais fluviais. Diferencia-se de uma metodologia tradicional de mapeamento de compartimentação de relevo, que considera amplitudes e declividades de forma geral, pois aplica-se especificamente às condicionantes hidrológicas.

Sendo assim, foram adotadas duas abordagens distintas de mapeamento para compreensão das dinâmicas hidrológica-geomorfológica para determinação de áreas suscetíveis à inundação. Com objeto central deste artigo vamos avaliar e comparar os resultados das diferentes técnicas utilizadas para caracterização das formas de planícies e as possíveis fragilidades atribuídas ao compartimento.

## 2. Metodologia de trabalho

A metodologia do trabalho considerou duas diferentes técnicas de processamento a partir de um modelo digital de elevação, visando o mapeamento de planícies (Figura 1). As etapas do trabalho consistiram na realização do mapeamento da compartimentação geomorfológica simplificada, desenvolvida pelo IPT (BITAR, 2014), e aplicação do modelo *HAND*, seguidas de comparação dos resultados.

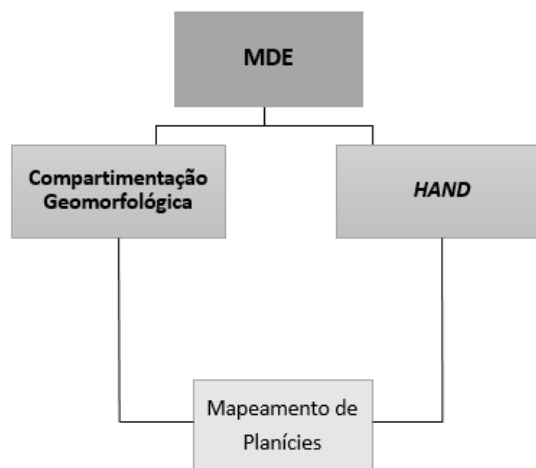


Figura 1. Metodologias de mapeamento de planície a partir do dado MDE

## 2.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo adotada foi a Bacia do Ribeirão Pires (Figura 2) com área de 63,5 km<sup>2</sup>, afluente da Represa Billings, localizada inteiramente no município de Ribeirão Pires, abrangendo aproximadamente 63,7% da área de 99,7 km<sup>2</sup> do município, situado na Região Metropolitana de São Paulo. O município conta com um padrão de ocupação difuso, com aglomerações esparsas e expressivas áreas verdes, contando com a presença da represa Billings.

A Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização do município foi elaborada no âmbito de um convênio entre a Universidade Federal do ABC e o Consórcio Intermunicipal do Grande ABC, subsidiando os resultados apresentados.

