

## RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 08/01/2017.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “Júlio de Mesquita Filho”- Campus de Presidente Prudente

FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

MESTRADO EM GEOGRAFIA

**ZONEAMENTO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL DA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO PACIÊNCIA, ILHA DO MARANHÃO-  
MA.**



**FRANCISCO AFONSO CAVALCANTI JÚNIOR**

Presidente Prudente, SP

2016

Francisco Afonso Cavalcanti Júnior  
(Programa de Pós Graduação em Geografia – UNESP/FCT)

Orientador: Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli  
(Departamento de Geografia – UNESP/FCT)

**ZONEAMENTO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL DA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO PACIÊNCIA, ILHA DO MARANHÃO-  
MA.**

Dissertação de mestrado submetida à banca examinadora para a obtenção do título de Mestre conferido pelo Programa de Pós-graduação em Geografia da UNESP/FCT.

**Área de Concentração:** Produção do Espaço Geográfico.

**Linha de Pesquisa:** Dinâmicas da Natureza.

Presidente Prudente, SP

2016

## FICHA CATALOGRÁFICA

C365z Cavalcanti Júnior, Francisco Afonso.  
Zoneamento do escoamento superficial da Bacia Hidrográfica do Rio  
Paciência, Ilha do Maranhão – MA / Francisco Afonso Cavalcanti Júnior. -  
Presidente Prudente : [s.n.], 2016  
240 f.

Orientador: José Tadeu Garcia Tommaselli  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de  
Ciências e Tecnologia  
Inclui bibliografia

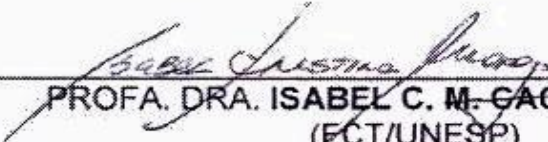
1. Escoamento superficial. 2. Mapeamento geoambiental. 3.  
Permeabilidade do solo. I. Tommaselli, José Tadeu Garcia. II. Universidade  
Estadual Paulista. Faculdade de Ciências e Tecnologia. III. Título.

BANCA EXAMINADORA




---

PROF. DR. JOSÉ TADEU GARCIA TOMMASELLI  
ORIENTADOR



---

PROFA. DRA. ISABEL C. M. GACCIA GOUVEIA  
(FCT/UNESP)



---

PROFA. DRA. EDILEA DUTRA PEREIRA  
(UFMA)



---

FRANCISCO AFONSO CAVALCANTI JUNIOR

Presidente Prudente (SP), 08 de janeiro de 2016.

RESULTADO: APROVADO

*Aos meus pais, Florência e Francisco,  
incansáveis apoiadores e motivadores,  
Aos meus familiares  
e ao povo do meu Estado, o Maranhão.*

## AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos talvez constituam uma das partes mais difíceis deste documento, visto que nele pode-se correr o risco de cometer, ainda que não intencionalmente, algumas injustiças, mas também é um momento para refletir e perceber que nada nesta vida se constrói sozinho e isso não isenta a pesquisa científica.

Aqui quero agradecer a todos que, direta ou indiretamente, deram sua parcela de contribuição para a conclusão de mais esta etapa em minha vida.

Eu creio em Deus e sei que minha relação com Ele não é mais como era antes, por minhas próprias decisões e ideologias, acredito que ainda assim Ele se importa comigo e tem me acompanhado nos momentos mais difíceis. Muito obrigado!

Meus pais são as pessoas que mais acreditam em mim, quando eu era criança, e passei por sérias dificuldades de aprendizagem na escola, lembro-me das broncas que levava, mas também me lembro do esforço do seu Francisco e da dona Florência na busca de respostas para minha condição. Lembro-me também de todos os esforços dos meus pais para que eu tivesse a oportunidade de estudar e anos mais tarde para que eu não desistisse. Tudo o que sou hoje e tudo o que conquistei até aqui é por eles e para eles e hoje sei, contrariando a profecia de uma professora da 2ª série, que meu futuro não será na roça puxando carroça. Muito obrigado por tudo!

À professora Ediléa Pereira pelo desafio proposto para o projeto de mestrado, pelo acompanhamento desde a graduação, pelo suporte nos trabalhos de campo da pesquisa e pelo carinho de até aqui ter acompanhado minha trajetória. Muito obrigado!

Ao meu orientador Tadeu Tommaselli, orientador que se tornou um amigo. Não o conhecia e nem prestei o mestrado inscrito com ele, mas o destino se encarregou de coloca-lo no meu caminho, o que a princípio me parecia trágico se transformou em uma parceria de sucesso. Muito obrigado por sempre estar disposto a ajudar, pela orientação e troca de conhecimento, pelo ensino, pela atenção, pelo apoio, por acreditar em mim, por ter sempre uma palavra amiga, pelas conversas e risadas. Muito obrigado!

Ao professor João Osvaldo pelas experiências compartilhadas, pelas contribuições geográficas, pelo acolhimento no LabSolos e por todas as vezes que se mostrou disponível a cooperar com a pesquisa. As suas contribuições foram fundamentais para a conclusão deste estudo, muito obrigado!

Quero a agradecer à professora Isabel Moroz pela disponibilidade em ajudar, contribuindo para o enriquecimento da pesquisa. Também quero agradecer a todos os

docentes desta pós-graduação pelas disciplinas e palestras ministradas que suscitaram debates, crescimento científico e pessoal.

A toda a equipe da Seção Técnica de Pós-graduação em nome de Ivonete, Aline, André, Leonardo e em especial a Cinthia, pela dedicação e responsabilidade com todos os processos e assuntos que envolvem a vida dos pós-graduandos. Muito obrigado!

Quero agradecer aos colegas da Universidade Federal do Maranhão que estiveram dando suporte aos trabalhos de campo e dividindo comigo as pressões impostas pela alta umidade e temperatura da região e também os momentos perigo. Aos colegas Isabela Camila, Sandreane, Fabrício Silva, Paulo Roberto, Roberto Bruno, Cristiane Moraes, Valdir Cutrim, Renata Castro, Waldilene Corrêa, Andrey Vilela, Rafael e em especial a Antônio Felix que não mediu esforços e esteve em quase todos os trabalhos. A todos meu muito obrigado de coração, pois sem vocês seria inviável a realização deste trabalho.

O estágio pesquisa no exterior foi uma experiência muito enriquecedora do ponto de vista científico e pessoal e aqui quero registrar meu agradecimento, em espanhol, a todos que estiveram envolvidos. *A la Universidad Autónoma de Madrid, Departamento de Geografía y a los Laboratorios de Geografía Física y Geográfica Física Aplicada que recibieron al becario y le ofrecieron las condiciones necesarias para el desarrollo del trabajo. Al profesor Fernando Allende Álvarez por la ayuda en los trámites de documentos, por la acogida en la universidad, por la invitación para participar de disciplinas y de forma especial, por la orientación en el desarrollo del proyecto. Al profesor Felipe Fernández García por permitir al becario asistir, seguir y participar de su disciplina, así como por todo el apoyo brindado. A la profesora Blanca Tello Ripa, Helena, Alice y Carla Eva por el soporte en los laboratorios, apoyo, acogida y compañía.*

Muito obrigado à equipe do LabSolos por toda aprendizagem e troca de experiências; Melina, Érika, Caio, Ribas, Ana Paula, Juliana, Jessica, Mariana, Mayara, Giordano, Pedro, Dener, Camila Al Zaher, Lucas, Renato, Felipe, Alessandro e Marcel; em especial quero agradecer ao Victor pela paciência, por ter me ensinado as técnicas e análise física de solo e pelo suporte de todas as horas. Muito Obrigado Vitão!

