

GEOLOGIA AMBIENTAL:

Tecnologias para o desenvolvimento sustentável - Vol. 1

Eduardo de Lara Cardozo
(Organizador)



Eduardo de Lara Cardozo
(Organizador)

**GEOLOGIA AMBIENTAL: TECNOLOGIAS PARA O
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

Atena Editora
2017

2017 by Eduardo de Lara Cardozo

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Edição de Arte e Capa: Geraldo Alves

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto (UFPEL)

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho (UnB)

Prof. Dr. Carlos Javier Mosquera Suárez (UDISTRITAL/Bogotá-Colombia)

Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior (UEPG)

Prof. Dr. Gilmei Francisco Fleck (UNIOESTE)

Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza (UEPA)

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa (FACCAMP)

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior (UFAL)

Profª Drª Adriana Regina Redivo (UNEMAT)

Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall'Acqua (UNIR)

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson (UTFPR)

Profª Drª Ivone Goulart Lopes (Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatric)

Profª Drª Lina Maria Gonçalves (UFT)

Profª Drª Vanessa Bordin Viera (IFAP)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

G345

Geologia ambiental: tecnologias para o desenvolvimento sustentável /
Organizador Eduardo de Lara Cardozo. – Ponta Grossa (PR):
Atena Editora, 2017.

297 p. : 57.346 kbytes – (Geologia Ambiental; v. 1)

Formato: PDF

ISBN 978-85-93243-39-4

DOI 10.22533/at.ed.3940809

Inclui bibliografia.

1. Desenvolvimento sustentável. 2. Geologia ambiental. 3. Meio ambiente. 3. Sustentabilidade. I. Cardozo, Eduardo de Lara. II. Título. III. Série.

CDD-363.70

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

2017

Proibida a reprodução parcial ou total desta obra sem autorização da Atena Editora

www.atenaeditora.com.br

E-mail: contato@atenaeditora.com.br

Apresentação

Notícias como deslizamentos de encostas, regiões alagadas e ocupações irregulares sempre vêm à tona. E quando ocorrem, normalmente trazem junto a esses fatos, prejuízos econômicos e infelizmente anúncios relacionados à perda de vidas.

Alguns exemplos desses processos são recentes, como o caso do deslizamento de uma encosta em Angra dos Reis em 2010, onde houveram vítimas fatais, outro caso que chamou muito a atenção foi o rompimento, em 2015, de uma barragem de rejeitos no município de Mariana (Minas Gerais), bem como alagamentos em várias regiões brasileiras, são frequentemente divulgadas. Questões ambientais que ocorrem naturalmente, porém com o processo de ocupação irregular e degradação pela ação humana, os resultados nem sempre são positivos.

Os artigos aqui apresentados vêm ao encontro de muitos fatos ocorridos e que normalmente atribuímos apenas a questões ambientais. Porém, sabemos que não é bem assim! O deslizamento é um fenômeno comum, principalmente em áreas de relevo acidentado, as enchentes acontecem logo em seguida às chuvas intensas e em grandes períodos. Situações que há milhares de anos vem se repetindo, porém com o processo de urbanização, a retirada da cobertura vegetal, a ocupação de áreas irregulares, a contaminação do solo, a degradação do ambiente, entre vários outros pontos, acaba sendo intensificada pela constante alteração e ocupação desse espaço geográfico.

No primeiro volume da obra **“Geologia Ambiental: tecnologias para o desenvolvimento sustentável”** são abordadas questões como: análise da suscetibilidade a deslizamentos, avaliação de cenários sob perigo geotécnico, ordenamento territorial, a importância de estudos específicos considerando as complexidades e diversidades dos diferentes contextos, análise do comportamento geomecânico dos maciços rochosos, caracterização química-mineralógica e da resistência ao cisalhamento, estudos de resistência do meio físico em busca de segurança de instalações e a utilização de software no dimensionamento geotécnico aplicado a fundações profundas.

Neste primeiro volume também são contemplados os seguintes temas: análise da evolução da boçoroca do Córrego do Grito em Rancharia-São Paulo, estudos de áreas suscetíveis a ocorrência de inundações, diagnóstico ambiental voltado à erosão hídrica superficial e cartografia geotécnica, erosão e movimento gravitacional de massa, melhoramento fluvial do rio Urussanga - SC objetivando a redução de impactos associados às chuvas intensas, desassoreamento do Rio Urussanga - SC e caracterização do sedimento, potencialidades dos recursos hídricos na Bacia do Córrego Guariroba -MS.

E fechando este primeiro volume, temos os temas ligados ao: uso de tecnologias alternativas para auxiliar no tratamento de águas residuais, gestão de esgotamento sanitário, estudos sobre a contaminação dos solos por gasolina e

descontaminação através de bioremediação, metodologias que determinam a vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação, mapeamento geoambiental como subsídio à seleção de áreas para implantação de centrais de tratamento de resíduos sólidos, são apresentados.

Diferentes temas, ligados a questões que estão presentes em nosso cotidiano. Desejo uma excelente leitura e que os artigos apresentados contribuam para o seu conhecimento.

Atenciosamente.

Eduardo de Lara Cardozo

SUMÁRIO

Apresentação.....03

CAPÍTULO I

ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS DA UNIDADE GEOMORFOLÓGICA SERRAS CRISTALINAS LITORÂNEAS NO MUNICÍPIO DE BLUMENAU/SC.

Maurício Pozzobon, Gustavo Ribas Curcio e Claudinei Taborda da Silveira.....08

CAPÍTULO II

AValiação DE CENÁRIOS SOB PERIGO GEOTÉCNICO: O CASO DA COMUNIDADE DO MORRO DA MARIQUINHA, FLORIANÓPOLIS-SC.

Gabriela Bessa, Daniel Galvão Veronez Parizoto, Rodrigo Del Olmo Sato, Nilo Rodrigo Júnior, Murilo da Silva Espíndola e Vítor Santini Müller.....30

CAPÍTULO III

AValiação DOS REMANESCENTES FLORESTAIS NA ELABORAÇÃO DE CARTAS GEOTÉCNICAS DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO O CASO DE SÃO BERNARDO DO CAMPO - SP

Raquel Alfieri Galera, Fernando Cerri Costa e Ricardo de Souza Moretti.....42

CAPÍTULO IV

Caracterização E CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA DE MACIÇOS ROCHOSOS COMPOSTOS PELAS PRINCIPAIS LITOLOGIAS DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE

Walter dos Reis Junior e Maria Giovana Parizzi.....57

CAPÍTULO V

Caracterização GEOTÉCNICA E MINERALÓGICA DE UMA ARGILA FORMADA SOB ATIVIDADE HIDROTÉRMAL

Marcelo Heidemann, Luiz Antônio Bressani, Juan Antonio Altamirano Flores, Matheus Porto, Breno Salgado Barra e Yader Alfonso Guerrero Pérez.....73

CAPÍTULO VI

PROPOSIÇÕES PARA UM CISALHAMENTO DIRETO DE CAMPO: ALTERNATIVA EM MAPEAMENTOS GEOTÉCNICOS.

Vitor Santini Müller, Nilo Rodrigues Júnior, Murilo da Silva Espíndola, Regiane Mara Sbroglia, Rafael Augusto dos Reis Higashi e Juan Antonio Altamirano Flores.....89

CAPÍTULO VII

USO DE MODELO GEOLÓGICO DIGITAL COMO FERRAMENTA DE ORIENTAÇÃO DE DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÃO

Carlos Magno Sossai Andrade, Patrício José Moreira Pires e Rômulo Castello Henrique Ribeiro.....102

CAPÍTULO VIII

ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DA BOÇOROCA DO CÓRREGO DO GRITO EM RANCHARIA-SP DE 1962 A 2014

Alyson Bueno Francisco.....118

CAPÍTULO IX

CARACTERIZAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM COMO SUBSÍDIO AO ESTUDO DA SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO NAS MICROBACIAS DO MÉDIO RIO GRANDE

Eduardo Goulart Collares, Ana Carina Zanollo Biazotti Collares, Jéssica Avelar Silva e Amanda Francieli de Almeida.....126

CAPÍTULO X

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL SUPERFICIAL DO MUNICÍPIO DE PACOTI NO ESTADO DO CEARÁ. EROSIVIDADE, ERODIBILIDADE E UNIDADES DE RELEVO PARA GEOTECNIA

Francisco Kleison Santiago Mota, Jean Marcell Pontes de Oliveira, Naedja Vasconcelos Pontes, César Ulisses Vieira Veríssimo e Sônia Maria Silva de Vasconcelos.....138

CAPÍTULO XI

MAPEAMENTO DE AMEAÇAS E DESASTRES NATURAIS NA ÁREA URBANA DE SANTARÉM - PA

Fábio Ferreira Dourado e Milena Marília Nogueira de Andrade.....160

CAPÍTULO XII

MELHORAMENTO FLUVIAL DO RIO URUSSANGA PERTENCENTE À BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO URUSSANGA, SUL DE SANTA CATARINA

Sérgio Luciano Galatto, Gustavo Simão, Jader Lima Pereira, Nadja Zim Alexandre e Vilson Paganini Belletini.....174

CAPÍTULO XIII

METODOLOGIA DE AMOSTRAGEM E CARACTERIZAÇÃO DO SEDIMENTO DO RIO URUSSANGA-SC PARA FINS DE DEPOSIÇÃO

Nadja Zim Alexandre, Carlyle Torres Bezerra de Menezes, Gustavo Simão, Jader Lima Pereira e Sérgio Luciano Galatto.....190

CAPÍTULO XIV

POTENCIALIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS NA BACIA DO CÓRREGO GUARIROBA, MUNICÍPIO DE CAMPO GRANDE-MS

Giancarlo Lastoria, Sandra Garcia Gabas, Guilherme Henrique Cavazzana, Juliana Casadei e Tamiris Azoia de Souza.....204

CAPÍTULO XV

ASPECTOS PRINCIPAIS SOBRE O USO DE TECNOLOGIAS ALTERNATIVAS PARA AUXILIAR NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO

Bruna Ricci Bicudo, Lígia Belieiro Malvezzi e Edilaine Regina Pereira.....214

CAPÍTULO XVI

AVALIAÇÃO DOS PROBLEMAS OPERACIONAIS PRESENTES EM ALGUMAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO NO CEARÁ

Thiago de Norões Albuquerque, Tícia Cavalcante de Souza e Wladya Maria Mendes de Oliveira.....225

CAPÍTULO XVII

COMPARATIVO DE BIORREMEDIAÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS POR GASOLINA

Diego Moreira da Silva, Marcela Penha Pereira Guimarães, Raphael Moreira Alves e Francisco Roberto Silva de Abreu.....239

CAPÍTULO XVIII

DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE NATURAL À CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO E SUPERFÍCIE POTENCIOMÉTRICA EM TAQUARUÇU DO SUL - RS

Gabriel D'Avila Fernandes, José Luiz Silvério da Silva, Willian Fernando de Borba, Lueni Gonçalves Terra, Carlos Alberto Löbler e Edivane Patrícia Ganzer.....251

CAPÍTULO XIX

MAPEAMENTO GEOAMBIENTAL COMO SUBSÍDIO À SELEÇÃO DE ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DE CENTRAIS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: APLICAÇÃO AO MUNICÍPIO DE SANTA CRUZ DA CONCEIÇÃO - SP

Hermes Dias Brito, Fábio Augusto Gomes Vieira Reis, Claudia Vanessa dos Santos Corrêa e Lucilia do Carmo Giordano.....263

Sobre o organizador.....286

Sobre os autores.....287

CAPÍTULO I

ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS DA UNIDADE GEOMORFOLÓGICA SERRAS CRISTALINAS LITORÂNEAS NO MUNICÍPIO DE BLUMENAU/SC

**Maurício Pozzobon
Gustavo Ribas Curcio**

ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS DA UNIDADE GEOMORFOLÓGICA SERRAS CRISTALINAS LITORÂNEAS NO MUNICÍPIO DE BLUMENAU/SC

Maurício Pozzobon.

Universidade Regional de Blumenau, Departamento de Ciências Naturais.
Blumenau, Santa Catarina.

Gustavo Ribas Curcio.

Centro Nacional de Pesquisas Florestais - Embrapa Florestas.
Colombo, Paraná.

Claudinei Taborda da Silveira.

Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geografia.
Curitiba, Paraná.

RESUMO: A análise da suscetibilidade a deslizamentos da área correspondente à unidade geomorfológica Serras Cristalinas Litorâneas no município de Blumenau, foi conduzida através da aplicação da técnica pesos de evidência. Foram analisadas as relações espaciais entre um conjunto de potenciais fatores condicionantes (geológicos, geomorfológicos e de uso e cobertura do solo) e 89 deslizamentos ocorridos no evento de 2008 na área de estudo. Seis diferentes combinações de integração dos valores ponderados de cada fator foram elaboradas no intuito de identificar àquela que resulta no melhor ajuste em relação à independência espacial entre os temas e às eficiências de classificação e predição. O modelo que integra os pesos dos temas distância de lineamentos, orientação das vertentes, curvatura horizontal e declividade (modelo 4) foi o que apresentou os melhores indicadores de eficiência de classificação e de predição, entre àqueles que atenderam os requisitos de independência. A partir destes modelos, é possível reconhecer que as situações de alta a muito alta suscetibilidade podem variar entre 7,5% (modelo 1) a 25% (modelo 4) da área deste compartimento, na escala 1:25.000.

PALAVRAS-CHAVE: análise da suscetibilidade; probabilidade condicional; compartimentação geomorfológica.

1. INTRODUÇÃO

A Lei Federal 12.608/2012 institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDC) e dá outras providências. Conforme sintetizado por CPRM/IPT (2014), constitui objetivo central da PNPDC a identificação e avaliação das ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades, de modo a evitar ou reduzir a ocorrência de desastres associados a processos naturais potencialmente perigosos, dentre os quais, os deslizamentos.

A Lei também determina a criação de um cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis a deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos.

A despeito da histórica recorrência de desastres associados a processos naturais (especialmente inundações graduais e bruscas), o evento pluviométrico extremo de novembro de 2008, figura como um novo paradigma no que se refere à gestão de riscos e desastres para o município de Blumenau e região. Esse evento revelou, de forma contundente, a existência de condições de elevada suscetibilidade natural, em virtude da manifestação generalizada de movimentos gravitacionais de massa e processos correlatos, incorrendo em sérios prejuízos humanos, ambientais e materiais (Aumond & Sevegnani 2009; Frank & Sevegnani 2009).

Conforme previsto pela PNPDC, o mapeamento de suscetibilidade constitui ferramenta essencial à prevenção de desastres. As outras ferramentas municipais apontadas na Lei, para as quais o mapeamento de áreas suscetíveis constitui subsídio fundamental, são: plano de contingência de proteção e defesa civil; plano de implantação de obras e serviços; mecanismos de controle e fiscalização; e carta geotécnica de aptidão à urbanização. Em particular, a Lei especifica que os mecanismos de controle e fiscalização se destinam a evitar a edificação em áreas suscetíveis, o que pressupõe conhecer previamente a localização dessas áreas (CPRM/IPT 2014).

A análise de suscetibilidade permite a identificação da potencialidade de ocorrência do fenômeno, e pode ser conduzida por modelos empíricos (análise da distribuição dos movimentos de massa e de mapeamentos geológico-geotécnicos), ou através da aplicação de modelos matemáticos (determinísticos ou probabilísticos) (Montgomery & Dietrich 1994, Soares et al. 2002, Araújo 2004, Pereira et al. 2012, Macedo & Bressani 2013).

A abordagem probabilística permite delimitar unidades do meio conforme o grau de suscetibilidade, utilizando um modelo de evento e um conjunto de variáveis espaciais georreferenciadas (Soares et al. 2002). Assumindo a ideia de que os deslizamentos resultam da combinação de condições favoráveis, pode-se presumir a existência de relações funcionais entre a distribuição dos mesmos e dos respectivos fatores condicionantes, tornando possível calcular a probabilidade de sua ocorrência e gerar cartas com distribuição de valores, organizadas em classes de suscetibilidade.

No presente estudo foi empregada a técnica de modelagem espacial pesos de evidência (Bonham-Carter 1994), pautada nos princípios da regra de Bayes da probabilidade condicional, com o objetivo de identificar condicionantes ambientais regentes da distribuição espacial dos deslizamentos, propor e testar modelos de suscetibilidade para a área correspondente a unidade geomorfológica “Serras Cristalinas Litorâneas” no município de Blumenau/SC, na escala 1:25.000.

2. ÁREA DE ESTUDO

A área do município de Blumenau/SC foi segregada segundo a abrangência das unidades geomorfológicas representadas em seu território, quais sejam,

“Serras do Baixo e Médio Itajaí-Açu” e “Serras Cristalinas Litorâneas”. Esta última compreende o recorte que é objeto do presente estudo, com área de 298,7 km² (Figura 1).