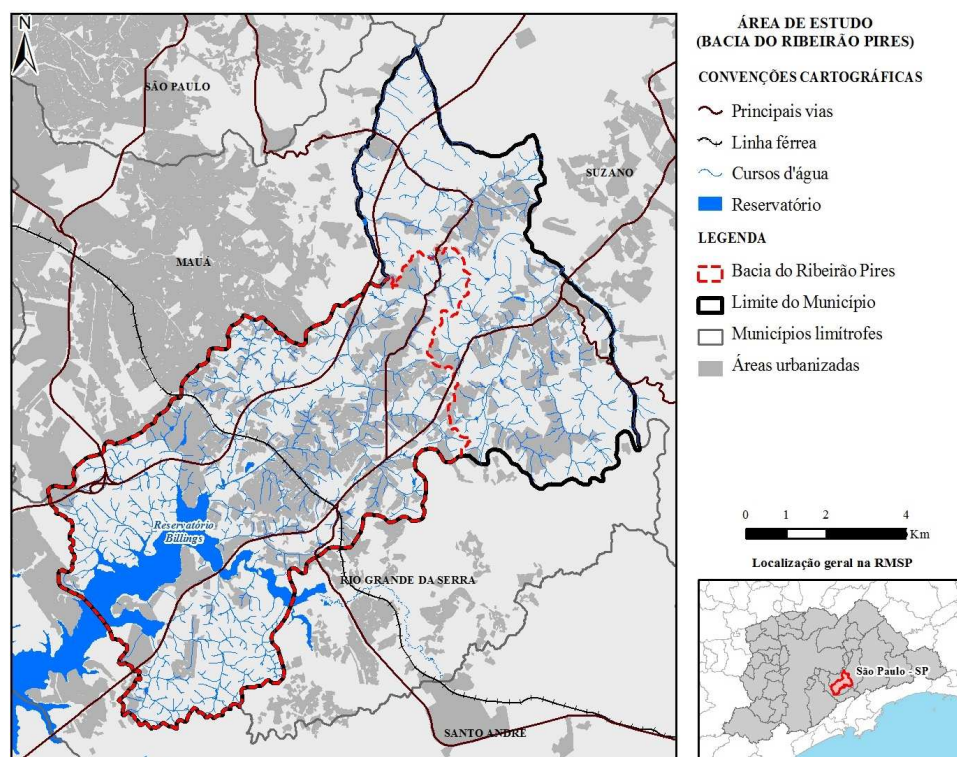


Figura 2. Definição da área de estudo

## 2.2 Compartimentação geomorfológica simplificada

O procedimento metodológico de compartimentação geomorfológica simplificado, descrito por Silva et al (2015), está orientado conforme diretrizes estabelecidas pelo Ministério das Cidades para a edificação de Cartas de Aptidão à Urbanização dirigida (COUTINHO, 2013). O processo identifica porções homogêneas do terreno, caracterizando-as em unidades geomorfológicas. Os compartimentos, ou zonas, representam formas do relevo que expressam os principais fatores condicionantes e feições características, como: planícies, terraços, colinas, morrotes e morros (BITAR, 2014; SILVA et al, 2015).

O método, que delimita as '*unidades geomorfológicas*' e que avalia os fatores morfométricos básicos, como amplitude e declividade predominante, tem como *input* inicial a delimitação das principais formas de relevo representadas no formato de dado matricial, em acordo com os critérios e padrões utilizados por Bitar (2014), Tabela 1. Como unidade de referência foi adotada pelo projeto a bacia hidrográfica para associação de valores em classes. Para o seu cruzamento foi utilizada a *álgebra de mapas* e posterior processo de generalização de rasters, caracterizando áreas mínimas como valores superiores a 5.000m. Para apresentação

dos resultados a adotou-se a Bacia do Ribeirão Pires, afluente do Reservatório Billings, Figura 2.

Tabela 1. Padrões de relevo e parâmetros básicos (BITAR, 2014)

Padrão de relevo	Amplitude predominante (m)	Declividade predominante	
		(%)	(Graus)
Planícies	< 20	0 a 3	0 a 1.7
Terraços	< 20	3 a 6	1.7 a 3.4
Colina	20 a 70	< 20	< 11.3
Morrotos baixos	20 a 60	> 20	> 11.3
Morrotos altos	60 a 90	20 a 30	11.3 a 16.7
Morros baixos	60 a 90	> 30	> 16.7
Morros altos	> 90	> 30	> 16.7