Aos meus amigos que fizeram da minha estadia em Presidente Prudente um período muito especial. Com eles ri, chorei, briguei e aprendi muito, quero agradecer ao Rodrigo Vitor pela parceria, pelas conversas bem humoradas e pelas cervejas! Ao Josué Viegas por me apresentar grande parte dos meus amigos, pelos debates diversos e pelas

cervejas é claro; ao grande Paulo Roberto (vulgo Paulete), pelos socorros e suportes no ArcGis, pela grande ajuda nos trabalhos de campo e por ser uma pessoa de coração gigante; à Ana Paula pelos seus dotes culinários, sempre me alegrando com algum quitute nas nossas “festinhas” particulares; à Renatinha por me aturar quando eu bebia um pouco demais e ficava tirando com ela, daí eu sempre ficava bem a vontade; à Priscila Engel (Pri) por ser alto astral e sempre alegrar nossos encontros com os “causos” do 18, pelas caronas também (o Rodrigo sempre dava carona também!); à Taíssa por sempre alegrar as festas me acompanhando nas danças; à Carla Hentz, a garota dos “causos” de Chapecó, com ela a diversão é sempre garantida! À Fernanda Bonfim por ter sido uma pessoa especial e amiga, sempre solícita e disposta a ajudar; à Aline Sulzba (Petra) por ser uma pessoa de um coração que não cabe dentro dela, obrigado pela acolhida em prudente, pelo suporte físico e psicológico, por todos os conselhos e conversas; à Gislene Ortiz por ter sido uma grande incentivadora e apoiadora quando cheguei em Prudente e por todo suporte dispensado a mim; ao Tássio (Baiano) pelos bons momentos de prosa e pelas risadas e ao Oscar Andrés (Colombiano) por ser o colombiano mais divertido que conheci e sempre estar de bem com a vida. Muito obrigado por terem aturando minhas chatices!

Quero fazer um agradecimento especial a minha amiga Liriane. A menina fala pelos cotovelos e sua estatura não é a das maiores, mas seu coração é do tamanho do universo! Liri, muito obrigado pela amizade e por sempre estar disposta a ajudar!

Não posso esquecer-me daquela que tem sido meu refúgio em meio às dificuldades da vida acadêmica e pessoal, aquela que consegue arrancar o meu melhor sorriso. Larissa (Pifa), muito obrigado por estar sempre ao meu lado, por acreditar em mim, por sempre me socorrer nos trabalhos acadêmicos e por todo carinho. Muito obrigado!

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP pelo financiamento da pesquisa por meio da bolsa de mestrado e estágio pesquisa no exterior.

Agradeço à Universidade Estadual Paulista “Júlio de mesquita Filho”, campus de Presidente Prudente, pela disponibilidade de suas estruturas físicas e pelos funcionários atenciosos e competentes (em especial a Tamae).

A todos os colegas e discentes do programa de Pós-Graduação em Geografia, muito obrigado pela vivencia e debates que agregaram conhecimento científico e pessoal. Não conseguirei citar todos, mas quero registrar os nomes dos colegas Baltazar

Casagrande, Carla Rodrigues, Luíza Durán, César Andrés, Helen, Ana Coral, Carlos Max, Yolima, Robin Zoom, Janaína Antônio, Letícia Trombeta, Núbia Beray, Lindberg, Vinicius Cirso, Taína, Fernando Gluglu, Karime, Cláudio Smalley, Claudinei Paçoca, Aurélio, Aline Coimbra, Rodrigo Criado, Rodrigo Simão, Cássio Antunes, Flávio Arruda, Eliane Carvalho, Miguel Terasi, Juniele, Agnaldo, Daniele Frasca, Mariana Cunha, Jônatas Candido, Rafael Monteiro, Leandro Nieves e Juninho.

A todos meu muito obrigado!

*A humanidade não se divide em heróis e tiranos. As suas paixões, boas e más, foram-lhe dadas pela sociedade, não pela natureza.*  
*(Charles Chaplin)*

## RESUMO

A proposta deste estudo foi a elaboração da carta do potencial de escoamento superficial da bacia hidrográfica do Rio Paciência – MA. Essa bacia hidrográfica apresenta uma área de 150 km<sup>2</sup> e está inserida nos quatro municípios da Região Metropolitana da Grande São Luís, na Ilha do Maranhão: São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa. Os trabalhos de campo foram realizados em parceria com o Laboratório de Estudos de Bacias Hidrográficas – LEBAC da Universidade Federal do Maranhão. Na elaboração da carta de escoamento superficial foi empregada a *Técnica de Cartografia Geotécnica* conforme Zuquette (1993) e Zuquette e Gandolfi (2004), na qual se buscou avaliar e caracterizar as variáveis do meio físico associadas aos diferentes usos da terra. Nessa técnica as características geotécnicas relacionadas à geologia, tipos de solos (textura, morfologia e permeabilidade), densidade de drenagem, declividade e feições favoráveis ao armazenamento superficial, são agrupadas em classes e atribuídos valores específicos. O produto final foi o resultado do cruzamento dos atributos dos meios físico e antrópico através do uso de aplicativos em ambiente de Sistema de Informações de Geográficas. A partir da análise dos resultados concluiu-se que os problemas identificados são consequência, antes de tudo, da má administração dos gestores públicos evidenciado nas ruas não pavimentadas e ausência de calçamento das marginais das vias de transporte, abrangência e manutenção do sistema de esgoto quando existente, urbanização não planejada, concessão de área para a construção de empreendimentos imobiliários desconsiderando a legislação ambiental e as aptidões físicas do terreno. Os problemas resultantes, como os alagamentos, afetam tanto os moradores da bacia hidrográfica quanto uma parcela da população da Ilha que por ela transita. Não foram encontrados registros de mortes causadas pelos alagamentos e, de modo geral, as consequências incorrem quase sempre em transtornos no fluxo dos transportes, no comércio de porte pequeno e em perdas materiais. Foram estabelecidas cinco classes de potenciais de escoamento: muito alto, alto, médio, baixo e muito baixo. Em 35% da área da bacia, o alto potencial ao escoamento superficial foi predominante, principalmente no alto curso, onde se encontram os maiores adensamentos urbanos, sendo este o parâmetro de maior peso para o fenômeno observado e não a declividade. Conforme pode ser observado na carta de escoamento superficial e na sua análise, a bacia hidrográfica apresentou um cenário muito favorável ao escoamento superficial, com 58% do seu território variando de potencial muito alto a potencial médio. Tal faixa equivale ao alto e médio curso da bacia que se caracterizam por serem áreas mais urbanizadas. Do lado oposto, o baixo curso e as margens dos interflúvios representam 42% do território bacia variando de potencial baixo a potencial muito baixo. As áreas de potencial muito baixo, correspondendo aos topos de tabuleiros e colinas no baixo curso da bacia hidrográfica, são áreas com solo predominantemente arenoso, vegetadas e pouco urbanizadas. No zoneamento, a preservação dessas áreas é importante não somente para evitar problemas decorrentes do escoamento superficial, mas também para a segurança hídrica da bacia. A hipótese central da pesquisa foi confirmada, porém se faz necessário a realização deste mesmo estudo em outras bacias vizinhas ou até mesmo em toda a Ilha do Maranhão para que se tenham parâmetros, e assim se possa melhor dimensionar os impactos do escoamento superficial. Essas informações podem auxiliar no planejamento ambiental do uso e cobertura da terra da referida bacia hidrográfica, sendo um importante documento para futuros projetos de ordenamento do espaço geográfico.

Palavras-chave: Escoamento superficial, Mapeamento geoambiental, Permeabilidade do solo.

## ABSTRACT

The purpose of this study was the development of the potential runoff map from the Paciência River Basin. This basin covers an area of 150 km<sup>2</sup> and is embedded in the four municipalities of the Metropolitan Region of Greater São Luis at Ilha do Maranhão: São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar and Raposa. The fieldwork was carried out in partnership with the Basin Research Laboratory Hydrographic - LEBAC from Federal University of Maranhão. In preparing the runoff map it was employed the *Geotechnical Mapping Technique* as Zuquette (1993) and Zuquette and Gandolfi (2004), which aimed to evaluate and characterize the variables of the physical environment associated with different land uses. In this technique the geotechnical characteristics related to geology, soils (texture, morphology and permeability), drainage density, slope and features favorable to surface storage, are grouped into classes and specific value are assigned. The final product was the result of physical and man-made resources attributes crossing through the software of use in Geographic Information System environment. From the analysis of the results it was concluded that the identified problems are consequence, first of all, of poor management of public managers evidenced in the unpaved streets and absence of sidewalks in the marginal transportation routes, coverage and maintenance of the sewer system, when present, unplanned urbanization, concession area for the construction of real estate projects without considering the environmental legislation and the physical parameters of the land. The resulting problems such as flooding, affect both the residents of the basin and a portion of the island population during its movement. There were no records of deaths caused by flooding and the consequences generally incur in disturbances in the transport flow, in small trade and material losses. Five runoff potential classes were established: very high, high, medium, low and very low. In a 35% of the basin area, the high potential to runoff was predominant, especially in the upper reaches, where are the largest urban concentrations, which is the main parameter to the observed phenomenon and not the slope. As can be seen in the runoff map and its analysis, the basin had a very favorable runoff scenario, with a 58% of its territory ranging from very high to medium potential. Such range is equivalent of the high and medium-haul basin that are characterized by being more urbanized areas. In the opposite side, the lower course and the interfluvial banks represent a 42% of the basin territory ranging from low to very low potential. The very low potential areas, corresponding to the tops of hills and trays in the lower course of the river basin, are areas with predominant sandy soil, vegetated and poorly urbanized. Zoning, in the preservation of these areas, is important not only to avoid the problems resulting from runoff, but also to the water security of the basin. The central hypothesis of the research was confirmed, but it is necessary the realization of similar study in other neighboring basins or even across the Ilha do Maranhão in order to obtain parameters and thus better scale of the runoff impacts. This information can assist in planning the environmental use and cover of the land from this basin, being an important document for future geographic spatial planning projects.