Essa unidade encerra formas resultantes de modelado de dissecação, em decorrência de processos erosivos vinculados às dinâmicas pluvial e fluvial, onde predominam formas de relevo do tipo colinoso, outeiro e montanhoso, e fases entre plano a montanhoso, com predominância de vales em “V” aberto, drenagem dendrítica, controle estruturo-escultural e dissecação fluvial média a baixa (IBGE 2002b).

Considerando a distribuição dos condicionantes de natureza litoestrutural, a área de estudo está inserida no contexto do domínio morfoestrutural do Cráton Luis Alves, onde predominam os gnaisses do Complexo Granulítico de Santa Catarina. Os depósitos aluvionares preenchem as planícies e os respectivos leitos fluviais da área de estudo, apresentando sedimentação detrítica predominantemente psamo-pelítica (IBGE, 2009; Basei et al. 2011; Iglesias et al. 2011).

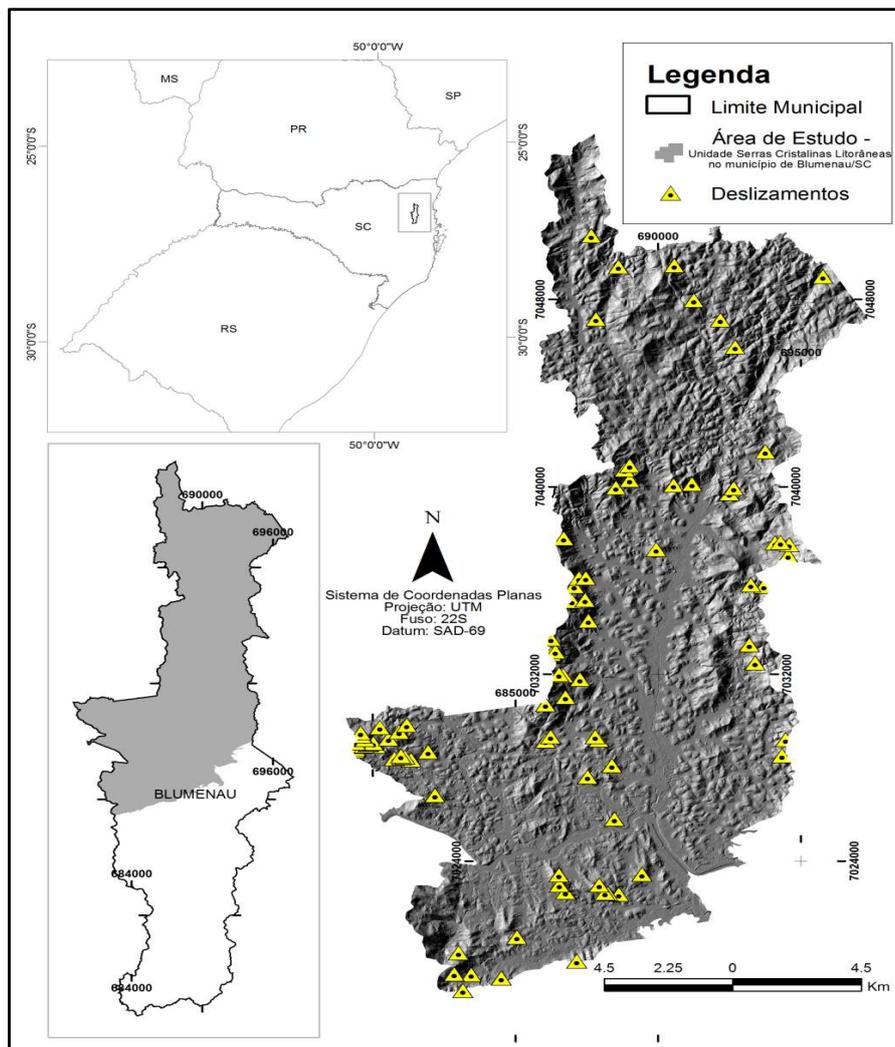


Figura 1 – Localização geral do município de Blumenau/SC, da área de estudo e a distribuição dos deslizamentos utilizados como pontos de treinamento. Relevo representado pelo modelo de elevação sombreado.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Obtenção e preparo dos dados

A delimitação da área de estudo, através da compartimentação geomorfológica, foi realizada considerando os limites entre as unidades do Complexo Granulítico de Santa Catarina (C.G.SC) e as unidades do Grupo Itajaí, resultante de dados de campo obtidos através de mapeamentos realizados pela Diretoria de Geologia, Análise e Riscos Naturais da prefeitura de Blumenau, na escala 1:25.000 (BLUMENAU, não publicado).

As etapas envolvidas para a análise de suscetibilidade através da aplicação da técnica pesos de evidência podem ser sintetizadas da seguinte maneira: i) preparação dos mapas temáticos das evidências potencialmente úteis para a predição dos locais favoráveis a ocorrência de deslizamentos com dinâmica translacional; ii) seleção e definição dos pontos de treinamento obtidos através do inventário das cicatrizes de deslizamentos; iii) determinação da probabilidade a priori; iv) determinação dos ponderadores bayesianos (W+ e W-) de cada tema/evidência, tendo em vista as relações de frequências observadas entre a evidência e a cicatriz do deslizamento, fase esta também denominada como estimativa de favorabilidade; v) reclassificação binária, maximizando a associação espacial mediante a seleção das classes favoráveis através do cálculo do contraste (C) e do valor de confiança (Studentized Contrast – S(C)); vi) integração dos mapas binários e determinação da probabilidade a posteriori; vii) aplicação de testes estatísticos para avaliar a condição de independência dos planos de informação entre si, e identificação do melhor esquema de combinação entre os temas selecionados; viii) realização dos testes de validação dos modelos preditivos gerados, através da análise de eficiência de classificação; ix) seleção e definição do melhor modelo e elaboração da carta de suscetibilidade.

Foram utilizados sete temas de evidências conforme a disponibilidade dos dados que pudessem ser aplicados na escala de referência adotada. Os temas selecionados representam potenciais indicadores de favorabilidade para a composição de modelos de suscetibilidade a deslizamentos, quais sejam, unidades geológicas, faixas de distância de lineamentos morfoestruturais, de orientação de vertentes, curvaturas horizontal e vertical, declividade e índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). A relação dos temas de evidências utilizados para a análise de favorabilidade e as respectivas fontes de dados e escalas de referência, encontra-se disposta no Quadro 1.

Quadro 1 – Relação dos temas de evidências utilizados para análise de favorabilidade e composição de modelos de suscetibilidade a deslizamentos da área de estudo.

Nº	Tema de Evidência	Fonte	Escala de Mapeamento	Resolução Espacial
1	Unidades geológicas	A partir da compilação de: Iglesias et al. (2011)	1:250.000	-----

		Perdoncini et al. (não publicado)	1:25.000	-----
2	Distância de lineamentos morfoestruturais	Interpretação do Modelo Digital do Terreno (MDT)	1:25.000	5 m
3	Orientação de vertente	Extraído a partir do MDT	1:10.000	5 m
4	Curvatura horizontal	Extraído a partir do MDT	1:10.000	5 m
5	Curvatura vertical	Extraído a partir do MDT	1:10.000	5 m
6	Declividade	Extraído a partir do MDT	1:10.000	5 m
7	Índice de vegetação por diferença normalizada - NDVI	Imagens TM Landsat 5@ (2006)	-----	30 m com reclassificação para 5 m

3.2. Análise dos dados

No presente trabalho foi utilizada a técnica de modelagem espacial pesos de evidência (*WofE - Weights of Evidence*) (Bonham-Carter 1994).

A definição do tamanho da unidade de área para a análise de favorabilidade obedeceu a resolução espacial derivada da base planialtimétrica utilizada, ou seja, 0,000025 km² (25 m²) e, como função da abordagem adotada de representação das zonas de depleção através do ponto centróide (89 pontos de treinamento) e do tamanho da área de estudo (11.947.687 unidades), o valor obtido para a probabilidade *a priori* foi de 0,000007.

Os procedimentos de cálculo dos ponderadores (W^+ e W^-) foram aplicados, aos dados geológicos (unidades geológicas e distância de lineamentos negativos), geomorfológicos (orientação de vertentes, curvatura horizontal e vertical e declividade) e de cobertura do solo (NDVI). O tema distância de lineamentos foi analisado através do método cumulativo ascendente, enquanto que os demais temas foram através do método categórico.

Com vistas à simplificação da análise, a área correspondente aos terraços e planícies elaboradas pelos depósitos aluvionares inconsolidados oriundos da deposição fluvial, não foi tratada isoladamente e, portanto, incluída no somatório da área dos dois compartimentos delimitados. Ainda, em razão da natureza qualitativa discreta dos dados relativos às unidades geológicas, os mesmos foram considerados apenas na etapa da análise de favorabilidade, não sendo utilizados para a composição dos esquemas de integração dos pesos.

A partir da análise de favorabilidade, foram gerados seis modelos, que compreendem diferentes combinações entre os temas de evidência, com vistas à determinação da probabilidade *a posteriori*, e identificação do resultado que melhor atende aos requisitos de independência dos dados e com o melhor ajuste quanto à eficiência de classificação e de predição.

A independência condicional entre os temas de evidência de cada

compartimento foi avaliada através do emprego de dois testes de análise global, a saber, o teste da Razão de Independência Condicional (CIR – *Conditional Independence Ratio*) (Bonham-Carter 1994) e o teste de Agterberg & Cheng (2002) (ACCIT – *Agterberg & Cheng Conditional Independence Test*). O teste da hipótese de independência foi conduzido adotando-se um intervalo de confiança de 98% de probabilidade ($z = 2,33$). Assim, o maior valor do indicador “ACCIT” foi utilizado como critério de escolha do modelo que melhor atende aos requisitos de independência.

A avaliação da qualidade de ajuste dos modelos com relação à eficiência de classificação, considerando os pontos de treinamento, e à eficiência de predição, considerando toda a área das zonas de depleção, foi conduzida através da análise da curva da taxa de sucesso (SRC – *Success Rate Curve*), utilizando como referência o valor da área sob a curva (AUC – *Area Under Curve*) para aferir o ajuste do modelo. Os valores de AUC foram calculados conforme sugerido por Sawatzky et al. (2007).

Os modelos que atenderam os requisitos de independência condicional e apresentaram razoáveis indicadores de eficiência de classificação e predição, foram reclassificados, resultando em quatro classes que representam diferentes níveis de suscetibilidade a deslizamentos, quais sejam, baixa, média, alta e muito alta suscetibilidade. O limite estabelecido para a definição da classe média suscetibilidade foi o valor da probabilidade *a priori*, e para o das demais classes, através de avaliação visual, foram considerados os pontos significativos de inflexão na curva de distribuição dos valores de probabilidade *a posteriori* (CAPP Curve) em relação à proporção da área acumulada, conforme sugerido por Sawatzky et al. (2007).

O aplicativo *Arc-Spatial Data Modeller* (ArcSDM), versão 4 (Sawatzky et al. 2007), que opera como extensão livre na plataforma ArcGIS 9.2 (ESRI®), foi utilizado para realizar todas as etapas do processo de análise espacial.

Maior detalhamento dos procedimentos metodológicos adotados nas diferentes etapas envolvidas na análise reportada no presente trabalho pode ser acessado em Pozzobon (2013).

4. RESULTADOS

Entre as cinco unidades geológicas representadas, somente os Gnaisses Granulíticos Luis Alves atenderam os requisitos de favorabilidade ($C/s(C) = 4,27$), onde se manifestaram 92% dos deslizamentos utilizados como referência (Tabela 1).

Tabela 1 – Resultado da análise de favorabilidade a deslizamentos translacionais das unidades geológicas da área de estudo.

CLASSES	ÁREA (Km ²)	%	PONTOS DE TREINAMENTO		W ⁺	s(W ⁺)	W ⁻	s(W ⁻)	C	s(C)	C/s(C)
			%								
Complexo Granulítico: Gnaisses Luis Alves	204,88	68,59	82	92,13	0,30	0,11	-1,38	0,38	1,68	0,39	4,27
Complexo Granulítico: Ortognaisse Pomerode	41,20	13,79	6	6,74	-0,72	0,41	0,08	0,11	-0,79	0,42	-1,88
Complexo Granulítico: Unidade Máfica-Ultramáfica Barra Velha	3,34	1,12	1	1,12	0,01	1,00	0,00	0,11	0,01	1,01	0,01
Aluvião	46,18	15,46	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rio Itajaí-açu	3,07	1,03	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Diques básicos	0,05	0,02	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Onde: W⁺ = razão de suficiência ajustada ao logaritmo natural (peso positivo); s(W⁺) = desvio padrão do peso positivo; W⁻ = razão de necessidade ajustada ao logaritmo natural (peso negativo); s(W⁻) = desvio padrão do peso negativo; C = contraste; s(C) = desvio padrão do contraste e; C/s(C) = valor de confiança.

Os resultados da análise de favorabilidade a deslizamentos das faixas de distância de lineamentos morfoestruturais indicam que, na área de estudo, a influência exercida por lineamentos morfoestruturais manifesta-se até a distância de 200 m, onde foram registrados 57% dos deslizamentos (Tabela 2).

Tabela 2 – Resultado da análise de favorabilidade a deslizamentos translacionais das faixas de distância de lineamentos morfoestruturais na área de estudo.

CLASSES	ÁREA (Km ²)	%	PONTOS DE TREINAMENTO		W ⁺	s(W ⁺)	W ⁻	s(W ⁻)	C	s(C)	C/s(C)
			%								
0 a 50 m	35,31	11,82	10	11,24	0,05	0,32	0,01	0,11	-0,06	0,34	-0,17
50 a 100 m	70,41	23,57	21	23,60	0,00	0,22	0,00	0,12	0,00	0,25	0,01
100 a 150 m	104,13	34,86	37	41,57	0,18	0,16	0,11	0,14	0,28	0,22	1,32
150 a 200 m	135,81	45,47	51	57,30	0,23	0,14	-0,2	0,16	0,48	0,21	2,22

200 250 m	a	164,5 0	55,0 7	56	62,9 2	0,1 3	0,1 3	4 - 0,1 9	0,17	0,33	0,22	1,48
250 300 m	a	189,5 6	63,4 6	66	74,1 6	0,1 6	0,1 2	- 0,3 5	0,21	0,50	0,24	2,07
300 350 m	a	210,8 5	70,5 9	72	80,9 0	0,1 4	0,1 2	- 0,4 3	0,24	0,57	0,27	2,11
350 400 m	a	228,8 7	76,6 2	77	86,5 2	0,1 2	0,1 1	- 0,5 5	0,29	0,67	0,31	2,16
400 450 m	a	243,9 6	81,6 7	80	89,8 9	0,1 0	0,1 1	- 0,5 9	0,33	0,69	0,35	1,96
450 900 m	a	295,8 6	99,0 5	89	100, 00	0,0 1	0,1 1	- 4,4 3	10,0 0	4,44	10,0 0	0,44
900 1350 m	a	298,6 8	99,9 9	89	100, 00	0,0 0	0,1 1	0,7 7	10,0 0	-0,77	10,0 0	-0,08
> 1350 m		298,6 9	100, 00	89	100, 00	0,0 0	0,1 1	11, 81	14,1 4	- 11,8 1	14,1 4	-0,83

Onde: W^+ = razão de suficiência ajustada ao logaritmo natural (peso positivo); $s(W^+)$ = desvio padrão do peso positivo; W^- = razão de necessidade ajustada ao logaritmo natural (peso negativo); $s(W^-)$ = desvio padrão do peso negativo; C = contraste; $s(C)$ = desvio padrão do contraste e; $C/s(C)$ = valor de confiança.

Com relação às classes de orientação das encostas, depreende-se que as vertentes voltadas para o quadrante Sul apresentam-se como favoráveis na área de estudo ($C/s(C) = 3,46$, com 11% dos casos de deslizamento) (Tabela 3).

Tabela 3 – Resultado da análise de favorabilidade a deslizamentos translacionais das classes de orientação das encostas da área de estudo.

CLASSE S	ÁREA (Km ²)	%	PONTOS DE TREINAMENTO	%	W^+	$s(W^+)$	W^-	$s(W^-)$	C	$s(C)$	$C/s(C)$
Plano	19,08	6,3 9	0	0,0 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0 0	0,0 0	0,00
Norte	67,59	22, 63	15	16, 85	-0,29	0,26	0,07	0,12	0,3 7	0,2 8	-1,29
Leste	77,56	25, 96	26	29, 22	0,12	0,20	-0,04	0,13	0,1 6	0,2 3	0,70
Sul	64,54	21, 61	33	37, 08	0,54	0,17	-0,22	0,13	0,7 6	0,2 2	3,46
Oeste	69,94	23, 41	15	16, 85	-0,33	0,26	0,08	0,12	- 0,4 1	0,2 8	-1,45

Onde: W^+ = razão de suficiência ajustada ao logaritmo natural (peso positivo); $s(W^+)$ = desvio padrão

do peso positivo; W = razão de necessidade ajustada ao logaritmo natural (peso negativo); $s(W)$ = desvio padrão do peso negativo; C = contraste; $s(C)$ = desvio padrão do contraste e; $C/s(C)$ = valor de confiança.