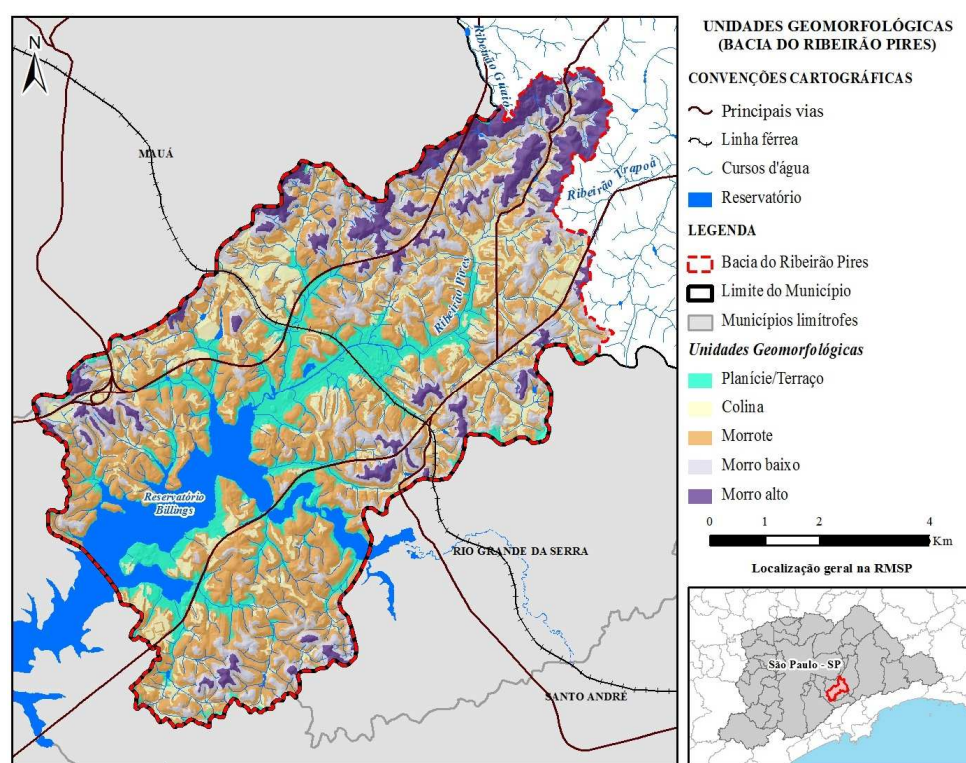


Figura 3. Unidades Geomorfológicas, Bacia Ribeirão Pires - Ribeirão Pires/SP

Conforme descrito pelos autores Silva et al (2015), as classes resultantes permitem uma análise qualitativa de valores e intervalos quantitativos. Como principal base de informação para análise morfométrica foi utilizado um MDE com resolução espectral de 5 m para extração das classes de amplitude e declividade. Em um ambiente em sistema de informação geográfica foram gerados os mapas de sombreado do relevo, concentração de fluxos e curvatura de vertentes para compatibilização das unidades, utilizando ortofoto de apoio para interpretação visual e realização de trabalhos complementares de campo para sua geração e validação, Figura 4.

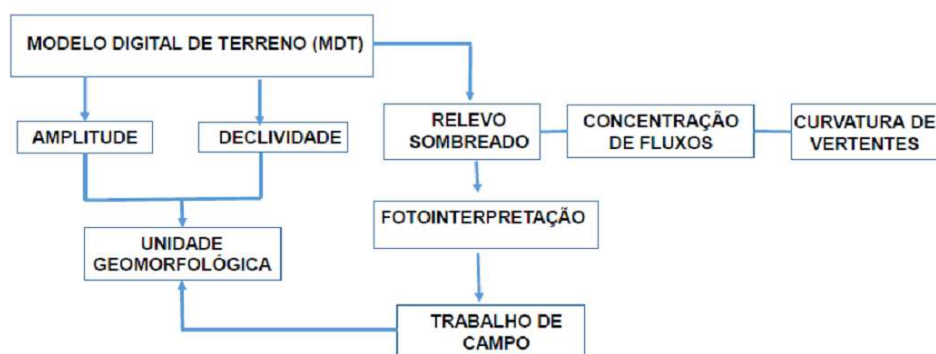


Figura 4. Procedimentos para a elaboração do mapa de unidades geomorfológicas  
 Fonte: Silva et al, 2015.

Devido às limitações representativas do MDE quanto a representação do terreno e para adequação da escala utilizada no projeto, a validação final da delimitação das unidades geomorfológicas foram realizadas em conjunto com os resultados obtidos pelo método HAND, descrito no item 2.3.

### 2.3 HAND

O modelo *HAND* é um algoritmo descritor de terreno desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais -INPE, onde, a partir da normalização de um modelo digital de elevação (MDE) em conjunto com um dado de hidrografia consistente e compatível com o modelo, são calculadas direções de fluxo e áreas de contribuição. O resultado final do processamento do algoritmo permite atribuir alturas de inundação considerando o curso d'água de referência com valor zero (RENNÓ et. al 2008; PINHEIRO, et. al 2009; MOMO 2014).

A Figura 5 explicita a forma como o algoritmo calcula as direções de fluxo a partir das alturas absolutas do Modelo Digital de Elevação (MDE) para definição do grid das áreas de acúmulo de água.