Keywords: Runoff, Geoenvironmental mapping, Soil permeability.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa das bacias hidrográficas da Ilha do Maranhão, com destaque para a Bacia Hidrográfica do Rio Paciência.....	27
Figura 2: Níveis progressivos das informações relativas aos atributos do meio físico. .	44
Figura 3: Abertura de trincheiras e profundidade do perfil de solo. ....	54
Figura 4: Distribuição dos pontos de coleta de solos na Bacia do Rio Paciência. ....	55
Figura 5: Retirada de amostra indeformada do solo com anel volumétrico.....	56
Figura 6: Retirada do anel volumétrico com amostra indeformada. ....	57
Figura 7: Retirada do excesso contido na amostra. ....	57
Figura 8: Ponto de coleta de amostra indeformada. ....	58
Figura 9: Coleta de amostra de sedimentos fluviomarinhos.....	59
Figura 10: Localização dos pontos onde foram realizados os ensaios de infiltração de água no solo.....	60
Figura 11: Cilindros sendo cravados no solo a 15 cm de profundidade com auxílio de marreta.....	61
Figura 12: Esquema de infiltração com infiltrômetro de duplo anel.....	62
Figura 13: Leitura do volume d'água dentro do cilindro menor. ....	63
Figura 14: Amostras de solo indeformadas sendo resfriadas em dessecadores. ....	64
Figura 15: Pesagem de amostra seca com balança granatária. ....	65
Figura 16: Amostras armazenadas em formas de papel, secagem em temperatura ambiente. ....	66
Figura 17: Destorroamento de solo com auxílio do almofariz e pistilo. ....	67
Figura 18: Lavagem da solução residual, contendo argila e silte, armazenada em proveta. ....	68
Figura 19: Placa de Pétri sendo pesada na balança analítica. ....	69
Figura 20: Pipeta automática. ....	70
Figura 21: Béquers com pesos iniciais registrados e prontos para serem levados a estufa. ....	71
Figura 22: Determinação das dimensões do anel volumétrico com paquímetro.....	73

Figura 23: Em destaque, na cor vermelha, as unidades de triplicata que apresentaram diferença superior a 2% em relação as demais unidades de mesma triplicata. ....	78
Figura 24: Diagrama para classificação do grupamento textural. ....	79
Figura 25: Diagrama para classificação do subgrupamento textural.....	81
Figura 26: Fluxograma do processamento no Arc Hydro. ....	85
Figura 27: Representação em perfil da lógica de criação de um TIN. ....	87
Figura 28: Esquema metodológico de vetorização da carta geológica.....	90
Figura 29: Esquema das 6 unidades taxonômicas propostas por Ross (1992).....	91
Figura 30: Imagem classificada por método de máxima verossimilhança.....	95
Figura 31: Procedimento de seleção das unidades morfológicas. ....	95
Figura 32: Imagens e shape recortados.....	96
Figura 33: Identificação das diferenciações de sombra e rugosidade. ....	97
Figura 34: Procedimento de reclassificação de imagem. ....	98
Figura 35: Imagem reclassificada contendo as unidades do 4º táxon do relevo. ....	99
Figura 36: Formas das curvaturas das vertentes a partir das combinações dos planos vertical e horizontal. ....	101
Figura 37: Substituição de valores para reclassificação ....	102
Figura 38: Sobreposição de camadas usadas na determinação espacial das classes texturais. ....	104
Figura 39: Planilha de dados granulométricos com seus respectivos pontos georreferenciados.....	106
Figura 40: Valores de interpolação atribuídos em destaque na cor azul. ....	108
Figura 41: Edição da tabela de atributos para inserção dos valores de classes. ....	119
Figura 42: Camadas sobrepostas usadas no conflito de mapas. ....	120
Figura 43: Em exposição uma parte do shapefile de conflito resultante, observar a fragmentação da bacia em pequenas áreas. ....	121
Figura 44: Tabela de atributos do arquivo de conflito resultante, atentar para os erros em valores negativos. ....	122
Figura 45: Incompatibilidade na sobreposição, em azul a camada de textura de solo sobrepondo a camada de uso e cobertura da terra em cor-de-rosa. ....	123

Figura 46: Cálculo de valores de classe final (A) e de tipo (B).....	124
Figura 47: Processo de análise e mescla das linhas da tabela de atributos.....	125
Figura 48: Esquema de determinação das 10 classes de escoamento superficial e potencialidades. ....	127
Figura 49: Modelo da coluna estratigráfica da Baía Costeira de São Luís.....	129
Figura 50: Descrição da coluna estratigráfica da Bacia Costeira de São Luís .....	129
Figura 51: Frangimento da coluna estratigráfica da formação Itapecuru, destaque para as manchas esbranquiçadas.....	130
Figura 52: Detalhes de estratificação cruzada na Formação Itapecuru. ....	131
Figura 53:Fácies arenosa da formação Barreiras.....	133
Figura 54: Extração de laterita na Fácies areno-argilosa da Formação Barreiras. ....	133
Figura 55: Litoral do Golfão Maranhense com rias penetrando as planícies onde antes eram antigos vales. ....	136
Figura 56: Mapa Geomorfológico da Ilha do Maranhão.....	138
Figura 57: Dimensão das bacias hidrográficas da Ilha do Maranhão.....	139
Figura 58: Climograma – São Luis/MA (1971 – 2012). ....	141
Figura 59: Mapa das classes de solo da Ilha do Maranhão conforme Maranhão (1998f). ....	143
Figura 60: Carta de Declividade.....	147
Figura 61: Carta geológica da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência.....	150
Figura 62: Fácies arenosa no topo das colinas. ....	151
Figura 63: Fácies arenoargilosa das encostas.....	151
Figura 64: Unidade de depósito fluviomarinho.....	152
Figura 65: Unidade de depósito de pântanos e mangues.....	153
Figura 66: Unidade de depósito aluvionar.....	154
Figura 67: Carta de classes texturais para 20 cm de profundidade da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência. ....	156
Figura 68: Carta de classes texturais para 40 cm de profundidade da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência. ....	157

Figura 69: Carta de classes texturais para 60 cm de profundidade da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência. ....	158
Figura 70: Sedimentos arenosos de um perfil da bacia. ....	159
Figura 71: Carta de susceptibilidade a infiltração da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência. ....	163
Figura 72: Representação gráfica dos índices morfométricos. ....	167
Figura 73: Carta de densidade de canais por secção da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência. ....	169
Figura 74: Ocorrência de planície arenosa de maré na Bacia do Rio Paciência. ....	175
Figura 75: Ocorrência de planície de colmatagem na Bacia do Rio Paciência. ....	176
Figura 76: Ocorrência de planície lamosa na Bacia do Rio Paciência. ....	177
Figura 77: Ocorrência de planície de maré na Bacia do Rio Paciência. ....	178
Figura 78: Em destaque, no perímetro em vermelho, a planície submersível do Rio Paciência. ....	180
Figura 79: Ocorrência de planície aluvial na altura da comunidade da Maioba, Paço do Lumiar. ....	181
Figura 80: Terraço fluvial na margem esquerda na foz do rio Paciência, município de Raposa. ....	182
Figura 81: Conchas de sarnambi no terraço fluvial. ....	183
Figura 82: Topo de colina convexa próximas à foz da bacia no município de Raposa. ....	184
Figura 83: Perspectiva em 3 dimensões da Bacia do Rio Paciência, destaque em vermelho para as unidades geomorfológicas de colinas de topos de tabulares. ....	185
Figura 84: Carta geomorfológica da bacia do Rio Paciência. ....	187
Figura 85: Carta de curvatura vertical da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência. ....	190
Figura 86: Carta de curvatura horizontal da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência. ....	192
Figura 87: Combinações das curvaturas vertical e horizontal para caracterização do relevo. ....	194
Figura 88: Carta de curvatura da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência. ....	195
Figura 89: Av. São Luís Rei de França, no bairro do Turu, uma das vias mais importantes de São Luís e dinamizadora direta da por oeste da Bacia do Rio Paciência. ....	199