As encostas lateralmente convergentes ($C/s(C) = 1,17$, com 39% dos casos) e longitudinalmente convexas ($C/s(C) = 2,22$, com 54% dos casos), respectivamente para os dados de curvatura horizontal (Tabela 4) e vertical (Tabela 5), foram as que apresentaram maior favorabilidade.

Tabela 4 – Resultado da análise de favorabilidade a deslizamentos translacionais das classes de curvatura horizontal das encostas da área de estudo.

CLASSES	ÁREA (Km ²)	%	PONTOS DE TREINAMENTO		W^+	$s(W^+)$	W^-	$s(W^-)$	C	$s(C)$	$C/s(C)$
			O	%							
Convergente	99,94	33,46	35	39,33	0,16	0,17	-	0,14	0,25	0,22	1,17
Retilínea	60,05	20,10	11	12,36	-	0,30	0,09	0,11	-	0,32	-1,80
Divergente	138,71	46,44	43	48,31	0,04	0,15	-	0,15	0,08	0,21	0,35

Onde: W^+ = razão de suficiência ajustada ao logaritmo natural (peso positivo); $s(W^+)$ = desvio padrão do peso positivo; W^- = razão de necessidade ajustada ao logaritmo natural (peso negativo); $s(W^-)$ = desvio padrão do peso negativo; C = contraste; $s(C)$ = desvio padrão do contraste e; $C/s(C)$ = valor de confiança.

Tabela 5 – Resultado da análise de favorabilidade a deslizamentos translacionais das classes de curvatura vertical das encostas da área de estudo.

CLASSES	ÁREA (Km ²)	%	PONTOS DE TREINAMENTO		W^+	$s(W^+)$	W^-	$s(W^-)$	C	$s(C)$	$C/s(C)$
			O	%							
Convexa	126,01	42,19	48	53,93	0,25	0,14	-	0,16	0,47	0,21	2,22
Retilínea	51,43	17,22	4	4,49	-	0,50	0,14	0,11	-	0,51	-2,90
Côncava	121,25	40,59	37	41,57	0,02	0,16	-	0,14	0,04	0,22	0,19

Onde: W^+ = razão de suficiência ajustada ao logaritmo natural (peso positivo); $s(W^+)$ = desvio padrão do peso positivo; W^- = razão de necessidade ajustada ao logaritmo natural (peso negativo); $s(W^-)$ = desvio padrão do peso negativo; C = contraste; $s(C)$ = desvio padrão do contraste e; $C/s(C)$ = valor de confiança.

Na área de estudo, foram registrados deslizamentos entre 15 e 75° de inclinação. Contudo, a faixa que varia entre 20 e 75° (com 91% dos casos) foi que atendeu os pressupostos de favorabilidade (Tabela 6).

Tabela 6 – Resultado da análise de favorabilidade a deslizamentos translacionais das classes de declividade das encostas de cada compartimento geomorfológico delimitado no município de Blumenau (SC), Brasil.

CLASSES	ÁREA (Km ²)	%	PONTOS DE TREINAMENTO		W ⁺	s(W ⁺)	W ⁻	s(W ⁻)	C	s(C)	C/s(C)	
				%								
0 a 5°	70,05	23,45	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
5 a 10°	40,68	13,62	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
10 a 15°	46,21	15,47	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
15 a 20°	49,23	16,48	8	8,99	-	0,35	0,09	0,11	-	0,69	0,37	-1,87
20 a 25°	42,27	14,15	22	24,72	0,56	0,21	-	0,13	0,12	0,69	0,25	2,80
25 a 30°	27,73	9,28	20	22,47	0,88	0,22	-	0,16	0,12	1,04	0,25	4,10
30 a 35°	13,92	4,66	20	22,47	1,57	0,22	-	0,21	0,12	1,78	0,25	7,01
35 a 40°	5,69	1,90	13	14,61	2,04	0,28	-	0,14	0,11	2,18	0,30	7,25
40 a 45°	2,00	0,67	3	3,37	1,61	0,58	-	0,03	0,11	1,64	0,59	2,80
45 a 75°	0,90	0,30	3	3,37	2,41	0,58	-	0,03	0,11	2,44	0,59	4,16
≥75°	0,01	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Onde: W⁺ = razão de suficiência ajustada ao logaritmo natural (peso positivo); s(W⁺) = desvio padrão do peso positivo; W⁻ = razão de necessidade ajustada ao logaritmo natural (peso negativo); s(W⁻) = desvio padrão do peso negativo; C = contraste; s(C) = desvio padrão do contraste e; C/s(C) = valor de confiança.

Tabela 7 – Resultado da análise de favorabilidade a deslizamentos translacionais das classes do NDVI de cada compartimento geomorfológico delimitado no município de Blumenau (SC), Brasil.

CLASSES	ÁREA (Km ²)	%	PONTOS DE TREINAMENTO		W ⁺	s(W ⁺)	W ⁻	s(W ⁻)	C	s(C)	C/s(C)		
				%									
-0,60 a 0,10	23,87	7,97	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
0,10 a 0,15	9,14	3,06	1	1,12	-	1,00	0,02	0,11	-	1,02	1,01	-1,02	
0,15 a 0,20	10,00	3,35	1	1,12	-	1,09	0,02	0,11	-	1,11	1,01	-1,11	
0,20 a 0,25	10,68	3,58	1	1,12	-	1,16	0,03	0,11	-	1,18	1,01	-1,18	
0,25 a 0,30	11,99	4,02	2	2,25	-	0,71	0,02	0,11	-	0,60	0,72	-0,84	
0,30 a 0,35	14,18	4,75	3	3,37	-	0,34	0,58	0,01	0,11	-	0,36	0,59	-0,61

0,35 a 0,40	20,30	6,80	1	1,12	- 1,80	1,00	0,06	0,11	- 1,86	1,0 1	-1,85
0,40 a 0,45	25,27	8,46	6	6,74	- 0,23	0,41	0,02	0,11	- 0,25	0,4 2	-0,58
0,45 a 0,50	39,43	13,20	9	10,11	- 0,27	0,33	0,04	0,11	- 0,30	0,3 5	-0,86
0,50 a 0,55	48,91	16,37	19	21,35	0,27	0,23	- 0,06	0,12	0,33	0,2 6	1,26
0,55 a 0,60	59,72	19,99	28	31,46	0,45	0,19	- 0,15	0,13	0,61	0,2 3	2,66
0,60 a 0,65	24,11	8,07	18	20,22	0,92	0,24	- 0,14	0,12	1,06	0,2 6	4,02
0,65 a 0,70	1,09	0,36	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0 0	0,00
0,70 a 0,75	0,01	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0 0	0,00

Onde: W^+ = razão de suficiência ajustada ao logaritmo natural (peso positivo); $s(W^+)$ = desvio padrão do peso positivo; W^- = razão de necessidade ajustada ao logaritmo natural (peso negativo); $s(W^-)$ = desvio padrão do peso negativo; C = contraste; $s(C)$ = desvio padrão do contraste e; $C/s(C)$ = valor de confiança.

Para o tema NDVI, a faixa de valores entre 0,50 e 0,65 foi a que atendeu os requisitos de favorabilidade, onde foram registrados 73% dos casos de deslizamentos utilizados como referência (Tabela 7).

Dos modelos gerados, quatro atenderam aos requisitos de independência (Tabela 8), conquanto, entre eles, o modelo 1, que integra os dados dos temas curvatura horizontal e declividade foi o que apresentou o maior valor para o indicador ACCIT (14,61).

O modelo 4, que integra os dados dos temas distância de lineamentos morfoestruturais, orientação de vertentes, curvatura horizontal e declividade foi o que apresentou o menor valor para o indicador ACCIT (5,21) (Tabela 8).

Tabela 8 – Relação dos esquemas de integração dos diferentes temas de evidência e resultados da análise global de independência espacial, dos modelos de suscetibilidade da unidade geomorfológica Serras Cristalinas Litorâneas no município de Blumenau (SC), Brasil.

Nº	MODELOS	T	(T-n)	s(T)	ACCIT	CIR
1	4 + 6	94.80	5.80	8.76	14.61	0.94
2	2 + 4 + 6	94.40	5.40	8.40	14.17	0.94
3	5 + 6	100.20	11.20	9.51	10.96	0.89
4	2 + 3 + 4 + 6	96.40	7.40	5.41	5.21	0.92
5	2 + 4 + 6 + 7	114.00	25.00	6.14	-10.69	0.78
6	3 + 4 + 6 + 7	118.60	29.60	4.31	-19.56	0.75

2 – Distância de Lineamentos; 3 – Orientação de vertente; 4 – Curvatura horizontal; 5 – Curvatura vertical; 6 – Declividade e; 7 – NDVI; T – Somatório dos valores de probabilidade a posteriori; n – Número de pontos de treinamento; s(T) – Desvio padrão de T; ACCIT – Valor do teste Aterberg & Cheng de independência condicional; CIR – Razão de independência condicional.

Com relação à validação dos modelos, os resultados obtidos através das análises de eficiência de classificação e de predição demonstram respostas diferenciadas entre os modelos (Tabela 9).

Tabela 9 - Indicadores de eficiência de classificação e predição dos modelos de suscetibilidade a deslizamentos que atenderam os requisitos de independência espacial da unidade geomorfológica Serras Cristalinas Litorâneas no município de Blumenau (SC), Brasil.

MODELOS	TEMAS COMBINADOS	AUC ¹	% ¹	AUC ²	% ²
1	4 + 6	0.86	91	0.80	83
2	2 + 4 + 6	0.86	90	0.81	85
3	5 + 6	0.86	89	0.80	82
4	2 + 3 + 4 + 6	0.87	92	0.83	85

2 - Distância de Lineamentos; 3 - Orientação de vertente; 4 - Curvatura horizontal; 5 - Curvatura vertical; 6 - Declividade; AUC¹ - Valor da área sob a curva considerando os pontos de treinamento; %¹ - Frequência relativa dos pontos de treinamento classificados corretamente; AUC² - Valor da área sob a curva considerando a área total das zonas de depleção; %² - Proporção da área total das zonas de depleção classificada corretamente.

Dentre eles, o modelo 4 foi o que apresentou o melhor ajuste. Embora tenha apresentado o menor valor positivo de ACCIT, este modelo apresentou uma eficiência de classificação que resulta em um valor da área sob a curva (AUC¹) da ordem de 0,87, combinado com uma eficiência de predição (AUC²) de 0,83. Os demais modelos apresentaram valores próximos, tanto com relação à eficiência de classificação (0,86), quanto à de predição (entre 0,80 e 0,81). O modelo 4 foi também o que apresentou a maior proporção de pontos de treinamento (92%) e da área das zonas de depleção (85%) classificados corretamente, atestando seu razoável ajuste final.

Esse modelo resulta da combinação de pesos calculados de fatores predisponentes frequentemente associados à ocorrência de cicatrizes de deslizamento em literatura técnico-científica (CPRM/IPT 2014), quais sejam, distância de lineamentos morfoestruturais, orientação das encostas, curvatura horizontal e declividade. A combinação entre esses fatores pode refletir a ação combinada de aspectos geológicos, geomorfológicos e hidrológico-pedológico, influenciando a distribuição das cicatrizes de deslizamento (Stabile et al. 2013; CPRM/IPT 2014).

A importância da disposição das feições do relevo associadas aos lineamentos morfoestruturais (correlatos a fraturas, juntas, zonas de falhas e outras descontinuidades) traduz-se na influência destes exercida sobre o modelamento (Soares & Fiori 1975). A favorabilidade observada (dentro da faixa de distância de até 200 m) pode estar refletindo, de maneira geral, a influência de estruturas geológicas, condicionando o surgimento de descontinuidades mecânicas e hidráulicas, conferindo maior predisposição à instabilizações (Frasca & Sartori 1998, Magalhães & Cella 1998). A orientação das vertentes mantém relação direta com a exposição à insolação, influenciando nas taxas de evapotranspiração e no teor de água do solo (Soares et al. 2002, Geroy et al. 2011). Neste sentido, é possível presumir que as encostas situadas nas faces de menor insolação

apresentem maiores teores de umidade antecedente do solo, influenciando na quantidade de água que poderá infiltrar e ser estocada até o solo atingir a condição limite de estabilidade (Baum & Godt 2010, Hawke & McConchie 2011). A favorabilidade de vertentes voltadas para o quadrante sul pode refletir os efeitos decorrentes de menor exposição à insolação sobre a estabilidade das encostas na área de estudo. A concentração de fluxo hídrico orientada pela forma lateralmente côncava predispõe a formação de zonas com diferentes intensidades de saturação hídrica, muitas vezes traduzindo-se nos locais de maior sujeição à redução da coesão aparente ou às condições de poro-pressões positivas críticas, especialmente nos eventos de intensa precipitação pluviométrica (Montgomery & Dietrich 1994, Fernandes et al. 2004, Vieira & Fernandes 2004, Fiori & Carmignani 2009). A influência da declividade está vinculada com a magnitude das forças gravitacionais atuantes, e que se expressa através do peso por unidade de área dos materiais que constituem as vertentes (Holtz & Kovacz 1981).

Para definição das classes de suscetibilidade (muito alta, média e baixa) foram elaboradas e interpretadas as curvas de distribuição dos valores de probabilidade *a posteriori* (CAPP Curve) em relação à proporção da área acumulada, conforme sugerido por Sawatzky et al. (2007). Trata-se de uma classificação relativa aplicada somente dentro da área de estudo, segundo sua suscetibilidade (probabilidade *a posteriori*). Por princípio, busca-se incluir o maior número de deslizamentos nas classes mais altas, em uma área mínima (Macedo & Bressani 2013).

Assim, foi possível identificar os limites para o estabelecimento das classes de suscetibilidade de cada um dos modelos selecionados e definidas as quatro classes, sendo elas, baixa, média, alta e muito alta. A distribuição espacial da suscetibilidade a deslizamentos resultante da combinação dos temas distância de lineamentos, orientação de vertente, curvatura horizontal e declividade (modelo 4) encontra-se representada na Figura 2.

Através da metodologia adotada e dos modelos selecionados, foi possível identificar que a probabilidade *a posteriori* variou entre 14 a 26 vezes o valor da probabilidade *a priori*. Entre os quatro modelos selecionados, as situações de alta e muito alta suscetibilidade variaram entre 7,5% (Modelo 1) a 25% (Modelo 4) da área da área de abrangência da unidade geomorfológica “Serras Cristalinas Litorâneas” no município de Blumenau, na escala 1:25.000.

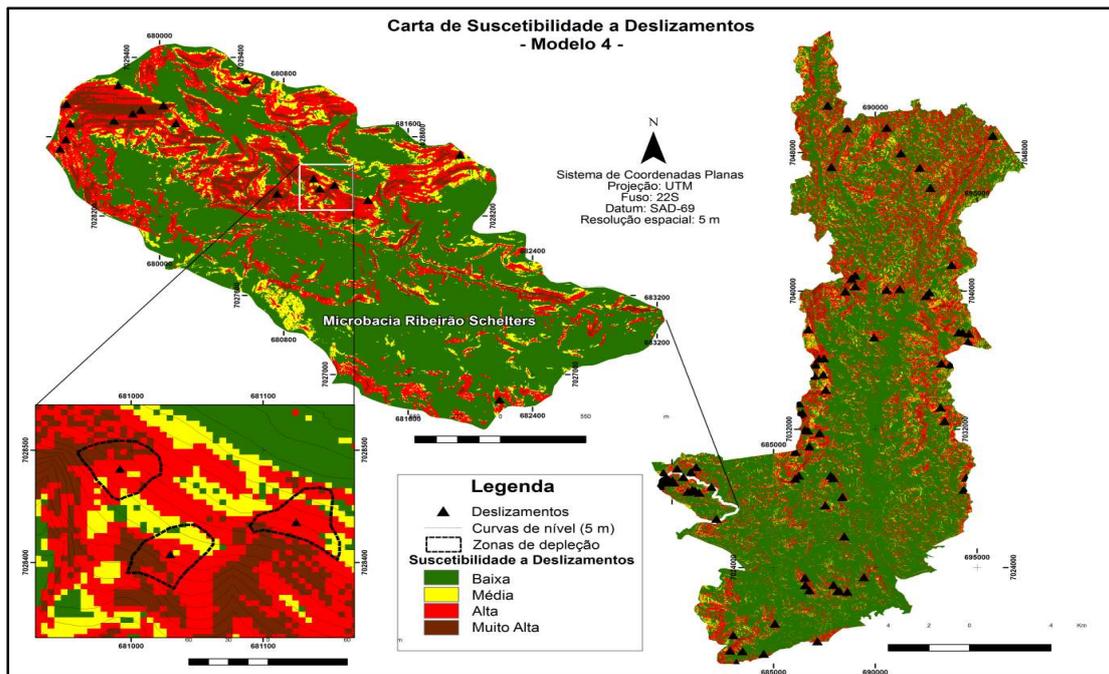


Figura 2 – Carta de suscetibilidade a deslizamentos (modelo 4) da unidade geomorfológica Serras Cristalinas Litorâneas no município de Blumenau/SC. Articulação de recortes da área para ilustrar o resultado através de detalhamento progressivo da escala de representação.