Para geração dos resultados com o algoritmo *HAND* foi utilizado um MDE com resolução espectral de 5 m (EMPLASA 2010) e uma hidrografia gerada automaticamente a partir do mesmo dado de referência e editada com base em interpretação de ortofotos (Emplasa 2010).

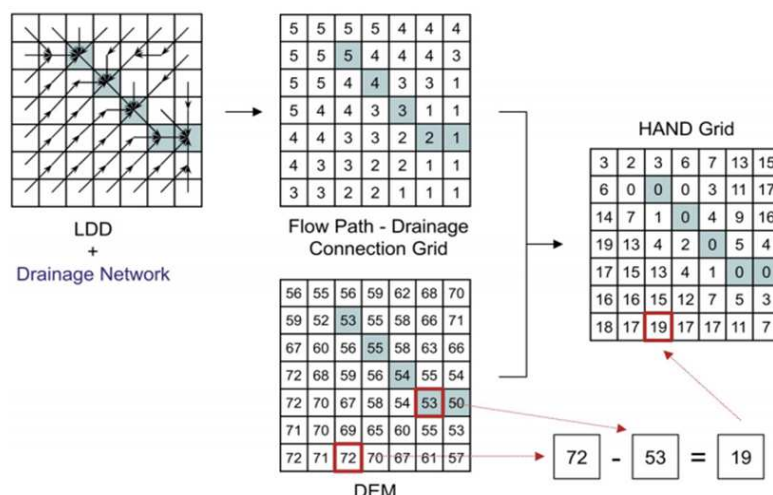


Figura 5. Síntese do algoritmo *HAND*

Fonte: Rennó et al, 2008.

Apesar do algoritmo *HAND* ter sido idealizado para mapeamento de áreas inundáveis, os resultados das manchas de inundação apontadas no intervalo de 1-3 m possibilitam evidenciar com eficiência a forma de relevo das planícies (Figura 6), uma vez que o descritor de terreno auxilia na extração de dados quantitativos para caracterização do relevo (PIRES et. al 2013).

Sendo assim, uma possível aplicação ao resultado do algoritmo é a definição de áreas de planície, que são as formas de relevo que apresentam as condições no terreno mais suscetíveis ao acúmulo de água, conforme descrito neste artigo.