Figura 90: Trecho do Rio Turu canalizado e ruas construídas onde antes ficavam as margens.....	200
Figura 91: Residencial Nova Jerusalém, em Paço do Lumiar.....	201
Figura 92: Shopping Center Rio Anil, no bairro do Turu, em São Luís. ....	202
Figura 93: Shopping Center Pátio Norte, no bairro Saramanta, em São José de Ribamar. ....	203
Figura 94: Superfície densamente construída e impermeabilizada no bairro Cidade Operária. ....	204
Figura 95: Classes de uso e cobertura da terra e expansão urbana na Bacia do Rio Paciência no ano de 1984. ....	206
Figura 96: Classes de uso e cobertura da terra e expansão urbana na Bacia do Rio Paciência no ano de 1995. ....	207
Figura 97: Classes de uso e cobertura da terra e expansão urbana na Bacia do Rio Paciência no ano de 2004. ....	208
Figura 98: Classes de uso e cobertura da terra e expansão urbana na Bacia do Rio Paciência no ano de 2014. ....	209
Figura 99: Tributário do Paciência, no alto curso, visivelmente poluído e com marcante presença da ação antrópica na geomorfologia.....	211
Figura 100: Assoreamento no trecho inicial do Rio Paciência próximo a UEMA.....	211
Figura 101: Carta do zoneamento do escoamento superficial da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência. ....	214
Figura 102: Escoamento superficial em área urbana, a rua/sarjeta assumindo o papel de canal de drenagem após evento chuvoso.....	217
Figura 103: Sites noticiando episódios de alagamentos, dois episódios dentre muitos que ocorrem por ano.....	218
Figura 104: Veículo parcialmente submerso em avenida do bairro Cohatrac.....	218
Figura 105: Rua atrás da maternidade Marly Sarney, bairro Cohab. ....	219
Figura 106: Rua “N” no bairro Jardim Turu I, exemplo de ruas sem pavimentação acometidas de erosão e sem infraestrutura de drenagem.....	220
Figura 107: Escoamento superficial e depósito de sedimentos em via do bairro Miritiua. ....	220

Figura 108: Formação Açuí, (A) depósito de pântanos e mangues, (B) depósito fluviomarinho. ....	221
Figura 109: Águas do Paciência cobrindo a MA – 2001, trecho entre os bairros Forquilha, em São Luís, e Saramanta, em São José de Ribamar.....	223

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Percentagem do domínio das classes de declividade na Bacia do Paciência. .....	146
Gráfico 2: Tempo de estabilização da infiltração para o topo das colinas. ....	162
Gráfico 3: Tempo de estabilização da infiltração para a encosta das colinas.....	164
Gráfico 4: Tempo de estabilização da infiltração para a base das colinas. ....	164
Gráfico 5: Média da lâmina d'água infiltrada. ....	165
Gráfico 6: Percentagem da distribuição espacial das potencialidades .....	224

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Hierarquia de documentos produzidos a partir do mapeamento geotécnico..	41
Quadro 2: Hierarquia e documentos cartográficos correspondentes – meio físico. ....	45
Quadro 3: Hierarquia e documentos cartográficos correspondentes – meio biológico e antrópico (socioeconômico). ....	46
Quadro 4: Temperatura e tempo para pipetagem .....	69
Quadro 5: Determinação de pontuação dos atributos e das classes de escoamento superficial. ....	215

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores de estimação do comprimento da capilaridade macroscópica do solo para as categorias de textura e estrutura ( $\lambda_c$ ), conforme Elrick and Reynolds (1992)..	75
Tabela 2: Critério de classificação de infiltração básica, conforme Reichardt (1990)...	75
Tabela 3: Valores de classes do relevo conforme EMBRAPA (2013).....	89
Tabela 4: Classes de potencial direcional do fluxo do escoamento superficial.....	101
Tabela 5: Imagens de satélites utilizadas neste trabalho. ....	109
Tabela 6: Síntese da atribuição de pontos para uso e cobertura da terra. ....	113
Tabela 7: Síntese da atribuição de pontos para textura do solo.....	114
Tabela 8: Síntese da atribuição de pontos para Geologia. ....	115
Tabela 9: Síntese da atribuição de pontos para permeabilidade.....	116
Tabela 10: Síntese da atribuição de pontos para curvatura das vertentes.....	116
Tabela 11: Síntese da atribuição de pontos para declividade. ....	117
Tabela 12: Síntese da atribuição de pontos para densidade de drenagem. ....	117
Tabela 13: Potencialidades do escoamento superficial. ....	216

## Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	25
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	28
2.1 Geral .....	28
2.2 Específicos.....	28
<b>3 REFERENCIAIS CONCEITUAIS</b> .....	29
3.1 O homem na paisagem .....	29
3.2 Bacia hidrográfica.....	31
3.3 O escoamento superficial.....	33
3.4 O mapeamento geotécnico e suas particularidades .....	35
3.5 Cartografia digital.....	48
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	51
4.1 Método.....	51
4.2 Procedimentos metodológicos e organização do trabalho.....	52
4.2.1 <i>Levantamento bibliográfico</i> .....	52
4.2.2 <i>Pesquisa de campo</i> .....	53
4.2.2.1 <i>Reconhecimento de campo e coleta de amostras</i> .....	53
4.2.2.1.1 <i>Reconhecimento do ambiente</i> .....	53
4.2.2.1.2 <i>Distribuição dos pontos de coletas e perfis</i> .....	53
4.2.2.1.3 <i>As coletas de amostras deformadas e indeformadas de solo</i> .....	56
4.2.2.2 <i>Ensaio de Infiltração</i> .....	59
4.2.2.3 <i>Reconhecimento das cartas temáticas em campo</i> .....	63
4.2.3 <i>Análises laboratoriais</i> .....	63
4.2.3.1 <i>Densidade do solo</i> .....	64
4.2.3.2 <i>Análise do espectro do tamanho das partículas (Pipetagem)</i> .....	65
4.2.4 <i>Tratamento dos dados</i> .....	71

4.2.4.1 Dados de densidade do solo.....	72
4.2.4.2 Dados de infiltração de água no solo .....	73
4.2.4.3 Dados de granulometria .....	76
4.2.5.2 Rede de Drenagem .....	85
4.2.5.3 TIN (Triangulated Irregular Network).....	87
4.2.5.4 Declividade .....	88
4.2.5.5 Carta geológica.....	89
4.2.5.6 Carta geomorfológica .....	91
4.2.5.7 Carta de Curvatura das Vertentes (5º Táxon) .....	99
4.2.5.8 Carta de classes texturais .....	103
4.2.5.9 Susceptibilidade à infiltração .....	107
4.2.5.10 Uso e cobertura da terra.....	109
4.2.5.11 Elaboração da carta do potencial de escoamento superficial.....	110
<b>5 MEIO FÍSICO DA ILHA DO MARANHÃO .....</b>	<b>128</b>
5.1 Geologia .....	128
5.2 Geomorfologia.....	135
5.3 Hidrografia .....	138
5.4 Clima .....	140
5.5 Solos .....	142
<b>6 LEVANTAMENTO DOS ATRIBUTOS DE ANÁLISE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL .....</b>	<b>145</b>
6.1 Descrição dos atributos de Declividade.....	145
6.2 A carta geológica e seus atributos .....	148
6.3 Descrição do espectro de tamanho de partículas do solo .....	154
6.3.1 Textura e Profundidade.....	155
6.3.2 Permeabilidade.....	161
6.4 Aspectos hidrográficos .....	166

6.4.1 Morfometria .....	166
6.4.2 Densidade de Drenagem .....	168
6.5 Caracterização do Relevo .....	170
6.5.1 Mapeamento Geomorfológico.....	170
6.5.2 Curvatura das vertentes e sua influência no escoamento superficial – 5º Táxon.....	188
6.6 Uso e cobertura da terra.....	196
6.6.1 O fenômeno dos conjuntos habitacionais .....	197
6.6.2 Classes de uso e cobertura da terra.....	205
<b>7 CARTA DO ZONEAMENTO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....</b>	<b>213</b>
<b>8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>225</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>229</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>239</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Conhecer melhor o território sempre foi, ao longo da história da Geografia, uma estratégia para o desenvolvimento e afirmação de uma nação. Conhecer as aptidões e potencialidades do meio físico auxiliam no planejamento ambiental e no traçado de planos para a apropriação, exploração e uso do terreno, otimizando assim suas potencialidades.