5. CONCLUSÕES

Na área de abrangência da unidade geomorfológica Serras Cristalinas Litorâneas, no município de Blumenau/SC, quatro modelos de suscetibilidade atenderam os pressupostos de independência espacial, concorrendo com sutis diferenças quanto à eficiência de classificação e de predição. Contudo, o modelo que integra os valores das classes dos fatores distância de lineamentos morfoestruturais, orientação das vertentes, curvatura horizontal e declividade, compreende àquele que apresentou o melhor ajuste final.

A partir dos modelos selecionados, é possível identificar que as situações de alta e muito alta suscetibilidade variam entre 7,5% a 25% da área de estudo, detidamente às zonas potenciais de geração de deslizamentos.

A classificação relativa dos modelos gerados (muito alta, alta, média e baixa), aplicável somente dentro da área de estudo, indica os locais onde a propensão é maior ou menor para a geração de deslizamentos, não indicando a trajetória e o raio de alcance dos materiais mobilizáveis.

Aspectos positivos e negativos podem ser relacionados à aplicação da técnica pesos de evidência para a previsão de áreas suscetíveis a deslizamentos. Entre os aspectos positivos, convém destacar que: i) trata-se de um método que permite a determinação objetiva das relações espaciais entre os fatores condicionantes e os eventos conhecidos; ii) evita a subjetividade na escolha dos fatores condicionantes; iii) os pesos de múltiplos fatores podem ser combinados; iv) possibilita evitar a combinação de dados de fatores que apresentam alta

correlação espacial; v) por se tratar de um método baseado nos dados, os resultados podem ser aprimorados a partir de novas observações e da aquisição de novos dados, desde que disponíveis e que apresentem significância na escala de referência. No tocante aos aspectos negativos da utilização da técnica pesos de evidência, destaca-se que: i) os pesos das classes dos fatores podem ser subestimados ou superestimados se a área de abrangência delas for muito pequena e se os deslizamentos não apresentarem uma distribuição uniforme na área de estudo; iii) exige a independência condicional entre os dados dos diferentes fatores utilizados na composição dos modelos, limitando o número possível de combinações; iv) os pesos obtidos para diferentes áreas não podem ser comparados entre si e; v) o método somente é aplicável em áreas onde os eventos são conhecidos.

A despeito das limitações inerentes à aplicação da técnica pesos de evidência, os resultados obtidos fornecem medidas adequadas e válidas (segundo o modelo de evento adotado e as condições modeladas) para a previsão de áreas suscetíveis a deslizamentos no domínio da unidade geomorfológica Serras Cristalinas Litorâneas no município de Blumenau/SC na escala de 1:25.000, uma vez que integram dados compatíveis com a escala de referência adotada e atestam os indicadores de validação. Conforme proposto em Macedo & Bressani (2013), considera-se ainda que o zoneamento apresentado atende os requisitos para enquadramento em nível básico e, em função da escala, é representativo de trabalhos efetuados em caráter semirregional ou de semidetalhe.

Assim, a identificação das áreas com maior potencial para a manifestação de deslizamentos, segundo as condições modeladas, representa um instrumento que pode ser útil como subsídio para a implantação de processos complementares através de detalhamento progressivo, sobretudo quanto à elaboração das cartas geotécnicas de aptidão à urbanização e às cartas de risco, orientando as medidas de planejamento e reordenamento territorial e a gestão de riscos na área de estudo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Prefeitura de Blumenau, Universidade Federal do Paraná (Programas de Pós Graduação em Engenharia Florestal e Geologia) e ao CNPq pelo suporte oferecido à realização das pesquisas. Manifestam ainda agradecimento especial aos senhores Dr. Alberto P. Fiori, Dr. Paulo C. Soares, Dr. Alexandre Uhlmann, Esp. Eduardo Zimmer, Esp. Henrique M. C. Carreirão, Dr.a Leila C. Perdoncini e Dr. Manoel R. D. Correia pelo auxílio concedido, essencial à realização do presente trabalho.

REFERÊNCIAS

- AGTERBERG, F. P. & CHENG, Q. 2002. Conditional independence test for Weights-of-Evidence modelling. **Natural Resources Research**, v. 11(4):249 – 255.
- AHRENDT, A. 2005. Movimentos de massa gravitacionais - proposta de um sistema de previsão: aplicação na área urbana de Campos do Jordão (SP). **Tese (Doutorado)** – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos. São Paulo. 334 p.
- ARAÚJO, P. C. DE, 2004. Análise da suscetibilidade a escorregamentos: uma abordagem probabilística. **Tese (Doutorado)**. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, São Paulo. 2004. 172pp.
- AUGUSTO-FILHO, O.; VIRGILI, J. C. 1998. Estabilidade de taludes. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. de. (Eds.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE. p. 243-270.
- AUMOND, J. J.; SEVEGNANI, L. 2009. Descrição do desastre: os escorregamentos de encostas. In: Frank, B.; Sevegnani, L. (Eds.). **Desastre de 2008: água, gente e política**. Blumenau: Agência de Água do Vale do Itajaí. p. 78-91.
- BASEI, M. A. S.; DRUKAS, C. O.; NUTMAN, A. P.; WEMMER, K.; DUNYI, L.; SANTOS, P. R.; PASSARELLI, C. R.; CAMPOS NETO, M. C.; SIGA, O. Jr.; OSAKO, L. 2011. The Itajaí foreland basin: a tectono-sedimentary record of the Ediacaran period, Southern Brazil. **International Journal of Earth Sciences**, 100(2-3): 543-569.
- BAUM, R. L.; GODT, J. W. 2010. Early warning of rainfall-induced shallow landslides and debris flows in USA. **Landslides**. 7: 259-272.
- BONHAM-CARTER, G.F. 1994. **Geographic information systems for geoscientists: modeling with GIS**. Ottawa: Pergamon. 398p.
- CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2014. **Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações – Blumenau/Santa Catarina**. Brasília: CPRM/IPT. Escala 1:25.000.
- CRUDEN, D. M. & VARNES, D. J. 1996. Landslides types and processes. In: TURNER, A. K. & SCHUSTER, R. L. (Eds.). **Landslides: investigation and mitigation**. Special Report 247/Transportation Research Board. Washington: National Academy Press.
- CRUDEN, D. M. & VARNES, D. J. 1996. Landslides types and processes. In: TURNER, A. K. & SCHUSTER, R. L. (Eds.). **Landslides: investigation and mitigation**. Special

Report 247/Transportation Research Board. Washington: National Academy Press.

DAHAL, R. K.; HASEGAWA, S.; NONOMURA, A.; YAMANAKA, M.; MASUDA, T.; NISHINO, K. 2008. GIS-based weights-of-evidence modelling of rainfall-induced landslides in small catchments for landslide susceptibility mapping. **Environ. Geol.**, 54:311–324

DIKAU, R. 2004. Mass Movement. In: Goudie, A. (Org.). **Encyclopedia of Geomorphology**. Londres: Routledge. p. 644-652.

FERNANDES, N. F., GUIMARÃES, R. F., GOMES, R. A. T., VIEIRA, B. C., MONTGOMERY, D. R., GREENBERG, H. 2004. Topographic controls of landslides in rio de janeiro: field evidence and modelling. **Catena**, 55: 163-181. 2004.

FIORI, A. P.; CARMIGNANI, L., **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas: aplicações na estabilidade de taludes**. Curitiba: UFPR. 2009. 602 pp.

FRANK, B.; SEVEGNANI, L. 2009. **Desastre de 2008: água, gente e política**. Blumenau: Agência de Água do Vale do Itajaí. 2009.

FRASCÁ, M. H. B. de O.; SARTORI, P. L. P. 1998. Minerais e rochas. In: OLIVEIRA, A. M. dos S. e BRITO, S. N. A. de. (Eds.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE. p.15-38. 1998.

GEROY, I. J.; GRIBB, M. M.; MARSHALL, H. P.; CHANDLER, D. G.; BENNER, S. G.; MACNAMARA, J. P. 2011. Aspect influences on soil water retention and storage. **Hydrol. Process**. 25: 3836–3842. 2011.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. 1984. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher. 194p.

HAWKE, R.; McCONCHIE, J. 2011. In situ measurement of soil moisture and pore water pressures in an “incipient” landslide: Lake Tutira, New Zeland. **Journal of Environmental Management**. 92: 266-274.

HOLTZ, R. D., KOVACS, W. D. 1981. **An introduction to geotechnical engineering**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall. 733p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2012. **Estimativas da população residente nos municípios brasileiros com data de referência em 1º de julho de 2012**. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em:<
<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 28 de maio de 2013.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. – Divisão de Geociências do Sul 2002a. Projeto Gerenciamento Costeiro. 3ª fase. **Relatório Técnico Geologia**. Florianópolis. Disponível em: www.morrodobau.ufsc.br/files/2011/03/Solos_final.pdf. Acessado em 24/10/2012.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. – Divisão de Geociências do Sul. 2002b. Projeto Gerenciamento Costeiro. 3ª fase. **Relatório Técnico Geomorfologia**. Florianópolis. Disponível em: www.morrodobau.ufsc.br/files/2011/03/Geomorfologia.pdf. Acessado em 24/10/2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de Geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE 2004a. Folha Joinville – SG.22-Z-B. Escala: 1:250.000.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de Geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE 2004b. Folha Florianópolis – SG.22-Z-D. Escala: 1:250.000.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. – Unidade Estadual do IBGE em Santa Catarina. 2003. Projeto Gerenciamento Costeiro. 3ª fase. **Relatório Técnico Solos**. Florianópolis. Disponível em: www.morrodobau.ufsc.br/files/2011/03/Solos_final.pdf. Acessado em 24/10/2012.

IGLESIAS, C. M. da F.; ZERFASS, H.; da SILVA, M. A. S.; KLEIN, C. 2011. **Programa Geologia do Brasil: carta geológica - escala 1:250.000 (Folha SG-22-Z-B Joinville), Estado de Santa Catarina**. Brasília: DNPM/CPRM. Disponível em: <http://geobank.sa.cprm.gov.br>. Acesso em: 17 de setembro de 2012.

KÖEPPEN, W. **Climatologia: com um estúdio de los climas de la tierra**. México: Fondo de Cultura Econômica. 1948. 466p.

MACEDO, E. S.; BRESSANI, L. A. (Org.). 2013. **Diretrizes para o zoneamento da suscetibilidade, perigo e risco de deslizamentos para planejamento do uso do solo**. São Paulo: ABGE; ABMS. 88 p.

MAGALHÃES, F. S.; CELLA, P. R. C. 1998. Estrutura dos maciços rochosos. In: OLIVEIRA, A. M. dos S. e BRITO, S. N. A. de. (Eds.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE. p.39-55. 1998.

MATSUSHI, Y.; HATTANJI, T.; MATSUKURA, Y. 2006. Mechanisms of shallow landslides on soil-mantled hillslopes with permeable and impermeable bedrocks in the Boso Peninsula, Japan. **Geomorphology**, 76: 92-108.

MONTGOMERY, D. R. & DIETRICH, W. E. 1994. A physically based model for the topographic control on shallow landsliding. **Water Resource Research**, 30(4):1153-1171.

NEUHÄUSER, B; TERHORST, B. 2007. Landslide susceptibility assessment using “weights-of-evidence” applied to study area at the Jurassic escarpment (SW – Germany). **Geomorphology**, 86:12-24.

PERDONCINI, L. C.; LEHNEN, R.; BORGES, A.; XAVIER, F. F. **Não publicado**. Mapa geológico do município de Blumenau: versão preliminar – escala 1:25.000. Blumenau: Diretoria de Geologia, Análise e Riscos Naturais.

PEREIRA, S., ZÊZERE, J. L., BATEIRA, C. 2012. Technical note: assessing predictive capacity and conditional independence of landslide predisposing factors for shallow landslide susceptibility models. **Nat. Hazards Earth Sci.** 12: 979-988.

POLI, S.; STERLACCHINI, S. 2007. Landslide representation strategies in susceptibility studies using weights-of-evidence modeling technique. **Natural Resources Research**, 16(2): 121-134.

POTTER, R. O.; CARVALHO, A. P.; FLORES, C. A. & BOGNOLA, I. 2004. **Solos do Estado de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos. CD ROM; mapa color. (Embrapa Solos, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 46).

POZZOBON, M. 2013. Análise da suscetibilidade a deslizamentos no município de Blumenau/SC: uma abordagem probabilística através da aplicação da técnica pesos de evidência. Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR (**Tese de Doutorado**). 138p.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BLUMENAU. PERDONCINI, L. C.; LEHNEN, R.; BORGES, A.; XAVIER, F. F. (Orgs.). Mapa geológico do município de Blumenau: versão preliminar – escala 1:25.000. Blumenau: Diretoria de Geologia, Análise e Riscos Naturais. **Não publicado**.

SAWATZKY, D. L.; RAINES, G. L.; BONHANM-CARTER, G. F.; LOONEY, C. G., 2007. **Spatial Data Modeller (SDM): ArcMAP 9.2 geoprocessing tools for spatial data modeling using weights of evidence, logistic regression, fuzzy logic and neural networks**. Disponível em: <http://arcscripsts.esri.com/details.asp?dbid=15341>. Acessado em 11/06/2009.

SEVEGNANI, L.; VIBRANS, A. C.; GASPER, A. L. de. 2013. Considerações finais sobre a Floresta Ombrófila Densa e Restinga. In: VIBRANS, A. C.; SEVEGNANI, L.; GASPER, A. L. de; LINGNER, D. V. (eds.). **Inventário florístico florestal de Santa Catarina: Floresta Ombrófila Densa**. Blumenau: Edifurb. v.4. p. 325-327.

SEVERO, D. A meteorologia do desastre. In: Frank, B.; Sevegnani, L. (Eds.). **Desastre de 2008: água, gente e política**. Blumenau: Agência de Água do Vale do Itajaí. p. 70-77.

SILVA DIAS, M. A. F. 2009. As chuvas de novembro de 2008 em Santa Catarina: um estudo de caso visando à melhoria do monitoramento e da previsão de eventos extremos. **Nota técnica**. São José dos Campos: INPE. 67p.

SOARES, P. C.; FIORI, A. P., 1975. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas. **Notícia Geomorfológica**. 16(32): 71-104.

SOARES, P. C.; SOARES, A. P.; FIORI, A. P. 2002. Raciocínio probabilístico aplicado à suscetibilidade de escorregamentos: um estudo de caso em Campo Largo, Paraná, Brasil. **Boletim Paranaense de Geociências**. 51:59-76.

STABILE, R. A. FERREIRA, A. L.; CARVALHO, A. M. de; SIQUEIRA, A. G.; BITAR, O. Y. 2013. Análise de fatores condicionantes de instabilizações em encostas como subsídio para a modelagem estatística da suscetibilidade a deslizamentos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 14., 2013, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABGE, 2013. 1 CD ROM.

SUMMERFIELD, M. A. 1991. *Global Geomorphology: an introduction to the study of landforms*. Edinburgh: Pearson Prentice Hall. 537 p.

VEDOVELLO, R.; MACEDO, E. S., 2007. Deslizamentos de encostas. In: **Vulnerabilidade Ambiental** (Santos, R. F. org.). Brasília: MMA. p. 75-93.

VIBRANS, A. C.; SEVEGNANI, L.; GASPER, A. L. de; LINGNER, D. V. 2013. **Inventário florístico florestal de Santa Catarina: Floresta Ombrófila Densa**. Blumenau: Edifurb. v.4. 576p.

VIEIRA, B. C.; FERNANDES, N. F. 2004. Landslides in Rio de Janeiro: the role played by variations in soil hydraulic conductivity. **Hidrol. process**. 18:791-805.

WOLLE, C.M.; PEDROSA, J.A.B. 1981. Horizontes de transição condicionam mecanismos de estabilização de encostas na Serra do Mar. In: **Anais...** CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 3, 1981, Itapema. Itapema, 1981, v. 2, p. 121-135.

ABSTRACT: The objective of this work is analyze the spatial relationships between landslides and a set of potential conditioning factors and, from these analyzes, propose and testing susceptibility models for geomorphological unit named Serras Cristalinas Litorâneas in the municipality of Blumenau. The application of Bayes rule

of conditional probability, using the technique weights of evidence, allowed to analyze the spatial relationship between a set of potential conditioning factors (related to geological, geomorphological and land cover aspects) and 89 landslides occurred in 2008 event in the study area. The combination of the weights of the factors distance from lineaments, aspect, plan curvature and slope (model 4) presents the best settings, between models that meet the independence requirements. From these models, it is possible to recognize that situations of high to very high susceptibility may vary between 7,5% (model 1) to 25% (model 4) of the area of this compartment, on 1: 25.000 scale.

KEYWORDS: susceptibility analysis; condicional probability; geomorphological compartmentation.