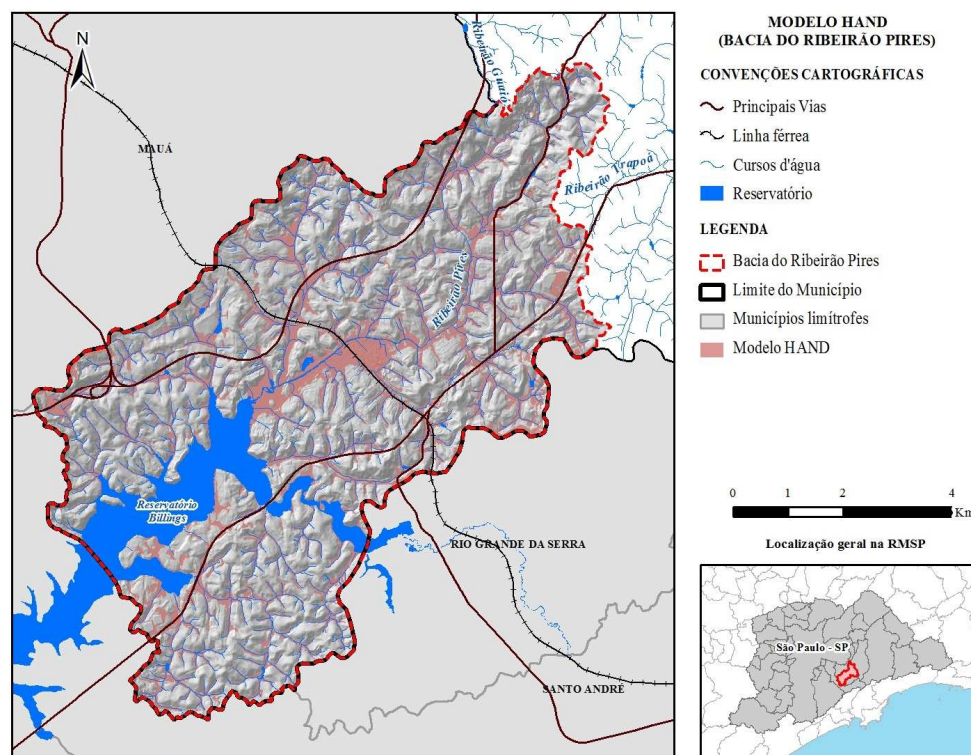


Figura 6. Modelo HAND, Bacia Ribeirão Pires - Ribeirão Pires/SP

### 3. Resultados e Discussão

Os resultados obtidos permitiram a comparação entre o mapeamento de planícies pelos métodos escolhidos. Foram selecionados 4 pontos de campo para melhor visualização das diferenç as entre os resultados, Figura 7.

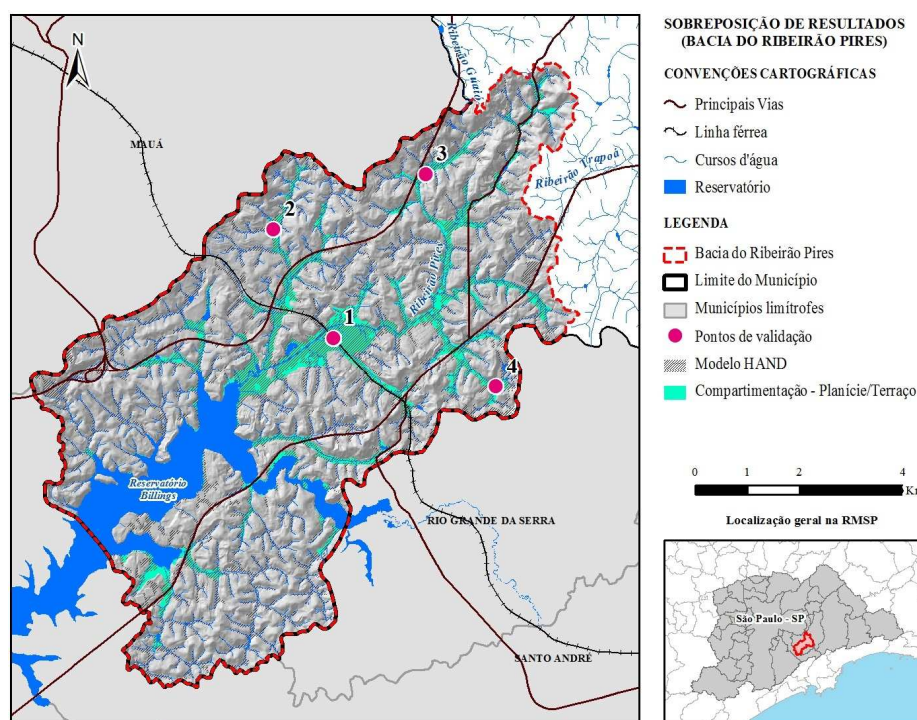


Figura 7 - Distribuição dos pontos de campo na área de estudo

As manchas de inundação reveladas pelo algoritmo HAND neste estudo, indicam áreas de baixas declividades e amplitudes, associadas com suscetibilidade aos processos de inundação, caracterizando o terreno e ressaltando possíveis áreas de planície.

A partir da sobreposição das manchas do HAND no intervalo 1-3m, com as planícies geradas pela metodologia dos parâmetros de classificação do relevo de IPT/Emplasa (1990), validadas pela avaliação das planícies verificadas em campo, foi possível concluir a correspondência entre os resultados (Figura 8).