Na sociedade moderna, principalmente nos meios urbanos, a ocupação do solo, sem um planejamento que considere as características naturais e vocacionais do terreno, incorre quase sempre em quadros complexos de desequilíbrios ambientais onde o homem é tanto o agente impactador quanto o sujeito que sofre as consequências do impacto.

O modo de produção e sistema econômico capitalista tem imprimido na sociedade o estilo de produção do espaço voraz, onde os interesses econômicos se sobrepõem aos interesses e capacidades socioambientais. Nesse sistema os espaços são desenvolvidos de forma desigual e a parcela menos abastada, apesar de ser a maior em representatividade, torna-se a mais vulnerável às consequências direta e indireta, tais como deslizamento de massa, desabastecimento hídrico e alagamentos.

Os estudos ambientais aplicados têm se desenvolvido e ganhado espaço, principalmente a partir da II Revolução Industrial, como uma tentativa de resposta a tais desequilíbrios. Por tanto, a busca por entender, remediar e prevenir problemas ambientais se dá, unicamente, pela existência do problema em si e sua eminente ameaça.

O mapeamento geotécnico tem sua história ligada a essa necessidade de compreensão do problema ambiental, pautando-se no estudo do comportamento dos elementos do meio físico de forma correlacionada para oferecer subsídios a um planejamento e ação mais efetiva.

Porém, na pluralidade marcante da paisagem não se pode realizar uma análise sistêmica somente a partir do estudo do meio físico, por isso a inserção de elementos biológicos e antrópicos têm agregado mais qualidade a este tipo de estudo dando destaque à vertente dos zoneamentos geoambientais.

O escoamento superficial é um processo natural oriundo da relação relevo, solo, vegetação e pluviosidade, sendo um processo natural e alheio à vontade humana sua

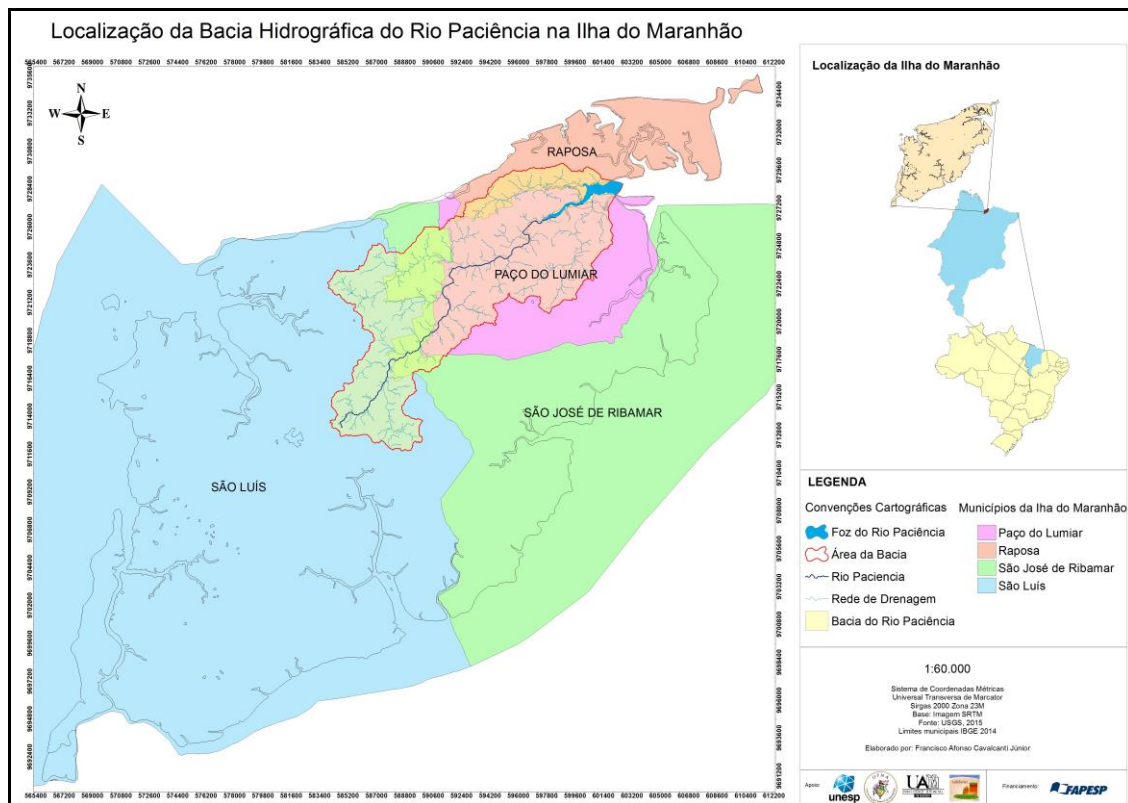
dinâmica segue um fluxo que pode ser potencializado ou amenizado pela ação humana, mas não extinto. A urbanização acelerada que a humanidade vem vivenciando desde o século XX tem também sua parcela nos crescentes casos de perdas materiais e de vida nos grandes centros urbanos decorrentes de uma combinação dinâmica de fatores que envolvem o escoamento superficial. Uma das formas de investigar essa problemática no espaço urbano é a partir do recorte da bacia hidrográfica como uma unidade de análise socioambiental.

Nesse contexto o conhecimento das condições de escoamento superficial por meio das características geotécnicas do terreno é de fundamental importância para o planejamento e gestão de bacias hidrográficas visando o desenvolvimento social, econômico e ambiental.

A proposta desse estudo trata-se do levantamento dos atributos necessários para classificação do potencial de escoamento superficial bem como sua representação através da elaboração da Carta do potencial de escoamento superficial da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência.

A Bacia Hidrográfica do Rio Paciência situa-se entre as coordenadas geográficas S 2°35'03"/2°27'52" e O 44°13'32"/44°03'83", abrangendo os quatro municípios da Região Metropolitana da Grande São Luís na Ilha do Maranhão; são eles: São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa (Figura 1); Maranhão/Brasil.

Figura 1: Mapa das bacias hidrográficas da Ilha do Maranhão, com destaque para a Bacia Hidrográfica do Rio Paciência.



Sua área total é de 150 km<sup>2</sup> e seu sistema de drenagem, de acordo com a classificação de Strahler (1960), de 5º ordem. O Rio Paciência tem 28 km de extensão, sendo a maior bacia hidrográfica da Ilha do Maranhão. O acesso pode ser feito pelas vias terrestres MA-201, MA-202, MA-204, Avenida dos São Luís Rei de França, Avenida dos Holandeses e via marítima através de pequenos portos ao longo da desembocadura do rio principal.

Nas décadas de 70 e 80, através da implantação da política habitacional de grandes conjuntos populacionais, tais como COHAB, COHATRAC e Maiobão, ocorreu um incremento significativo de processos de urbanização, e com eles as ocupações espontâneas que hoje representam os maiores adensamentos populacionais da ilha. As consequências dessas ocupações foram: impermeabilização e compactação do solo em alguns pontos, desmatamentos, aterramento de nascentes com supressão de vários canais de drenagem e contaminação das águas por dejetos domésticos *in natura* e industriais.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O zoneamento do escoamento superficial tem se mostrado uma ferramenta muito importante para compreender melhor os impactos da dinâmica socioeconômica e/ou antrópica na paisagem e reversamente seu impacto sobre a sociedade, onde o homem e a natureza estão interligados em um sistema sincrônico de causas e efeitos.