CAPÍTULO II

AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS SOB PERIGO GEOTÉCNICO: O CASO DA COMUNIDADE DO MORRO DA MARIQUINHA, FLORIANÓPOLIS-SC

**Gabriela Bessa
Daniel Galvão Veronez Parizoto
Rodrigo Del Olmo Sato
Nilo Rodrigo Júnior
Murilo da Silva Espíndola
Vítor Santini Müller**

AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS SOB PERIGO GEOTÉCNICO: O CASO DA COMUNIDADE DO MORRO DA MARIQUINHA, FLORIANÓPOLIS-SC.

Gabriela Bessa

Universidade Federal de Santa Catarina, Geologia
Florianópolis – SC

Daniel Galvão Veronez Parizoto

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Geociências
Florianópolis - SC

Rodrigo Del Olmo Sato

MinasHidroGeo
Florianópolis - SC

Nilo Rodrigo Júnior

Universidade Federal de Santa Catarina, Geologia
Florianópolis - SC

Murilo da Silva Espíndola

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Geociências
Florianópolis - SC

Vítor Santini Müller

Universidade Federal de Santa Catarina, Geologia
Florianópolis - SC

RESUMO: A comunidade do Morro da Mariquinha, localizada no Maciço do Morro da Cruz em Florianópolis sofreu em 2011 um deslizamento de terra e blocos devido a chuvas que ocorreram em curto período de tempo. O presente trabalho faz a comparação entre dois cenários, o evento de 2011 e um conjunto de blocos, este último escolhido pela sua semelhança em relação cenário de 2011 nos aspectos geológico-geotécnicos. A partir dessa comparação é possível sugerir o que pode acontecer ao conjunto de blocos que está sob perigo. Alguns fatores como águas pluviais, fraturamentos concordantes, arredondamento de blocos e lixo doméstico são encontrados nos dois cenários de forma marcante.

PALAVRAS-CHAVE: Perigo Geotécnico, análise de cenário, movimento de massa.

1. INTRODUÇÃO

Em dezembro de 2011 na comunidade do Morro da Mariquinha, na cidade de Florianópolis, chuvas na ordem de 66mm em quatro horas deflagraram uma movimentação gravitacional de massa do tipo complexo com quedas de blocos e escorregamento de solo. O material deslizado destruiu quatro casas e vitimou uma pessoa. Há 130 metros de distância um conjunto de blocos, alguns estimados em mais de 230 toneladas, estão configurados em um cenário semelhante à aquele ocorrido em 2011. Este trabalho que é derivado dos relatórios produzidos, na

ocasião do evento de 2011, por um dos autores, junto com observação em campo, busca estabelecer uma correlação entre os dois cenários nos seus aspectos geológico-geotécnicos.

2. ÁREA DE ESTUDO

2.1. Localização

A comunidade do Morro da Mariquinha está localizada na porção sudoeste do Maciço do Morro da Cruz, região central da parte mais urbanizada da porção insular do município de Florianópolis, estado de Santa Catarina (Figura 1). O ponto “A” corresponde ao local do evento de ocorrido em 13 de dezembro de 2011, situado na LAT 27°36'02” e LONG 48°32'32”. O Ponto “B” corresponde ao ponto onde está situado o conjunto de blocos em situação de perigo, com LAT 27°35'58” e LONG 48°32'36”.

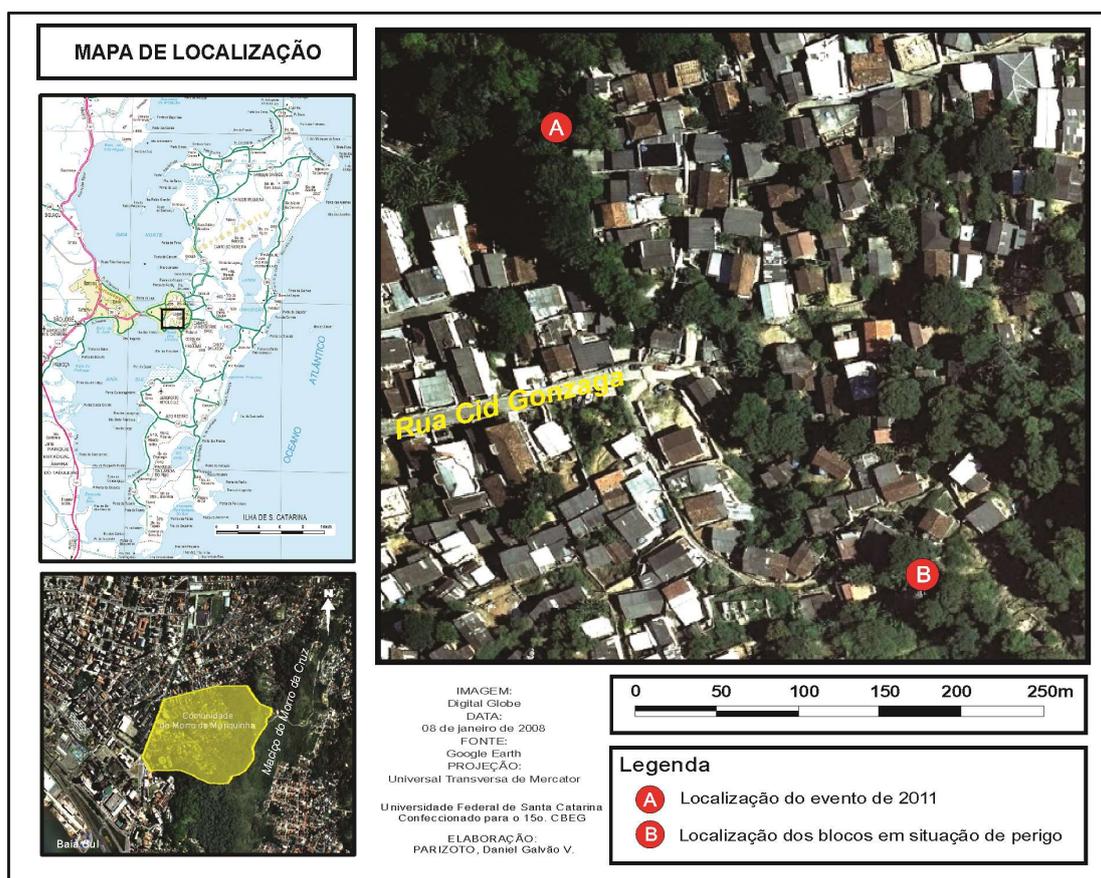


Figura 1 – Mapa de localização do evento de 2011 (A) e do conjunto de blocos (B), inseridos na comunidade do Morro da Mariquinha que abrange o Maciço do Morro da Cruz – Florianópolis/SC.

2.2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

O Morro da Mariquinha está situada sobre o Granito Ilha (Zannini *et al*, 1997) composto por monzogranitos e leucossienogranitos preferencialmente homogêneos com poucas variações texturais, granulometria média, coloração rósea a cinza e com eventuais estruturas de fluxo ígneo, o qual pertence à Suíte Intrusiva Pedras Grandes. As características geológicas predominantes das rochas e que podem influenciar diretamente na estabilidade das encostas estão relacionadas aos tipos de falhas e fraturas, as quais, conseqüentemente, formam blocos e matacões. Podendo estes, ocasionar rolamentos, tombamentos e quedas. Acima da rocha sã, foi possível verificar uma camada fina de material pedológico, sendo na maioria das vezes composta por material transportado argilo-arenoso (colúvio e tálus) típicos de zonas tropicais com alta incidência de chuvas.

Machado (2004) caracteriza as cotas altimétricas de 5m a 188m. O terreno é considerado bastante íngreme com média de 27° e máxima de 47°.

Segundo Santa Catarina (2009) o maciço do Morro da Cruz é formado pelas subbacias: Morro do Horácio, Baía Norte, Rio da Bulha, Prainha e Saco dos Limões. A hidrografia do Morro da Mariquinha é composta por rios que nascem nas encostas do maciço central e de morros adjacentes. A maioria dos canais são intermitentes e de drenagem canalizados e cobertos, ou seja, abaixo de ruas.

3. ANÁLISE DOS INDÍCIOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS

3.1. CENÁRIO “A”: O LOCAL DO EVENTO DE 2011

3.1.1. DESCRIÇÃO

No ano de 2011 um escorregamento do tipo complexo foi constatado na comunidade do Morro da Mariquinha, ele abrangeu tanto deslizamento de terra quanto quedas de blocos com 35m de extensão e 15m de altura do terreno. Foram totalizados 1 bloco maior de 200 toneladas e vários menores entre 10 a 40 toneladas.

3.1.2. ELEMENTOS CAUSADORES DA INSTABILIDADE NO CENÁRIO “A”

Logo após o evento o técnico responsável constatou que as prováveis causas desencadeantes do início do escorregamento poderiam estar ligadas à drenagem das águas pluviais, com o agravamento de 4 pontos de lançamento de água servida. Foram observados também vários planos de fraturas. O principal está localizado na base dos blocos movimentados (Figura 2), formando um plano inclinado em forma de rampa. Os contatos entre as rochas separadas pelas fraturas apresentavam alterações intempéricas, e argilizações, inclusive com a

presença de surgência de água ao longo dos planos de fratura (Figura 3). Podendo ter até 30cm entre as fraturas (Figura 4) (SANTA CATARINA, 2011).



Figura 2 – Vista do talude e do sistema de fratura com inclinação <80% e faces lisas e com argilização das fraturas.



Figura 3 – Visível surgência de água em fratura.



Figura 4 - Fraturas abertas com aproximadamente 30cm.

Na rocha é observável o arredondamento de blocos devido ao intemperismo esferoidal (Figura 5), tornando-os mais suscetíveis à queda. Este intemperismo normalmente é causado pela percolação de água e a mudança de temperatura, o qual intensifica o processo de intemperismo (SANTA CATARINA, 2011).



Figura 5 - Decomposição esferoidal em blocos verificados após o deslizamento.

Também são indetectáveis deslocamentos (figura 6) e fragmentação da rocha principal (Figura 7) provavelmente resultado de altas pressões na base, formando pequenos blocos.



Figura 6 – Deslocamentos de rochas de grande porte.



Figura 7 – Fragmentação de blocos rochosos.

3.2. CENÁRIO “B”: O CONJUNTO DE BLOCOS EM PERIGO

3.2.1. DESCRIÇÃO

O ponto analisado é caracterizado por matacões - 2 blocos - com grande massa, um com estimativa de 95 toneladas e outro com estimativa de 60 toneladas, além de outros 5 blocos médios de massa estimada entre 10 a 25 toneladas. Ainda existem no local blocos menores não contabilizados, estes estão acima de uma capa regolítica com processos erosivos associados, sujeitos a ocorrência de deslocamento por ação gravitacional (SANTA CATARINA, 2013).

3.2.2. ELEMENTOS CAUSADORES DA INSTABILIDADE NO CENÁRIO “B”

No cenário “B” foram encontrados vários blocos com fraturamento concordante com o plano de inclinação do talude. Esse fato pode ser um fator de facilitação de quedas de blocos em caso de instabilidade, pois os blocos possuem uma tendência ao deslocamento neste sentido. A principal família de fraturas (Figura 8) possui inclinação média acima de 80%, com faces lisas e com muitas fraturas em argilização, aumentando mais o grau de instabilidade dos blocos. As fraturas apresentam-se bastante alteradas com presença de argilo-minerais e com exposição de minerais resistentes.



Figura 8 – Vista do talude e do Sistema de fratura com inclinação média <math><80\%</math>. As linhas tracejadas em branco mostram os planos de fraturas.

A decomposição esferoidal – arredondamento dos blocos – esta presente em todo o conjunto (Figura 9). Verificou-se que as arestas e os vértices dos blocos são mais expostos ao ataque do intemperismo químico que as faces. Assim, a decomposição esferoidal pode ser vista em vários blocos de forma arredondada (SANTA CATARINA, 2013).



Figura 9 – Decomposição esferoidal nos blocos.

Existe no conjunto a ocorrência de deslocamentos (Figura 10), podendo ter ocorrido pela geração de planos de alívio de pressão por remoção de carga ou pela alteração diferenciada da rocha, mas também não se descarta a origem tectônica do fraturamento.



Figura 10 – Vista de uma parte do bloco maior que já deslocou e uma parte que ainda está intacta.

Sob o conjunto de blocos existe a ocorrência de uma surgência de água na base das rochas deixando o solo abaixo constantemente saturado e aumentando ainda mais o perigo no cenário observado (Figura 11a). Não foi observado água servida, entretanto, há muito lixo no local (Figura 11b), principalmente no local onde passa a drenagem. Estes dois fatores atrelados aumentam a intensidade de atuação do intemperismo químico no local, ampliando ainda mais o risco de um deslizamento. Em dias chuvosos, a drenagem só tende a aumentar comprometendo cada vez mais o solo.



Figura 11 – Surgência de água abaixo dos blocos molhados e alterados (a). Muito lixo encontrado entre os dois principais blocos (b).

4. CONCLUSÕES

Após a análise dos dados levantados em campo, pode-se perceber que os dois cenários possuem relações. Alguns fatores determinantes do evento de 2011 também estão presentes no conjunto de blocos de rochas localizado à 130 metros. Os elementos águas pluviais, fraturamento concordante, arredondamento de blocos e lixo doméstico podem ser encontrados nos dois cenários de forma marcante.

Uma análise detalhada dos cenários, especialmente do ponto B, deve ser realizada ao longo do andamento do presente trabalho. O mapeamento das fraturas poderá verificar as concordâncias entre os planos existentes nos dois cenários. Análise de rocha e solo indicarão a resistência da matriz aos esforços a que está submetida, bem como o ângulo de atrito entre os grãos e sua suscetibilidade a um deslizamento.

A partir disso, algumas recomendações podem ser sugeridas no conjunto de blocos, como o reforço estrutural em sua base, projetos de drenagens superficiais ou ainda a retirada de moradores do raio de um possível escorregamento.

É sugerido, enquanto não forem realizadas soluções definitivas o monitoramento emergencial principalmente quando houver chuvas fortes no entorno das áreas sob influência do perigo de deslizamento.

REFERÊNCIAS

MACHADO, Claudia Xavier. **Aspectos socioambientais na comunidade do Morro da Mariquinha em Florianópolis/SC**. Raega - O Espaço Geográfico em Análise, v. 8, 2004.

PAMPLONA, M. Mapeamento da ocupação do solo na porção insular do distrito sede de Florianópolis-SC como base para o estudo do clima urbano. Florianópolis, 1999. 108 p. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) - UFSC.

SANTA CATARINA. Rodrigo del Omo Sato. Geólogo Voluntário Crea-sc. **Lauda Geológico de Urgência: Caso Rua Waldomiro Monguilhot**. Florianópolis: SMSDC, 2011. 26 p.

SANTA CATARINA. Rodrigo del Omo Sato. Geólogo Voluntário Crea-sc. **Lauda Geológico de Urgência: Caso Rua Laura Caminha MEIRA S/N**. Florianópolis: SMSDC, 2013. 18 p.

SANTA CATARINA. SECRETARIA MUNICIPAL DE HABITAÇÃO E SANEAMENTO AMBIENTAL. (Ed.). **Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico: Produto 2**. Florianópolis: SMHSA, 2009. 92 p.

ZANNINI, Luiz F.P; BRANCO, Pécio M; CAMOZZATO, Eduardo; RAMGRAB, Gilberto E.
Programa de levantamentos básicos do Brasil. Folha Florianópolis/Lagoa.
CPRM/MME, Brasília, 1997. 223 p.

CAPÍTULO III

AVALIAÇÃO DOS REMANESCENTES FLORESTAIS NA ELABORAÇÃO DE CARTAS GEOTÉCNICAS DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO O CASO DE SÃO BERNARDO DO CAMPO - SP

**Raquel Alfieri Galera
Fernando Cerri Costa
Ricardo de Souza Moretti**

AVALIAÇÃO DOS REMANESCENTES FLORESTAIS NA ELABORAÇÃO DE CARTAS GEOTÉCNICAS DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO O CASO DE SÃO BERNARDO DO CAMPO - SP

Raquel Alfieri Galera

LABGRIS (Laboratório de Gestão de Risco) - Universidade Federal do ABC
Santo André - SP

Fernando Cerri Costa

LABGRIS (Laboratório de Gestão de Risco) - Universidade Federal do ABC
Santo André - SP

Ricardo de Souza Moretti

LABGRIS (Laboratório de Gestão de Risco) - Universidade Federal do ABC
Santo André - SP

RESUMO: A carta geotécnica de aptidão à urbanização é um instrumento definido pela lei nº 12.608/12, seu objetivo é orientar o ordenamento territorial, por meio da criação de diretrizes para o parcelamento do solo, com a definição de parâmetros urbanísticos que visam à segurança de novas ocupações e loteamentos. Focada na ocupação de áreas estabelecidas dentro do perímetro de expansão urbana, as cartas produzidas em escalas entre 5:000 e 10:000, devem representar as dinâmicas intrínsecas a cada área, não apenas os fatores físicos, como também as características socioambientais locais. Assim, o artigo tem como foco debater a importância da realização de estudos específicos, considerando a complexidade e diversidade dos diferentes contextos existentes no cadastro federal de municípios suscetíveis à ocorrência de processos geológicos ou hidrológicos. Utilizando o município de São Bernardo do Campo/ SP como área de estudo, vamos debater os conflitos potenciais relacionados ao uso e ocupação do solo através da análise de uma série de instrumentos legais que definem diferentes recomendações para o parcelamento do solo, uma vez que o município está inserido em uma área de proteção de mananciais protegida por uma lei específica.