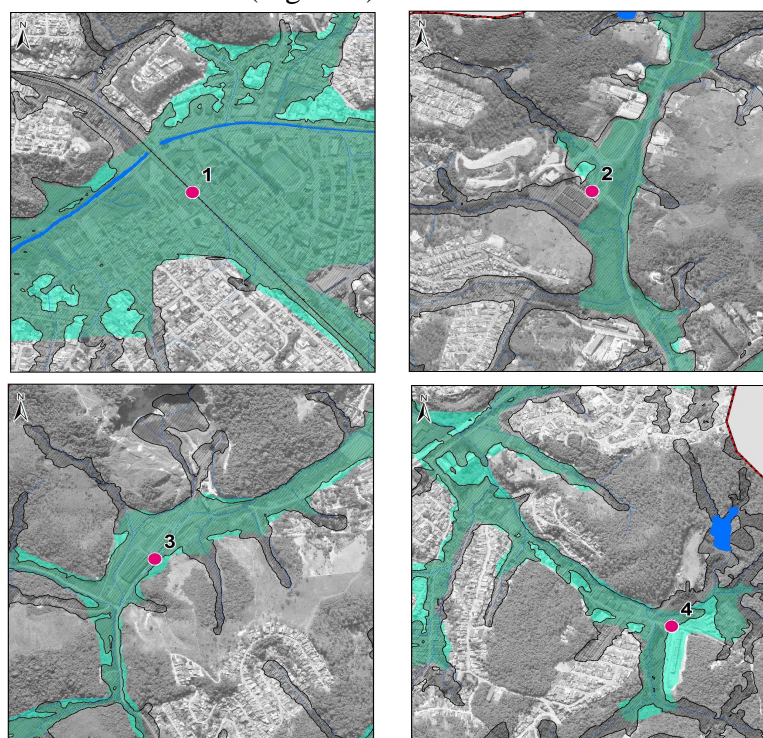


Figura 8 - Distribuição dos pontos de campo na área de estudo

A compatibilidade entre os dados chegou a 65,8%, revelando uma possível complementaridade entre os produtos, sobretudo em análises referentes a áreas suscetíveis a processos hidrodinâmicos e ao acúmulo de água.

#### 4. Conclusões

A partir da comparação dos resultados gerados por meio das duas metodologias apresentadas no estudo, conclui-se que os produtos possuem uma forte correlação, indicando uma possibilidade de integração dos mesmos e a necessidade da validação de campo em cada método empregado para o mapeamento de planícies.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Consórcio Intermunicipal Grande ABC pelas bolsas de pesquisa, à Universidade Federal do ABC pelo apoio logístico e à Prefeitura de Ribeirão Pires pela participação e acompanhamento dos trabalhos.

#### Citações e Referências

- BITAR, O. Y. (Coord). Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000: nota técnica explicativa. São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; Brasília: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2014.
- COUTINHO, R.Q. (Coord. e Org.). Parâmetros para a Cartografia Geotécnica e diretrizes para áreas sujeitas a Desastres Naturais. Ministério das Cidades/ GEGEP/UFPE, Recife. 2013.
- MOMO, M. Avaliação da aplicação do modelo HAND no mapeamento de áreas suscetíveis à inundação no Município de Blumenau. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2014.
- PEREZ FILHO, A.; ZANCOPE, M. H. C.; BRIGUENTI, E. C. Hierarquia fluvial e planícies de inundação. VI Simpósio Nacional de Geomorfologia, p. 4567, 2006.
- PINHEIRO, T. F.; RENNÓ, C.; ESCADA, M. I. Mapeamento de ambientes de terra firme do Distrito Florestal Sustentável da BR-163 por um novo algoritmo descritor de terreno HAND (Height Above Neareast Drainage). 2009. (Apresentação de Trabalho/Conferência ou palestra).
- PIRES, É. G.; BORMA, L. S., Utilização do modelo HAND para o mapeamento de bacias hidrografias em ambiente de Cerrado. In: Simpósio de Sensoriamento Remoto, 2013, Foz do Iguaçu. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos SP Bra: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2013.
- RENNÓ, C. D. et al. **HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia.** Remote Sensing of Environment 2008
- SILVA, G. F. G. ; GALERA, R. A. ; CAMPOS, F. S. ; SILVA, R. C. E. ; MOURA, R. B. ; CANIL, K. . Compartimentação geomorfológica simplificada para a elaboração da carta geotécnica de aptidão à urbanização do município de São Bernardo do Campo, SP.. In: 15º CBGE ? Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2015, Bento Gonçalves. Anais do 9º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 2015. p. 15º CBGE ? Cong.
- SOUZA, L. A.; SOBREIRA, F. G. Guia para elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais. Brasília, 2014. 68 pag.ISBN: 978-85-917793-0-7