Muito utilizado nos planos diretores das cidades e nas ações de proteção e manutenção dos recursos ambientais o zoneamento surge como um instrumento frente à necessidade humana de se apropriar sustentavelmente do território. Portanto, torna-se importante para o planejamento e desenvolvimento das sociedades em qualquer lugar do planeta combinando o equilíbrio ambiental ao bem-estar e funções sociais por meio estudos dirigidos e mapeamentos.

De fato, o mapeamento geoambiental, com uma proposta como a deste estudo, demanda um levantamento minucioso de dados para transforma-los em informações e produtos, que muitas vezes esbarram na falta de recursos ou na insuficiência destes para a execução das atividades tanto na questão da demanda material quanto na de recursos humanos.

As cartas resultantes do estudo do meio físico e do uso da terra da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência representam um instrumento de transformação na medida em que outros estudos para análise e tomadas de decisão, com fins de investigação e apropriação ou gestão, podem ser desenvolvidos a partir delas.

A carta do potencial de escoamento superficial se configura como a culminância de todos os trabalhos e informações aqui levantadas e que permitem uma análise integrada a outros aspectos do terreno. Sobretudo é um documento de aplicabilidade, rico em detalhes e informações que pode instrumentalizar órgãos públicos, privados, sociedade civil organizada e institutos de educação e pesquisa na gestão territorial, medidas de intervenção e como modelo para realização deste tipo de estudo em outros lugares.

Constatou-se que apesar da baixa declividade e solo com característica textural predominantemente com maior teor de areia, a bacia apresenta um potencial de escoamento superficial alto ditado pela antropização da superfície representada pela mancha urbana. Por isso, apesar do zoneamento considerar todos os atributos descritos

na pesquisa para a análise do escoamento superficial o atributo uso e cobertura da terra foi o que mais exerceu influência.

Os problemas resultantes, como os alagamentos, afetam tanto os moradores da bacia hidrográfica quanto uma parcela da população da Ilha que por ela transita. Não foram encontrados registros de mortes causadas pelos alagamentos e de modo geral as consequências incorrem quase sempre em transtornos no fluxo dos transportes, no comércio de porte pequeno e em perdas materiais.

Os potenciais de escoamento muito altos foram registrados nas áreas de baixas topográficas das colinas, zonas mais periféricas e sem infraestrutura urbana de qualidade onde vivem a população mais carente que se encontram em situação de completo abandono dos poderes públicos estadual e municipais da Ilha.

Os potenciais de escoamento altos foram registrados nas áreas mais urbanizadas e centralizadas dos bairros Turu, COHAB, Cohatrac e Cidade Operária. São áreas muito urbanizadas e impermeabilizadas que por se situarem em zonas topograficamente mais altas naturalmente potencializam o escoamento superficial por força gravitacional, todavia há alguns pontos de alagamento, principalmente no bairro Cohatrac e proximidades, em decorrência do entupimento das bocas de lobo e vias de escoamento. Isto ocorre por uma associação de fatores, dentre elas: descontinuidades topográficas que causam pequenas depressões, acúmulo de resíduos sólidos domésticos e pequenos hábitos da população de descartar embalagens nas ruas, o solo exposto e não calçamento de alguns trechos marginais das vias de transporte e pouca abrangência territorial dos sistemas de drenagem urbana e esgoto.

Os potenciais de escoamento médios foram registrados em zonas com duas características particulares: área urbana e área de domínio das planícies fluvio marinhas. Nas áreas urbanas ocorrem principalmente nas proximidades dos bairros Parque Universitário, Cidade Operária, Maiobão e São Raimundo, são áreas caracterizadas por uma urbanização com pouca infraestrutura e pouca impermeabilização da superfície que, apesar de estarem topograficamente em pontos mais altos e com forte influência da gravidade, propiciam um contato mais direto e mais longo da lâmina d'água com o solo e vegetação favorecendo a infiltração de água no solo e conseqüentemente diminuindo o potencial de escoamento superficial. Na área de domínio das planícies fluvio marinhas da foz do Rio Paciência a declividade é plana, mas este potencial ocorre em virtude das características pedológicas de solo argiloso que submetido ao regime de variação de

maré está constantemente inundado adquirindo consistência lamosa, nessas condições a infiltração de água no solo é pouca e excedente tende a escoar.

As áreas de baixo potencial correspondem às zonas de vegetação preservada como, por exemplo, a Área de Proteção Ambiental do Itapiracó e do Aeroporto Internacional Marechal Cunha Machado (São Luís), além de áreas vegetadas diversas no meio urbano e nas margens dos interflúvios dos rios da bacia. Nessas áreas observa-se a importância da vegetação na atenuação do processo de escoamento superficial proporcionando uma maior capacidade de infiltração de água no solo, bem como a necessidade de tornar a bacia hidrográfica mais sustentável diminuindo os danos causados pelos alagamentos.

As áreas de potencial muito baixo correspondem aos topos de tabuleiros e colinas no baixo curso da bacia hidrográfica, são áreas com solo predominantemente arenoso, vegetadas e pouco urbanizadas. No zoneamento a preservação dessas áreas é importante não somente para evitar os problemas decorrentes do escoamento superficial, mas também para a segurança hídrica da bacia. A água que infiltra no solo é importante para a manutenção das águas subterrâneas e para conter o avanço da cunha salina que já atinge os poços artesianos das comunidades do baixo curso da bacia hidrográfica, como por exemplo, algumas comunidades do bairro Iguaíba no município de Paço do Lumiar.

Conforme pode ser observado na carta de escoamento superficial e na sua análise, a bacia hidrográfica apresentou um cenário muito favorável ao escoamento superficial, com 58% do seu território variando de potencial muito alto a potencial médio. Tal faixa corresponde ao alto e médio curso da bacia que caracterizam-se por serem áreas mais urbanizadas. Do lado oposto, o baixo curso e as margens dos interflúvios representam 42% do território da bacia variando de potencial baixo a potencial muito baixo. A hipótese central da pesquisa foi confirmada, porém se faz necessário a realização deste mesmo estudo em outras bacias vizinhas ou até mesmo em toda a Ilha do Maranhão para que se tenham parâmetros e assim melhor dimensionar os impactos do escoamento superficial.

A partir da análise dos resultados concluiu-se que os problemas identificados resultam, antes de tudo, da má administração dos gestores públicos evidenciado nas ruas não pavimentadas, cobertura e manutenção do sistema de esgoto quando existe,

urbanização não planejada, concessão de área para a construção de empreendimentos imobiliários sem considerar a legislação ambiental e as aptidões físicas do terreno.

Como sugestão para amenizar os impactos do escoamento superficial da bacia hidrográfica indica-se a substituição das pavimentações asfálticas por asfalto permeável, uma tecnologia que já vem sendo muito utilizada na Europa e que possibilita a infiltração da água no solo, alimentando o lençol freático e diminuindo o escoamento superficial. No entanto, deve-se ser ter cautela no uso desse material para as áreas de recarga de aquífero, considerando o tipo de uso do solo para evitar a contaminação das águas subterrâneas, no caso de áreas sem sistema de saneamento básico não se recomenda.

Outra sugestão seria incentivar empresas e residências a adotarem o uso de concreto permeável em estacionamentos e áreas que necessitem ser pavimentadas, aqui também deve adotar a mesma cautela anteriormente mencionada.

Todavia, a sugestão mais viável economicamente e ambientalmente são as de infraestruturas verdes. Constituem-se em estruturas capazes de estabelecer ligações entre as zonas naturais existentes melhorando a qualidade ambiental das cidades e fornecendo condições para o ecossistema continuar e melhorar fornecimento de conforto térmico, ar e água. Como elementos desta infraestrutura destacam-se: as zonas arborizadas, paisagismo e parques urbanos ambientais. Todas essas medidas devem estar associadas a materiais o menos impermeáveis possíveis e de predominância de vegetação sobre o solo.

As informações levantadas nesta pesquisa podem auxiliar no planejamento territorial e ambiental do uso da terra da referida bacia hidrográfica, se configurando em um importante documento para futuros projetos de ordenamento do espaço geográfico e prevenção e/ou remediação de problemas ambientais.

## REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. **A Amazônia: Do discurso à práxis**. 2ª ed. EDUSP; São Paulo, 2004.