PALAVRAS-CHAVE: Cartas de aptidão à urbanização; ordenamento territorial; diretrizes de ocupação; gestão de risco.

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 para intervenção e regulamentação do uso e ocupação do solo, definindo novos parâmetros para o ordenamento territorial. Nesta perspectiva, a políticas, com um caráter preventivo, tem como um de seus objetivos controlar o surgimento de novas áreas de risco, avaliando as limitações geotécnicas relacionadas as diferentes formas de ocupação. A identificação e mapeamento das áreas de risco deverão sem

pactuadas pelos nos municípios a serem listados pelo cadastro nacional de municípios suscetíveis à ocorrência de deslizamentos, inundações ou processos correlatos.

A elaboração das cartas geotécnicas, no processo de caracterização do meio físico, devem ser indicados os processos relacionados a determinados padrões geológico-geotécnicos (DINIZ, 2012; COUTINHO et al, 2015). 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, no estabelecimento de diretrizes de urbanização para o parcelamento do solo em escala de detalhe que variam entre 1:5.000 e 1:10.000. Esta cartografia deve contemplar não apenas a representação das dinâmicas do meio físico, como também os aspectos do meio biológico e antrópico relativo à ocupação.

As especificidades relativas as cartas de aptidão à urbanização exigem diferentes conhecimentos e estudos para a sua formulação, sendo necessário à elaboração de cartas temáticas. A fim de pautá-la, de forma geral, como um instrumento que oriente o uso e a ocupação do solo urbano, e que considere as necessidades intrínsecas de cada município, subsidiando a criação de instrumentos legais de ordenamento territorial, como zoneamentos e o plano diretor (BRASIL, 2012; SOBREIRA & SOUZA, 2012).

Neste contexto, coube ao Ministério das Cidades, através da Secretaria Nacional de Acessibilidade e Programas Urbanos, a definição de instrumentos que abarcariam o campo da prevenção e não apenas projetos de mitigação dos riscos. Dentre eles foi relacionada a elaboração das cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais. Em cooperação com centros universitários federais, com o apoio de professores e pesquisadores, foi desenvolvido um termo de referência com orientações à concepção deste instrumento com a definição dos conceitos e os procedimentos metodológicos unificados (COUTINHO, 2013).

O instrumento deve promover medidas preventivas frente a situações de desastres, articulada a outros dispositivos vigentes para o controle do processo de urbanização e degradação ambiental, integrando as políticas locais de desenvolvimento social e ambiental no processo de manejo e redução dos riscos, em especial em áreas de expansão urbana (NOGUEIRA & CANIL, 2015). Sendo estas, áreas caracterizadas pelo adensamento extremo das edificações e da infraestrutura instalada, favorecendo a impermeabilização de grandes áreas, conduzindo a redução de usos com características naturais, e ampliando o quadro crônico de depreciação da qualidade de vida e na geração de áreas ambientalmente frágeis ou de riscos (LAVELL, 1996; MANSILLA, 2000: p.82).

Notoriamente há um histórico no Brasil de desmatamento para ocupações urbanas. Essas áreas desmatadas muitas vezes frágeis, do ponto de vista geotécnico ou hidrológico, ocasionam cenários de risco. Considerando o processo histórico de expansão dos centros urbanos e ocupação de áreas potencialmente relevantes, no ponto de vista da conservação ambiental, a análise visa orientar o

ordenamento territorial de forma completa, não podendo desconsiderar a necessidade de avaliar as condições de preservação dos remanescente em áreas de expansão urbana e as diretrizes relativas as demais legislações vigentes sob estas áreas.

Tendo em vista tais considerações, o presente artigo tem como objetivo discutir a avaliação de remanescentes florestais e sua incorporação no processo de elaboração de cartas geotécnicas de aptidão a urbanização, no estabelecimento de áreas prioritárias para conservação, fortalecendo os mecanismos locais de planejamento e ordenamento territorial, em especial, as de gestão de risco e ambiental. Como área de estudo será avaliada a área de expansão urbana dos municípios do Grande ABC paulista, localizados na porção sul da Região Metropolitana de São Paulo, onde se insere na área de proteção de mananciais da Billings, conectada ao Parque Estadual da Serra do Mar. Dentro deste contexto, será debatido a importância da delimitação de áreas prioritárias para conservação no âmbito da elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização, no processo de integração deste mecanismo aos demais instrumentos de planejamento e da gestão urbana em vigor.

2. ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA CONSERVAÇÃO NO CONTEXTO DAS CARTAS DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO

Localizados na porção sul da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), os municípios do Grande ABC, Diadema, Mauá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Santo André, São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul, estão inseridos na área de proteção e recuperação de manancial da Represa Billings (APRM-B) e apresentam um papel fundamental na sua gestão e manutenção. As áreas definidas para estudo, indicadas pelas prefeituras como áreas de potencial expansão do centro urbano dos municípios, estão em conflito com a área destinada à proteção e recuperação da represa. Com usos distintos, altas densidades demográficas, necessidades de infra-estrutura e equipamentos urbanos diversos, a região como um todo tem apresentado uma dinâmica de ocupação intensa, caracterizada por diversas atividades irregulares, com áreas altamente suscetíveis aos processo geo e hidro dinâmicos (GALERA & COSTA, 2015).

Devido ao contexto geral de sua localização, os municípios do Grande ABC, com áreas de expansão urbana estão recebendo o mapeamento de aptidão à urbanização com o apoio da Universidade Federal do ABC (UFABC), por meio de um convênio de colaboração técnico-científico com o Ministério das Cidades, contando com o incentivo do Governo Federal.

A estreita relação que o município de São Bernardo do Campo vem construindo junto ao Consórcio Intermunicipal Grande ABC e a UFABC, no desenvolvimento de políticas locais e regionais conjuntamente com um quadro técnico multidisciplinar das diversas secretarias do município, na articulação de ações para o desenvolvimento econômico e social da região, definiram o município

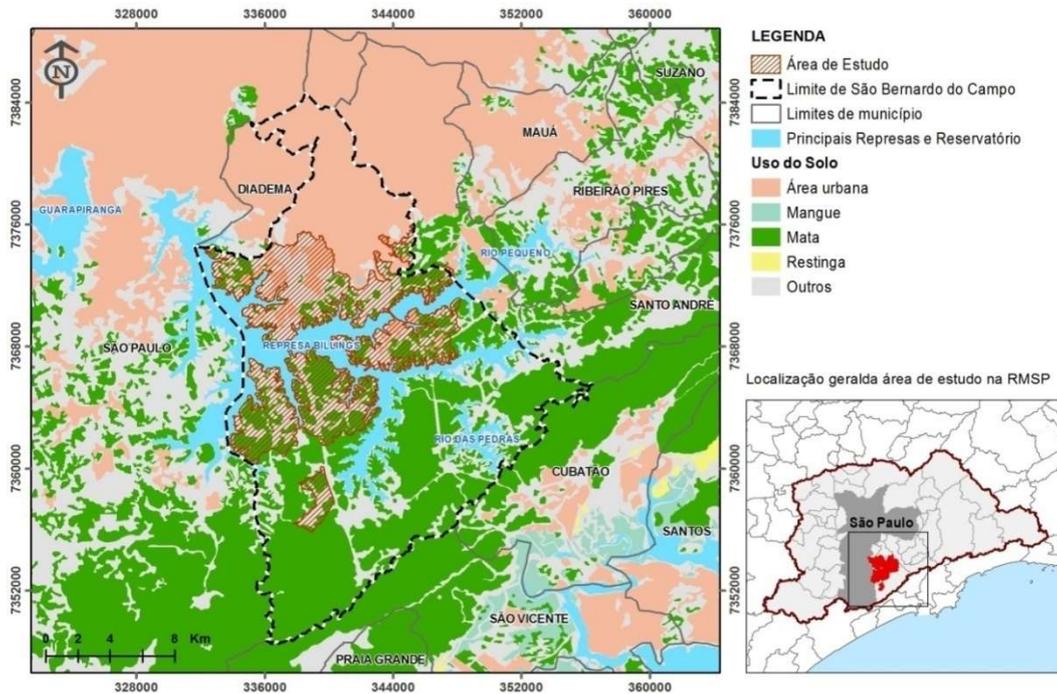
como projeto piloto para elaboração da primeira carta de aptidão à urbanização da região em uma articulação inicial com o Ministério das Cidades.

O município possui mais da metade de seu território inserido na área de manancial da Represa Billings e apresenta um papel fundamental na sua gestão e manutenção. A área definida para sua proteção e recuperação, devido à má gestão ao longo de sua história, tem apresentado péssimas condições de conservação em seu entorno, comprometendo a manutenção de suas funcionalidades devido à ocupação desordenada. Com usos distintos, altas densidades demográficas, necessidades de infra-estrutura e equipamentos urbanos diversos, a região como um todo tem apresentado uma dinâmica de ocupação intensa, caracterizada por diversas atividades irregulares e altamente impactantes ao sistema hidrológico (SMA, 2011; ISA, 2000).

Durante seu processo de elaboração, diversas discussões e debates quanto aos conflitos existentes relacionados ao uso do solo, uma vez que, nesta área está inserido o corpo central da Represa Billings, sendo considerada uma área com alta relevância para preservação e conservação dos remanescentes florestais.

Dentre os estudos específicos, avaliamos uma série de instrumentos legais que definem em seu escopo diretrizes de ocupação aplicáveis a área estudada, devendo estes serem considerados no processo de construção cartográfica. Sendo fundamental, no caso de São Bernardo do Campo, a análise conjunta dos dispositivos definidos pelo novo Código Florestal, lei federal nº 12.651/12; das orientações e diretrizes instituídas pelo zoneamento apresentado pela lei específica da Billings, lei estadual nº 13.579/09, que define a Área de Proteção e Recuperação dos Mananciais da Bacia Hidrográfica do Reservatório Billings - APRM-Billings; da conservação e proteção de remanescentes florestais de Mata Atlântica, definida pela lei federal nº 11.428/06; e da proposta de zoneamento do Plano Diretor municipal, atualmente em revisão. Neste contexto, avaliamos a integridade dos remanescentes florestais de mata atlântica da região, apoiados no conjunto de leis e decretos descritos, que visam à preservação destas áreas. Dando suporte técnico na definição de usos e no parcelamento do solo, considerando não apenas os aspectos geo e hidrodinâmicos do município, como também a gestão ambiental das áreas ainda preservadas, como ilustrado pela Figura 1:

Figura 1. Localização geral da área de estudo para elaboração de cartas de aptidão a urbanização do município de São Bernardo do Campo



2.1. Avaliação dos remanescentes de Mata Atlântica

No processo de identificação dos setores com maior prioridade para conservação, com o apoio de ferramentas em sistema de informação geográfica (SIG) para integração e associação de informações. O procedimento contou de avaliação dos remanescentes à serem preservados ou terem restrições quanto à forma de ocupação foi desenvolvida em quatro etapas, sendo elas:

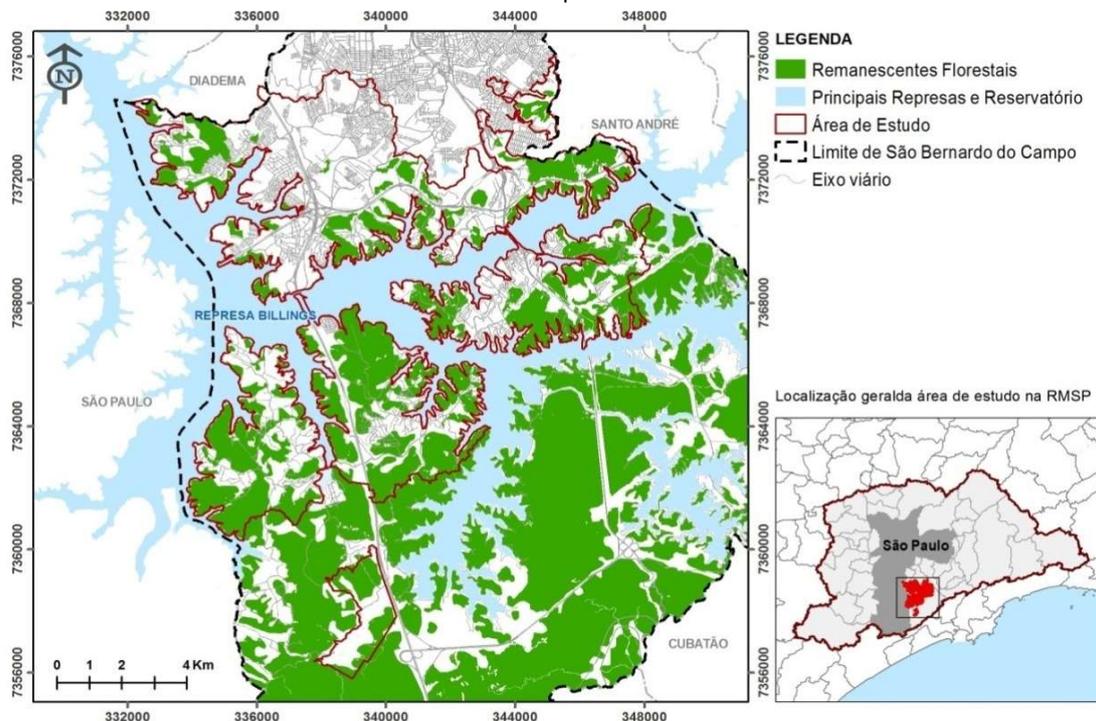
1. avaliação e classificação dos remanescentes florestais, através da avaliação de três diferentes fontes de dados;
 2. cruzamento dos remanescentes com as leis de zoneamento aplicadas a área de estudo;
 3. trabalho de campo para validação dos dados obtidos em laboratório;
- e
4. consolidação dos resultados.

Inicialmente avaliamos a vegetação em si, analisando a classificação do levantamento de uso e ocupação do solo do município. O material disponibilizado pela Prefeitura Municipal de São Bernardo do Campo, datado de 2011, é o resultado de uma classificação minuciosa de ortofotos com resolução de 1m x 1m. Dentre as classes existentes, quatro foram utilizadas no desenvolvimento do projeto: mata, capoeira, vegetação de várzea e reflorestamento.

Para agregar diferentes fontes de informação, as classes selecionadas do material de uso e ocupação do solo foram cruzadas com outras duas bases de informação com o auxílio de sistemas de informação geográfica (SIG). A primeira

consiste no "Inventário Florestal da Vegetação Natural do Estado de São Paulo", desenvolvida pelo Instituto Florestal (IF), no ano de 2009, esta representa as diferentes unidades fisionômico-ecológicas classificadas e delimitadas de forma a refletir a relação ombro térmica, litológica e as formas de relevo (INSTITUTO FLORESTAL, 2009). Como segunda base, com o interesse de analisar grandes maciços, foi adquirido do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) o arquivo digital de remanescentes florestais de mata atlântica do ano de 2012. Resultado de sensoriamento remoto, o arquivo apresenta os recortes de mata atlântica, representando áreas de maior grau de conservação e áreas com potencial de conectividade (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2014). O resultado pode ser observado pela Figura 2, onde estão representados os remanescentes florestais inseridos nos da área de estudo do município de São Bernardo do Campo.

Figura 2. Remanescentes Florestais de Mata Atlântica da área de estudo de São Bernardo do Campo



Em um segundo momento do projeto, avaliamos de forma conjugada, a partir da criação de uma matriz, as informações extraídas inicialmente dos remanescentes, as diretrizes de ocupação definidas pela Lei específica da Billings (Figura 3) e por fim a proposta de Lei de Zoneamento de São Bernardo do Campo (Figura 4), selecionando as áreas aplicáveis apenas a nossa área de estudo.