\_\_\_\_\_. **Contribuições à Geomorfologia do Estado do Maranhão**. Notícias Geomorfológicas (revista) v.3, nº 5, p. 35-44. Abril, 1960.

\_\_\_\_\_. **Os domínios da natureza do Brasil: Potencialidades paisagísticas**. 4ª ed. Ateliê: São Paulo, 2007.

ARAÚJO, R. R. **Clima e vulnerabilidade socioespacial: uma avaliação dos fatores de risco na saúde da população urbana do município de São Luís (MA)**. 2014. 290f. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

BARROSO J.A; CABRAL S.; MALTA C. S.. **Subsídios geológico-geotécnicos como apoio ao Plano Diretor do município do Rio de Janeiro**. In: Anais do VII Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia: Poços de Caldas, 1993, nº2, p.167-176.

BARROSO, J.A. et al.. **Geological-geotechnical mapping of Rio de Janeiro metropolitan region**. In: Anais do V INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY: Buenos Aires, 1986, nº6, p.1715-1724.

BARTOLITI, F. D.. **ArcGis aplicado a bacias hidrográficas, aula 6**. Disponível em: [http://www.ltc.ufes.br/gisbasins/Aula\\_06.pdf](http://www.ltc.ufes.br/gisbasins/Aula_06.pdf) Acesso em: 25/08/2015.

BERTALANFFY, L.. **Teoria geral dos sistemas**. Editora Vozes: Petrópolis, 1975.

BERTRAND, G.. **Paisagem e Geografia Física global: Esboço metodológico**. Trabalho publicado, originalmente, na “Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-

Ouest”, Toulouse, v. 39 n. 3, p. 249-272, 1968, sob título: Paysage et géographie physique globale. Esquisse méthodologique. Publicado no Brasil no Caderno de Ciências da Terra. Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, n. 13, 1972. Tradução: Olga Cruz; R. RA’E GA Nº 8. Editora UFPR: Curitiba, 2004, p. 141-152.

BEZERRA, J. F. R. **Estudo da Compartimentação Geomorfológica da Área da Bacia do Rio Paciência, Ilha do Maranhão**. Monografia. Curso de Geografia da Universidade Federal do Maranhão; São Luís, 2004.

BRANDÃO, V. S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. da. **Infiltração da água no solo**. 3ª ed. Viçosa: editora UFV, 2006.

CARVALHO, I. S. **A bacia de São Luís**. In: BRITO, I. M. Geologia histórica. Editora da Universidade Federal de Uberlândia: Uberlândia, 2000.

CAVALCANTI JÚNIOR, F. A.. **Infiltração de água no solo da Sub-bacia do Rio Maracanã, São Luís – MA**. Monografia (graduação). Universidade Federal do Maranhão. Curso de Geografia; São Luís, 2011.

CEDERGREN, H. R. **Seepage, drainage and flow nets**. John Willey and Sons; New York, 1989.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**, 2 ed., Edgar Blucher; São Paulo, 1980.

DIAS, R. D.. **Proposta de metodologia de definição de carta geotécnica básica em regiões tropicais e subtropicais**. Revista Instituto Geológico, volume especial: São Paulo, 1995, p.51-55.

DERRUAU, M.. **Précis de Geomorphology**. 4ª ed. Masson et Cie; Paris, 1965.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. 2ª Ed. Centro Nacional de Pesquisa de Solos – Embrapa Solos; Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2ª ed. Revista e Atualizada. Centro Nacional de Pesquisa de Solos - Embrapa; Rio de Janeiro, 1997.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE - ESRI. Comprender el análisis de interpolación. Disponível em: <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/na/009z0000006w000000/> Acesso em: 24/03/2015.

\_\_\_\_\_. Cómo funciona Orientación. Disponível em: <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/na/00q900000023000000/> Acesso em: 26/03/2015.

\_\_\_\_\_. Cómo funciona De ráster a TIN (3D Analyst). Disponível em: <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/na/00q90000008r000000/> Acesso em: 24/03/2015.

\_\_\_\_\_. How Slope Works. Disponível em: <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/na/00q90000001r000000/> Acesso em: 26/03/2015.

FEITOSA, A. C; TROVÃO, J. R.. **Atlas escolar do Maranhão: Espaço Geo-histórico e cultural**. Editora Grafiset; João Pessoa, 2006.

FEITOSA, Antônio Cordeiro. **Dinâmica dos processos geomorfológicos da área costeira a nordeste da Ilha do Maranhão**. Rio Claro (SP), 1996. 249f. Tese. (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 1996.

FLORENZANO, T. G.. **Iniciação em sensoriamento remoto**. Oficina de Textos; São Paulo, 2007.

\_\_\_\_\_. **Geomorfologia; Conceitos e tecnologias atuais**. Oficina de Textos; São Paulo, 2008.

FRANCO, G. B.; MARQUES, E. A. G.; CALIJURI, R. L. G.. **Cartografia Geotécnica: estágio atual do conhecimento**. Caminhos da Geografia. Vol. 11 n° 35: Uberlândia, 200, p. 158 – 172.

FREITAS, C, G, L. de; CAMPANHA, V. A. **Carta geotécnica e ambiental aplicada em planos diretores municipais**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 6, Uberlândia. Anais... Uberlândia: ABGE, 2007. p. 562-570

GUERRA, A. J. T.. **Dicionário geológico-Geomorfológico**. 8ª ed. IBGE; Rio de Janeiro, 1993.

\_\_\_\_\_. **Processo Erosivo nas Encostas**. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B.. **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos**. 4ª ed. Bertrand Brasil; Rio de Janeiro, 2001.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia e meio ambiente**. Org. 7ª Ed. Bertrand Brasil; Rio de Janeiro, 2009.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. Bertrand Brasil; Rio de Janeiro, 1997.

GUERRA, J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Org. 5ª Ed. Bertrand Brasil; Rio de Janeiro, 2010.

IAEG - INTERNACIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY. **Engineering Geology maps: a guide to their preparation**. Unesco: Paris,1976.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de Pedologia**. Manuais técnicos em Geociências. Número 4: 2ª edição. Diretoria de Geociências; Rio de Janeiro, 2007.

JENSEN, J.R.. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução: EPIPHANIO, J.C.N. (coordenador)...[et al.]. Parêntese; São José dos Campos, 2009.

JORGE, M. do C. O.. **Geomorfologia Urbana: Conceitos, metodologias e teorias**. In: GUERRA, A, J. T.(org). **Geomorfologia Urbana**. Bertrand Brasil; Rio de Janeiro, 2011.

KONDRATEV, K. IA.; FILATOV, N... **Limnology and remote sensing: a contemporary approach**. Springer - Praxis Series in Remote Sensing, 1999.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. 1ª ed. Oficina de Textos; São Paulo, 2009.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

LEPSCH, I. F.; SAKAI, E. & AMARAL, A.Z. **Levantamento pedológico de reconhecimento semi-detalhado da Região do Rio Ribeira do Iguape no estado de São Paulo**. Folha SG.23-V-A-IV-2, Escala 1:100.000. SAA; IAC: Campinas,1983.

Estudo de pedologia/cobertura vegetal. **Macrozoneamento do Golfão Maranhense. Diagnóstico Ambiental da Microregião da Aglomeração Urbana de São Luís e dos Municípios de Alcântara, Bacabeira e Rosário**. Sema/MMA/PNMA: São Luís, 1998f.

MARTINS, J. A. **Infiltração**. In: PINTO, N. L. de S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia Básica**. Edgard Blucher; São Paulo, 1976, p. 44 – 55.

MATULA, M.. **Principles and types of engineering geological mapping**. Report of the omission on engineering geological mapping. Bulletin the International Association of Engineering Geology: 1976, nº 24, p. 227-234.

MORAES, M. H.; MÜLLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. **Qualidade física do solo: Métodos de estudo – sistemas de preparo e manejo do solo**. FUNEP; Jaboticabal, 2002.

MUNIZ, Francisca Helena; BRITO, Érica Ribeiro. **Levantamento da flora apícola do município de Itapecuru-Mirim, Maranhão**. Revista Brasileira de Biociências, v. 5, p. 111-113, 2007.

NIMER, E, BRANDÃO, Ana Maria P.M. (coords). **Balço hídrico e clima da região dos Cerrados**. Rio de Janeiro: IBGE, 1989.