Figura 3 - Zoneamento da Lei Específica da Billings - APRM - Billing aplicável a São Bernardo do Campo

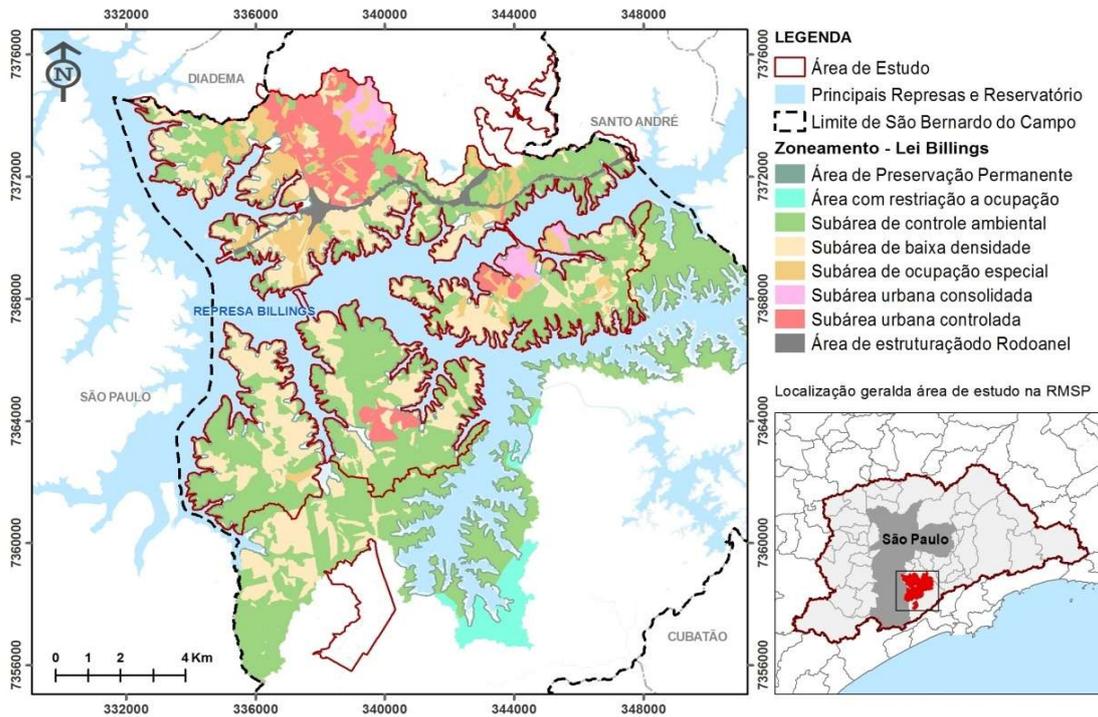
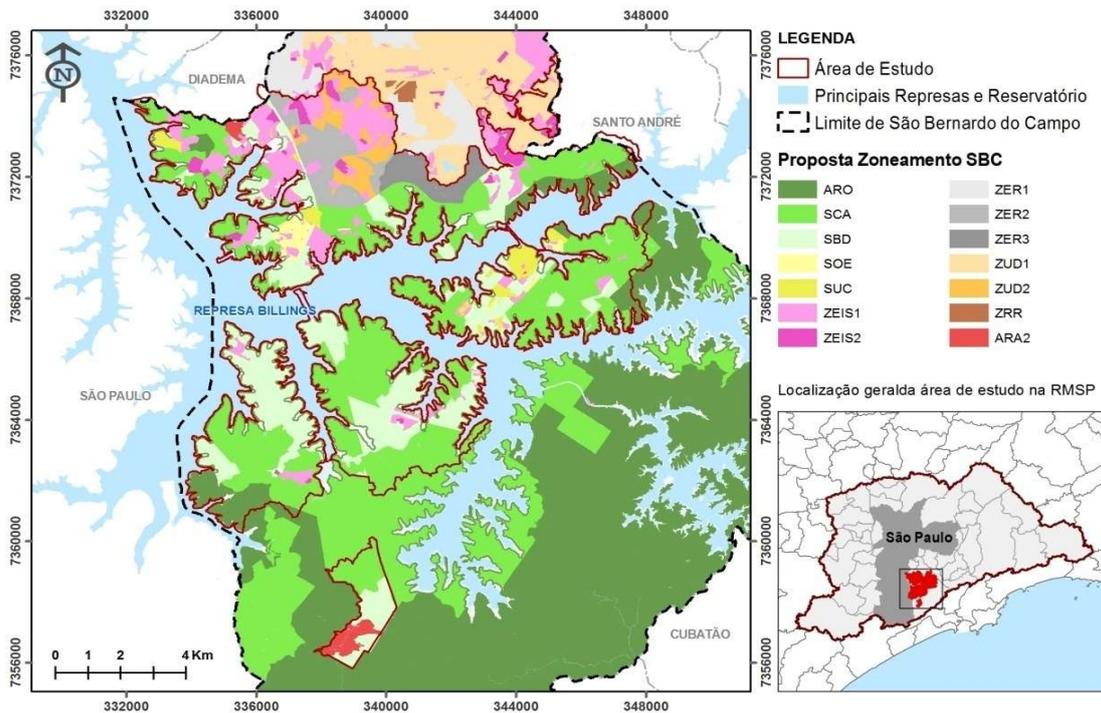


Figura 4 - Proposta de Zoneamento para o Plano Diretor Municipal



A partir do cruzamento dos dados estabelecemos uma matriz, definindo e caracterizando as diferentes fontes de dados em acordo com alguns critérios: grau de conservação, fragmentação, proximidade com áreas urbanas consolidadas ou em consolidação, acesso e diretrizes pré estabelecidas para ocupação e/ou conservação. Os valores estipulados foram definidos entre 1 e 3, onde, 1

representa áreas/ usos com dinâmicas pré estabelecidas, 2 representando uma situação intermediária e 3 áreas preservadas e com alto grau de relevância para conservação, como ilustrados pelo tabela 1.

Tabela 1. Matriz - Índice de Preservação

Área prioritárias para conservação ambiental			
Instrumento	1 Baixa	2 Média	3 Alta
Lei Específica do Reservatório da Billings (Lei N° 13.579/2009)	Subárea de ocupação especial - SOE Subárea de ocupação urbana consolidada - SUC Subárea de ocupação urbana controlada - SUCt Subárea de Ocupação de Baixa Densidade - SBD	Subárea de Conservação Ambiental - SCA	Área de Restrição à Ocupação - ARO
Plano Diretor de São Bernardo do Campo	Subárea de ocupação especial - SOE Subárea de ocupação urbana consolidada - SUC Subárea de ocupação urbana controlada - SUCt Subárea de Ocupação de Baixa Densidade - SBD Área de recuperação ambiental - ARA 2 Zona de interesse social - ZEIS 1 e 2 Zona de empresarial restritiva - ZER 1 e 2 Zona de uso diversificado - ZUD 1 e 2	Subárea de Conservação Ambiental - SCA	Área de Restrição à Ocupação - ARO
Remanescentes Florestais Uso e Ocupação do Solo	Outros usos	Vegetação de várzea Capoeira Reflorestamento	Mata

Com o auxílio do programa de sistemas de informação geográfica (SIG), Arcgis, foi feita a sobreposição dos arquivos. Por nem todos os arquivos se estenderem a área total de estudo, apenas a proposta de zoneamento do Plano Diretor Municipal apresentava classificação para toda sua a área de estudo, foi assumido o valor 0 para os casos onde não havia aplicação, gerando resultado que poderiam variar entre 1 e 9, quanto a sua representatividade e relevância

quanto ao grau de preservação local, sendo compatível com os objetivos e diretrizes apresentados pelos instrumentos acima citados de forma alfanumérica.

Antes de sua validação em campo, classificamos os valores obtidos, analisando os dados criados de acordo com as características do entorno, com auxílio de ortofotos com resolução espacial 1 x1 m, pudemos observar: tamanho dos remanescentes, nível de conectividade, grau de conservação, tipo de acesso e nível de urbanização do entorno. Classificando os polígonos em três classes distintas, em áreas a serem preservadas (classificadas como Preservar), áreas para avaliação em campo (classificadas como Analisar) e áreas de pouca expressão e/ou inicialmente avaliadas com índice menor ou igual a 4, que representam áreas com alto grau de urbanização, não analisados no processo de validação. A partir dos dados resultantes foram elaborados mapas temáticos em escala de 1:10.000 para validação dos dados na subregião conhecida como Pós Balsa, bairros de Tatetos e Taquacetuba.

2.2. Validação e definição de limiar

No total foram produzidos quatro mapas, apresentados na Figura 5. O primeiro quadro (A) representa a análise prévia, do cruzamento das bases descritas anteriormente, classificadas em "Preservar" e "Analisar", áreas com maiores índices de correlação. No quadro (B) é possível observar as atualizações feitas após a realização do campo, onde os remanescentes foram reclassificados em "Preservar" e "Cartografar", sendo a segunda classe relacionada aos remanescentes ocupados com menor grau de restrição devido às suas características gerais, índice intermediário. O terceiro quadro (C), apresenta a reclassificação do quadro (B), levando em conta as considerações anotadas em campo. O último, (D), representa das áreas definidas pela legislação vigente com altas restrições para conversão do uso, segundo o zoneamento da APRM-Billings, sendo selecionadas as classes: Área de Restrição a Ocupação (ARO) e Subárea de Conservação Ambiental (SCA).

A compilação final do arquivo, a partir da consolidação de um índice final (Figura6), e os remanescentes de maior expressão serão melhor avaliados e considerados na consolidação das cartas geotécnicas de aptidão à urbanização com indicações de usos específicos com caráter preservacionista, como parques, unidades de conservação, entre outros usos já analisados e citados de forma específica, tanto pela lei da Billings como também através da proposta de zoneamento apresentado pela prefeitura municipal de São Bernardo do Campo. Seus usos de forma geral serão mais restritivos, uma vez que são considerados não apenas a situação do meio físico, mas também o valor ecológico ofertado por estas áreas não apenas para o município de São Bernardo do Campo, como também para a Região Metropolitana de São Paulo como um todo.

Figura 5. Resultados finais e consolidação da base de análise

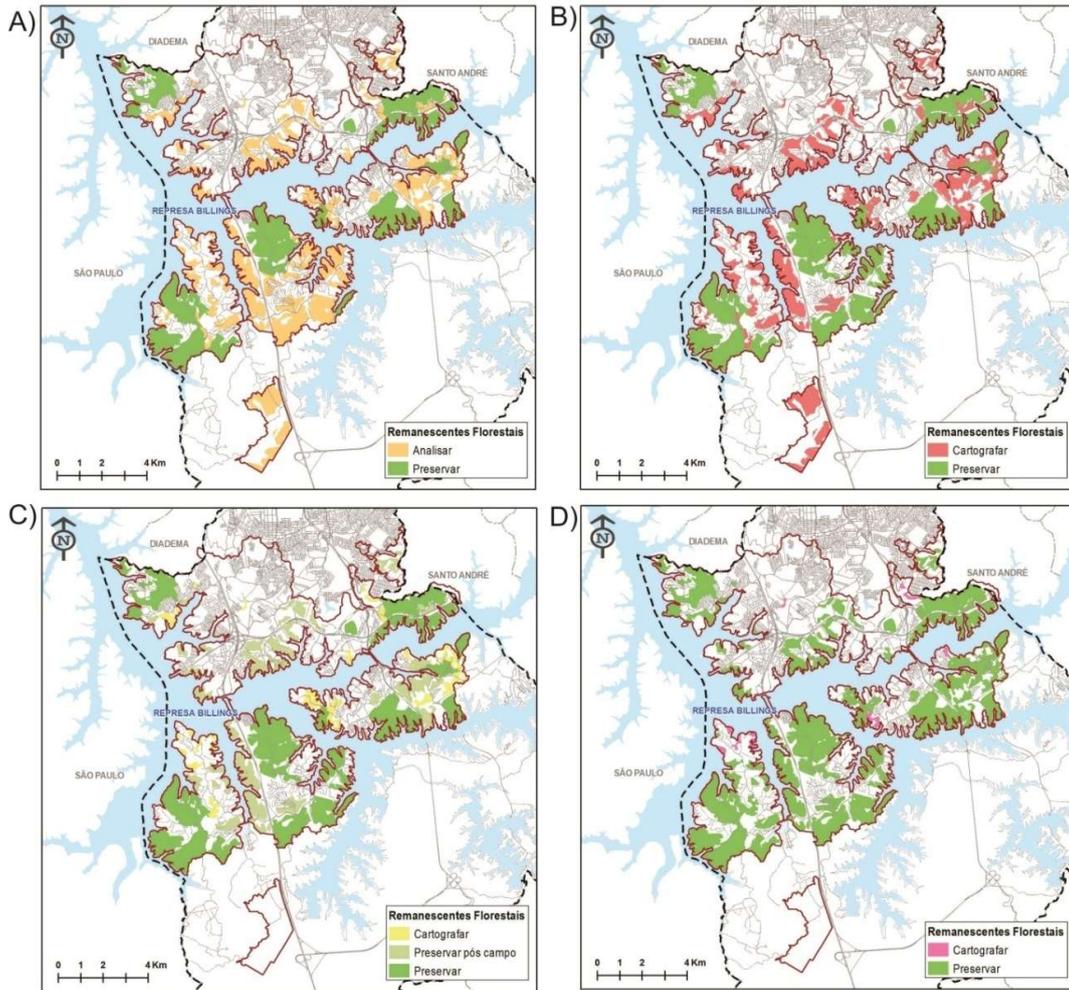
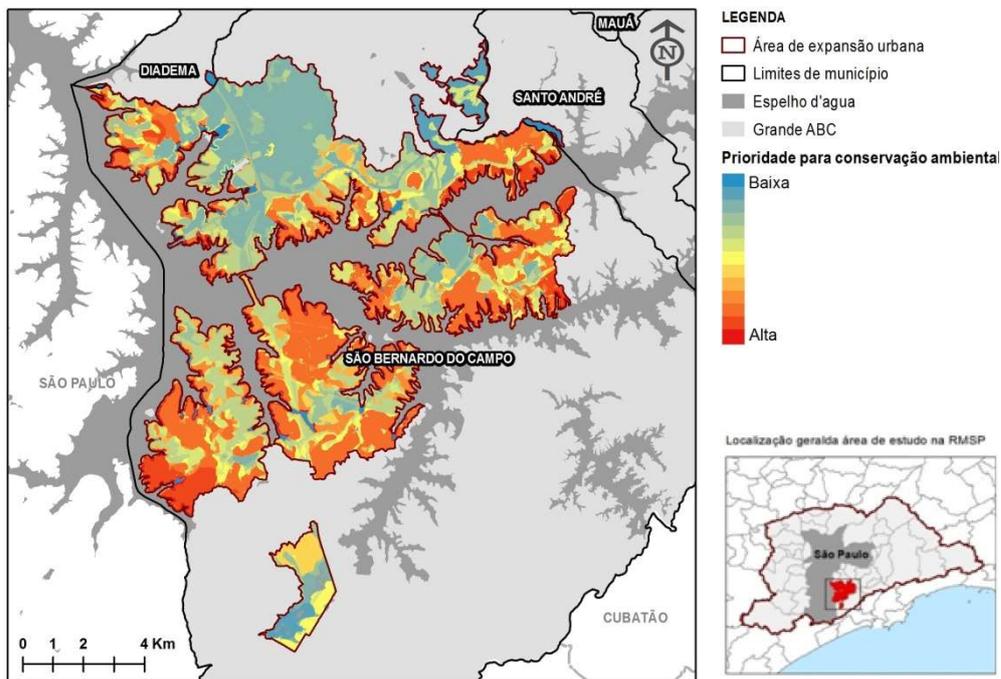


Figura 6. Áreas prioritárias para conservação ambiental de São Bernardo do Campo



2.3. A participação do gestor municipal

Conforme retratado por Diniz e Freitas (2013) e reafirmado pelos autores Nogueira e Canil (2015), no processo de elaboração das cartas é primordial a participação e o acompanhamento por parte do gestor e dos técnicos, como principais usuários das cartas, na adequação de uma ferramenta norteadora de recomendações para o planejamento da ocupação. A colaboração por parte das prefeituras é fundamental em todas as etapas do projeto, desde o início, na disponibilização da base de informação de referência, no processo de elaboração, indicando necessidades intrínsecas ao município e no fim, participando da validação dos resultados obtidos.

Tendo em vista a interdisciplinaridade, a integração de políticas públicas e a participação efetiva da prefeitura presentes na carta de aptidão à urbanização, é importante ressaltar o desigual envolvimento que os dois municípios do estudo tiveram com a equipe da UFABC, e o seu reflexo nos resultados finais. Em São Bernardo do Campo, houve a efetiva participação em todas as etapas do projeto, com apoio técnico e político da equipe administrativa com a participação de diversas secretarias, como Planejamento Urbano, Gestão Ambiental e Habitação, como principais usuários da carta (NOGUEIRA & CANIL, 2015).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a institucionalização do Plano Nacional de Gestão de Riscos e Respostas a Desastres em conjunto com a aprovação da lei n° 12.608/2012 muito se evoluiu quanto a estruturação de um sistema de gestão de riscos integrado. A criação e efetivação de instrumentos, como a carta geotécnica de aptidão à urbanização, tem contribuído para essa para o processo de conhecimento técnico e científico quanto ao estabelecimento de mecanismos de prevenção e redução de riscos. O caráter interdisciplinar atribuído a esta cartografia, quando associada aos mecanismos de gestão urbana, tem o potencial de reforçando e interligar as demais legislações relativas ao ordenamento territorial e o uso e ocupação do solo. A carta de aptidão à urbanização deve refletir as características físicas e ambientais locais, e abarcar outros componentes relativos as especificidades de sua aplicação. Ademais, como anteriormente ressaltado, dentro seu processo de elaboração é de suma importância a participação dos gestores e técnicos municipal para a apropriação adequada dos aspectos apresentados e validação das informação levantadas.