NOGUEIRA, J. B. **Mecânica dos solos: ensaios de laboratório**. EESC-USP; São Carlos, 1995.

NUNES, J. O. R.; PERUSI, M. C.; PETERLINI, G. H. de C.; TIEZZI, R. de O.; PISANI, R. J.; SANTANA, É. L. R.. **Variações Texturais dos Latossolos Vermelhos do Assentamento Rural Antonio Conselheiro – Mirante do Paranapanema/SP**. Geografia em Atos. Vol 1, Nº 6; Presidente Prudente, dezembro, 2006, p. 30 – 39.

PEREIRA, E. D. **Vulnerabilidade natural a contaminação do solo e do Aquífero do Reservatório Batata**. Tese (doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências exatas. Unesp; Rio Claro, 2006.

PETRI, S.; FÚLFARO, V. J. **Geologia do Brasil**. São Paulo: USP, 1983.

PRANDINI, F. L.; NAKAZAWA, V. A.; FREITAS, C. G . L. de; DINIZ, N .C.. **Cartas Geotécnicas nos planos diretores regionais e municipais**. In: BITAR, O. Y. Curso de Geologia de Engenharia aplicada ao meio ambiente. ABGE: São Paulo, 1995.

PINTO, C. de S.. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas**. 3ª Edição. Oficina de Textos; São Paulo, 2006.

PRUSKI, F. F.; BRANDÃO, V. dos S.; SILVA, D. D. da. **Escoamento superficial**. 2ª Ed. Editora UFV; Viçosa, 2008.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. Manole; São Paulo, 1990.

RADCLIFFE, D. E.; SIMUNEK, J. **Soil physics with hydrus: modeling and applications**. CRC Press; United States: Florida, 2010.

RODRIGUES, C.; ADAMI, S. **Técnicas Fundamentais para o Estudo de Bacias Hidrográficas**. In: VENTURI, L. A. B. (Org.). **Praticando a Geografia: Técnicas de Campo e Laboratório em Geografia**. Oficina de Textos; São Paulo, 2009.

RODRIGUES, T. L. N. *et al.* (Org) **Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: São Luís, Folha SA-23-2-A, Cururupu Folha SA-23-X-C, escala 1: 250.000**. CPRM; Brasília, 1994.

ROSS, J. L. S.. **Registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo**. Rev. Geografia. IG-USP; São Paulo, 1992, p. 17 – 29.

\_\_\_\_\_; MOROZ, I. C. **Mapa geomorfológico do estado de São Paulo**. FFLCH-USP/IPT/FAPESP: São Paulo, 1997.

ROSSETI, D. F.. **Ambientes costeiros**. In: FLORENZANO, T. G. (Org.) **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. Oficina de Textos: São Paulo, 2008. p. 248-285.

SANTOS, M.. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. 4ª ed. EDUSP; São Paulo, 2006.

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. Oficina de Textos; São Paulo, 2004.

SILVA, Q. D. da. **Mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão**. Tese (doutorado) - Faculdade de Ciência e Tecnologia, Unesp; Presidente Prudente, 2012.

SPOSITO, E. S. **Geografia e Filosofia: contribuição para o ensino do pensamento geográfico**. Editora UNESP; São Paulo, 2004.

SILVA, T. I.; RODRIGUES, S. C.. **Tutorial de Cartografia Geomorfológica ArcGis 9.2 e Envi 4.0**. Revista Geográfica Acadêmica. Uberlândia, 2009.

STRAHLER, A. N.. **Climate and their classification**. 2<sup>a</sup> ed. Physical Geography. John Wiley; New York, 1960.

SUERTEGARAY, D. M. A.. **Espaço Geográfico Uno e Múltiplo**. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales. Universidad de Barcelona; Barcelona, 2007, p. 1 -11, 21 nov.

SUERTEGARAY, D.M.A. **Espaço Geográfico uno e múltiplo**. In: SUERTEGARAY, D.M.A.; BASSO, L.A. & VERDUM, R. (orgs.). **Ambiente e Lugar no Urbano: a Grande Porto Alegre**. Editora da Universidade/UFRGS. Porto Alegre, 2000.

SUGUIU, K.. **Dicionário de Geologia Sedimentar e áreas afins**. Bertrand Brasil; Rio de Janeiro, 1998.

TAYLOR, D. R. F.. **Geographic information systems: The microcomputer and modern cartography**. Oxford,, UK: Pergamon Press, 1991.

TRICART, J.. **Ecodinâmica**. Fundação IBGE; Rio de Janeiro, 1977, p. 31 – 64.

\_\_\_\_\_. **Mise em point: l'évolution des versants. L'information géographique**. (21):108-15, 1957.

TROLL, C.. **El paisaje geográfico y su investigación**. MENDONZA, J. G. ; JIMENEZ, J. M. y CONTERO, N. (Org.) **El pensamiento geográfico**. Estudio interpretativo y

antologia de textos ( De Humboldt a las tendencias actuales). Alianza Eitorial: Madrid, 1950.

TEIXEIRA, S. G.; MARTINS, P. W.; FILHO, S.. **Mapeamento de ambientes costeiros tropicais (Golfão Maranhense, Brasil) utilizando imagens de sensores remotos orbitais**. Revista Brasileira de Geofísica. Vol 27. São Paulo, 2009. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-261X2009000500006](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-261X2009000500006) Acesso em: 15/06/2015.

TOBLER, W.. **A computer movie simulating urban growth in the Detroit region**. Economic Geography; 46 (2), p. 234 – 240.

VARNES, D.J.. **The logic of engineering geological and related maps**. A discussion of the definition and classification of map units, with special references to problems presented by maps intended for uses in civil engineering. U.S. Geological survey, 1974, professional paper 837.

VASCONCELOS, P. E. S. de. **Habitação Sócia em São Luís do Maranhão: Um Estudo Sobre a Produção de Habitação dos Institutos de Previdência e do Banco Nacional da Habitação**. Monografia de Graduação em Arquitetura e Urbanismo. UEMA. São Luís, 2007.

VASCONCELOS, P. E. S. de; VENANCIO, M. W. de C.. **Os Institutos de Aposentadorias e Pensões e o Sistema Financeiro de Habitação do governo autoritário – peças chaves da história da habitação social em São Luís**. SHCU 1990. Vol 10. Nº 2, 2008. Disponível em: <http://unuhospedagem.com.br/revista/rbeur/index.php/shcu/article/view/1221> Acesso em: 10/05/2015.

VICENTE, L. E.; PEREZ FILHO, A.. **Abordagem sistêmica e Geografia**. Geografia. Vol. 28, n. 3: Rio Claro, 2003, p. 323-344.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A.. **Hidrologia Aplicada**. McGraw-Hill do Brasil; São Paulo, 1975.

WOLSKI, M. S. et al. **Contribuição à cartografia geotécnica de grandes áreas com o uso de sistemas de informações geográficas: uma aplicação à Região do Médio Uruguai (RS)**. In: Anais Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário: Florianópolis, 1998.

YOSHINAGA, S.; FERNANDES, A.J.; NOGUEIRA, S.A.A.; HASSUDA, S.; PIRES NETO, A.G.. **Subsídios ao planejamento territorial de Campinas: aplicação da abordagem de tipos de terrenos**. Revista Instituto Geológico. Volume especial: São Paulo, 1995, p.71-75.

XAVIER DA SILVA, J. . **O que é Geoprocessamento?**. Revista CREA RJ, Rio de Janeiro, p. 42 - 44, 30 out. 2009.

XAVIER DA SILVA, J.; TABACOW, J. W.. **Geoprocessamento aplicado à análise da fragmentação da paisagem na Ilha de Santa Caratina (SC)**. In: XAVIER DA SILVA, J.; ZAIDAN, R. T. (orgs.). **Geoprocessamento e Meio ambiente**. Bertrand Brasil; Rio de Janeiro, 2011.

ZAINE, J. E. **Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP)**. Tese (Doutorado em Geociência e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI N. **Cartografia geotécnica**. Oficina de texto; São Paulo, 2004.

ZUQUETTE, L.V. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio-físico: fundamentos e guia para elaboração**, 1993, v. 1, 256 f. Tese (Livro Docência), Escola de Engenharia de São Carlos/ USP, São Carlos, 1993.