Dessa forma, a inclusão das áreas de prioridade para conservação no produto final das cartas de aptidão à urbanização dos municípios torna esse instrumento mais integrado com as políticas públicas de uma forma geral e demonstra a característica da interdisciplinaridade, necessária para a sua

produção.

Ademais, As cartas geotécnicas de aptidão à urbanização são um instrumento de caráter preventivo com o objetivo de definir diretrizes para o parcelamento do solo em áreas de expansão urbana, para a ocupação de novas áreas ou para a consolidação de áreas com algum grau de urbanização. A metodologia em construção para a sua elaboração não deve considerar variáveis ou padrões específicos, sua criação deve refletir as especificidades, problemas, fenômenos e/ou processos pertinentes a cada área de estudo, município e/ou região, não sendo estes replicáveis em grau, número e escala. Orientando a criação de leis específicas, como de uso e ocupação do solo e o plano diretor municipal, e na indicação de usos possíveis que potencializem positivamente os instrumentos já existentes, a carta geotécnica de aptidão à urbanização serve de base para a formulação de novas políticas e tomada de decisão do gestor público.

AGRADECIMENTOS

Ao grupo de pesquisa de Universidade Federal do ABC que nos permitiu ter uma participação tão relevante na discussão metodológica quanto à criação de Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização do município de São Bernardo do Campo – SP

REFERÊNCIAS

BRASIL . **Lei no 10.257**, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, em 11 de junho de 2001. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm

_____. **Lei Nº 12.608**, de 10 de abril de 2012. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC, autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres e dá outras providências. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm

_____. **Lei nº 12.651**, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166- 67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 25 mai 2012.

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.

COUTINHO, M. P; LONDE, L. R; SANTOS, L. B. L; LEAL, P. J. V. **Instrumentos de planejamento e preparo dos municípios brasileiros à Política de Proteção e Defesa Civil**. Revista Brasileira de Gestão Urbana (Brazilian Journal of Urban Management), p. 383-396, 2015. <http://www.scielo.br/pdf/urbe/v7n3/2175-3369-urbe-2175-3369007003A006.pdf>

DINIZ, N.C. **Cartografia geotécnica por classificação de unidades de terreno e avaliação de suscetibilidade e aptidão**. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental. v.2. n. 2. p. 29 – 78. 2012.

DINIZ, N. C, FREITAS, C. G. L. (coord.) **Cartografia geotécnica**. In: COUTINHO, R.Q. (coord. geral e org.) **Parâmetros para a cartografia geotécnica e diretrizes para medidas de intervenção de áreas sujeitas a desastres naturais**. Ministério das Cidades/ GEGEP/UFPE, Recife. 2013.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. 2014. **Atlas da evolução dos remanescentes florestais e ecossistemas associados no domínio da Mata Atlântica no período 2012-2013**. São Paulo, SOS Mata Atlântica/INPE/ISA

INSTITUTO FLORESTAL - SECRETÁRIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2009. **Inventário Florestal da Vegetação Natural do Estado de São Paulo**. São Paulo. Disponível em: <http://www.iflorestal.sp.gov.br/sifesp/inventario.html>

ISA – Instituto Socioambiental. **Billings - Ameaças e perspectivas para o maior reservatório de água da região metropolitana de São Paulo**. São Paulo: ISA, 2000.

GALERA, R. A; COSTA, F. C. **Discussão metodológica para elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização: avaliação dos remanescentes de mata atlântica do município de São Bernardo do Campo - SP**. In: CBGE - Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 15, Bento Gonçalves. 2015. Disponível em: <http://cbge2015.hospedagemdesites.ws/trabalhos/trabalhos/326.pdf>

LAVELL, A. **Degradación ambiental, riesgo y desastre urbano. Problemas y conceptos: hacia la definición de una agenda de investigación**. In: Fernández, M. A. (comp.). **Ciudades en riesgo**. LA RED-USAI. Lima. 1996.

MANSILLA, E. **Riesgo y ciudad**. México: Universidad Autónoma de México, División de Estudios de Posgrado, Facultad de Arquitectura, 2000. Disponível em:

<http://www.desenredando.org/public/libros/2000/ryc/RiesgoYCiudad-1.0.1.pdf>

NOGUEIRA, F. R.; CANIL, K. (Coord.) **Elaboração de Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização Frente aos Desastres Naturais no(s) Município(s) de Rio Grande da Serra e São Bernardo do Campo, Estado de São Paulo** – Relatório Final. UFABC/MCIDADES, Santo André. 2015.

SOBREIRA, F. G.; SOUZA, L. A. **Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano**. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, v.2, n.1, p. 79-97, 2012.

ABSTRACT: Geotechnical map of aptitude to urbanization is an instrument defined by law No.12,608/12, it's goal is to guide land use planning, through the establishment of guidelines for land subdivision, with the definition of urban parameters that aim at the security of new occupations and allotments. Focused on the areas of occupation established inside the perimeter of urban expansion, the maps produced on scales between 5: 000 and 10: 000, should represent the intrinsic dynamics of which area, not just the physical aspects, but also local social and environmental characteristics. Thus, the article focuses on discussing the importance of specific studies, considering the complexity and diversity of the different contexts in the federal register of municipalities susceptible to the occurrence of geological or hydrological processes. Using the city of São Bernardo do Campo / SP as a study area, we discuss the potential conflicts related to urbanization by the analysis of a number of legal instruments that define different recommendations for land use and occupation, since that the municipality is part of a watershed protection area protected by a specific law.

KEYWORDS: geotechnical map of aptitude to urbanization; land use planning; Occupation guidelines; risk management.

CAPÍTULO IV

CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA DE MACIÇOS ROCHOSOS COMPOSTOS PELAS PRINCIPAIS LITOLOGIAS DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE

**Walter dos Reis Junior
Maria Giovana Parizzi**

CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA DE MACIÇOS ROCHOSOS COMPOSTOS PELAS PRINCIPAIS LITOLOGIAS DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE

Walter dos Reis Junior

Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte, Minas Gerais

Maria Giovana Parizzi

Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte, Minas Gerais

RESUMO: Como um dos subsídios fundamentais no planejamento urbano, seja na elaboração de planos diretores ou em projetos de engenharia, a análise do comportamento geomecânico dos maciços rochosos de uma região, mostra-se extremamente importante. Existem inúmeros métodos para a realização desses estudos, dentre eles a utilização de sistemas de classificação, que fornecem informações sobre as características geotécnicas de rochas. Os principais parâmetros que influenciam os resultados são a resistência à compressão pontual, percolação de água e as características dos sistemas de descontinuidades que ocorrem nos diferentes tipos litológicos. Quatro maciços rochosos, constituídos por rochas metassedimentares, gnaiss, siltito e calcário, foram caracterizados e, posteriormente, classificados segundo os sistemas *RMR* e *Q*. As classificações evidenciaram diferentes comportamentos geomecânicos e foram validadas através de relações propostas por Bieniawski (1989) e Barton (1995), devido a certo conservadorismo de um dos sistemas.

PALAVRAS-CHAVE: Classificação geomecânica; caracterização geotécnica, gnaisses; metassedimentares; rochas sedimentares;

1. INTRODUÇÃO

O estudo do comportamento geomecânico das rochas é de extrema importância, sobretudo em tempos em que há uma intensificação do crescimento urbano ao redor de grandes centros, como acontece na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH). Informações sobre a qualidade dos maciços rochosos podem ser obtidas através de diversos sistemas de classificação geomecânica. Esses dados são muito relevantes no que tange o planejamento urbano, servindo como arcabouço para a elaboração de planos diretores, cartas geotécnicas e projetos de engenharia.

Neste contexto, maciços rochosos na RMBH foram caracterizados e classificados com a função de elucidar as variações nas propriedades mecânicas das principais litologias da região, bem como na qualidade desses maciços. Essas rochas inserem-se no contexto do Complexo Belo Horizonte, Grupos Nova Lima (Dorr II et al., 1957) e Bambuí, respectivamente, rochas metassedimentares,

gnaisse, siltitos e calcários.

Os sistemas de classificação utilizados nesse trabalho são proposições de Barton et al. (1974) e Bieniawski (1989). Embora esses resultados possam informar algumas características geotécnicas como coesão, atrito interno e módulo de deformação, esta análise objetivou somente a classificação geomecânica, não abordando os mecanismos de instabilidade e ruptura desses maciços. Ainda que tais sistemas tenham sido inicialmente desenvolvidos para auxiliar reforços em túneis, através da obtenção de dados quantitativos, Bieniawski (1990) ressalta as vantagens da utilização desses métodos de classificação, pois também são aplicáveis em fundações e taludes.

Na Região Metropolitana de Belo Horizonte essas classificações são empregadas em diversas análises sobre o comportamento geomecânico de maciços rochosos, destacando-se trabalhos como Nonato (2002), Zacarias (2003), Parizzi (2004), Ferreira (2008), Barbosa (2008), Costa (2009), Avila (2012) e Reis Junior (2016).

2. CONTEXTO GEOLÓGICO

A Região Metropolitana de Belo Horizonte situa-se na porção central do estado de Minas Gerais, sendo caracterizada por uma grande variedade litológica. Seu arcabouço geológico constitui-se de complexos granito-gnáissicos de idades mesoarqueanas (Complexos Belo Horizonte, Caeté, Bonfim, Divinópolis), sucedidos por uma sequência *greenstone belt* meso/neoarqueana, correspondente ao Supergrupo Rio das Velhas (Renger et al., 1994; Noce, 1995; Heineck, 1997; Batalzar & Zuchetti, 1998). Recoberto esse cinturão metamórfico encontram-se as unidades proterozóicas (Supergrupos Minas, Espinhaço e São Francisco), além de coberturas fanerozóicas (Simmons, 1968; Dorr, 1969; Renger et al., 1994).

O Complexo Belo Horizonte é predominantemente constituído por gnaisse cinzentos, que apresentam frequentes feições de migmatização e bandamento composicional (Noce et al., 1994). São rochas ortoderivados do tipo TTG (Figueiredo & Barbosa, 1993 in Noce, 1995). O complexo aflora sob a forma de grandes lajedos, e mais raramente, como pequenos morros tipo “pães de açúcar” (Féboli, 2010). Porém apresenta-se em geral, saprolitizado ou recoberto por manto de intemperismo silto-argiloso de tonalidades avermelhadas (Silva, 2002).

O Grupo Nova Lima consiste em uma sucessão de micaxistos, formação ferríferas bandadas, grauvacas, quartzitos, conglomerados, rochas metavulcânicas, xistos e filitos grafitosos, quartzo-anquerita xisto e outros metassedimentos (Dorr II et al., 1957).

O Grupo Bambuí é caracterizado por uma sequência de rochas carbonáticas e pelíticas, sendo formado pelas formações Sete Lagoas, Serra de Santa Helena e Lagoa do Jacaré (Dardenne, 1978) na RMBH. A Formação Sete Lagoas é constituída por rochas carbonáticas com intercalações de margas e pelitos. Scholl (1972) subdivide a formação, em duas fácies: Pedro Leopoldo e Lagoa Santa. A

Formação sobrejacente, Serra de Santa Helena, constitui-se por rochas siliciclásticas e sedimentos carbonáticos, subordinados (Viana et al., 1998) . As principais rochas são siltitos, folhelhos e argilitos. A Formação Lagoa do Jacaré é composta por calcários negros a cinza, com intercalações de siltitos e folhelhos esverdeados. Essas rochas ocorrem sub-horizontalizadas, porém (Tuller et al., 2010) as descreve, localmente, muito deformadas.

3. CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA

Foram caracterizados quatro maciços rochosos, pertencentes ao Grupo Nova Lima, Complexo Belo Horizonte e Grupo Bambuí (Figura 1), para classificação segundo os sistemas *RMR* (Bieniawski, 1989) e *Q* (Barton et al., 1974). A análise foi realizada com rochas metassedimentares, gnaisses, siltitos e calcários.

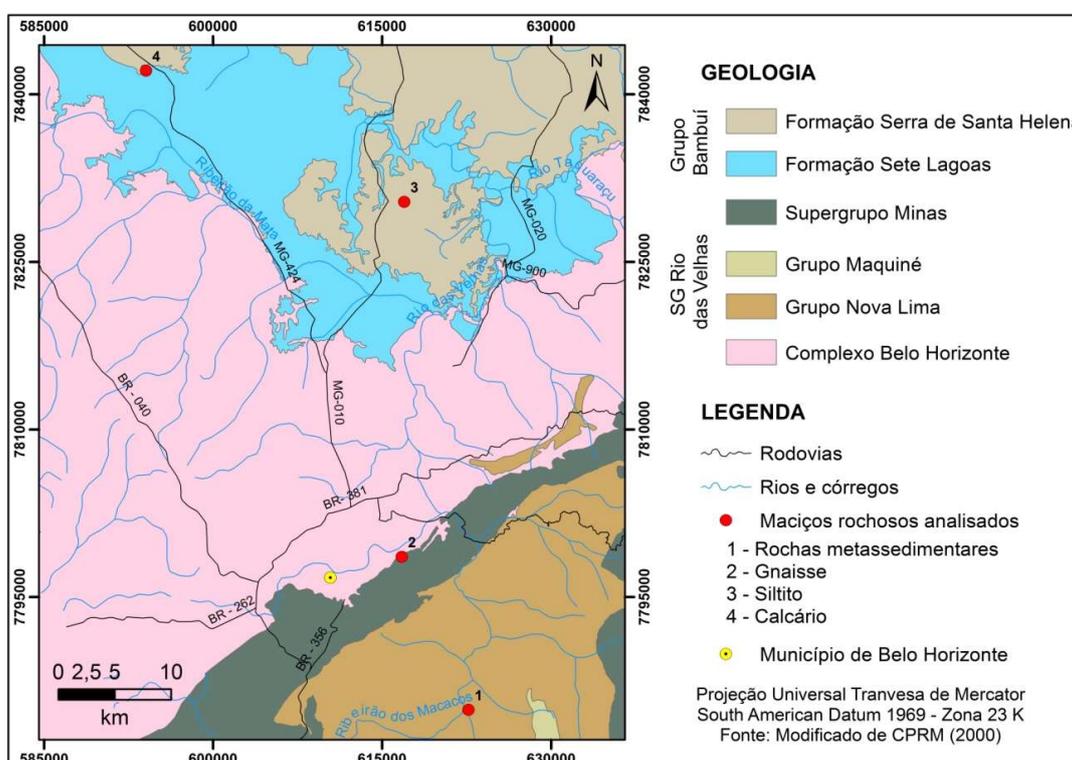


Figura 1 - Mapa geológico da porção sul da RMBH e localização dos afloramentos analisados (modificado de CPRM, 2000)

Os parâmetros utilizados na caracterização das discontinuidades (Quadro 1) dos maciços foram orientação, espaçamento, persistência, abertura, rugosidade, preenchimento, percolação de água, estado de alteração, resistência das paredes e *RQD*, segundo critérios propostos por *ISRM* (1978).

Orientação	Direção e ângulo e mergulho da discontinuidade.
Espaçamento	Espaçamento modal ou distância média entre discontinuidades de uma mesma família.

Persistência	Continuidade do plano de descontinuidade.
Abertura	Distância perpendicular entre superfícies adjacentes de uma descontinuidade.
Rugosidade	Mensuração das irregularidades do relevo da descontinuidade.
Preenchimento	Material que preenche o espaço entre as paredes da descontinuidade.
Percolação de água	Intensidade do fluxo de água e umidade livre visíveis nas descontinuidades ou no maciço como um todo.

Quadro 1 – Parâmetros de caracterização geotécnica de maciços rochosos (ISRM, 1978)

Para a estimativa da resistência à compressão pontual (σ_c) dos maciços realizaram-se testes in situ com o esclerômetro de Schmidt. Posteriormente os índices esclerométricos (IE) ou número de rebotes (HR) obtidos durante o procedimento foram tratados através da relação (equação 1) proposta por Katz et al. (2000).

$$\ln(\sigma_c) = 0,067HR + 0.792 \quad (1)$$

Os valores de RQD foram calculados a partir da frequência de descontinuidades por metro linear (λ) com o auxílio da equação 2, proposta por Priest & Hudson (1976).

$$RQD = 100e^{-0,1\lambda} (0,1\lambda + 1) \quad (2)$$

3.1. ROCHAS METASSEDIMENTARES

O maciço rochoso situa-se na estrada MG-030, próximo a Alta de Gaya, no município de Nova Lima. Sua extensão total equivale a aproximadamente 100 metros de comprimento e uma altura máxima de 20 metros. A principal característica do afloramento diz respeito à variação litológica e do número de famílias de descontinuidades presentes. Portanto, compartimentou-se a sequência em três zonas (Figura 2).

O setor Z1 constitui-se de filitos sericíticos intensamente intemperizados. Apresenta coloração avermelhada e baixa resistência à percussão com o martelo de geólogo. A alteração mineral é notável, bem como o preenchimento de suas aberturas por material oriundo da própria decomposição da rocha, silte e argila. Estes indícios evidenciam uma grande percolação de água, embora suas descontinuidades não estivessem úmidas. Foram identificadas cinco famílias de descontinuidades, incluindo a foliação (tabela 1).

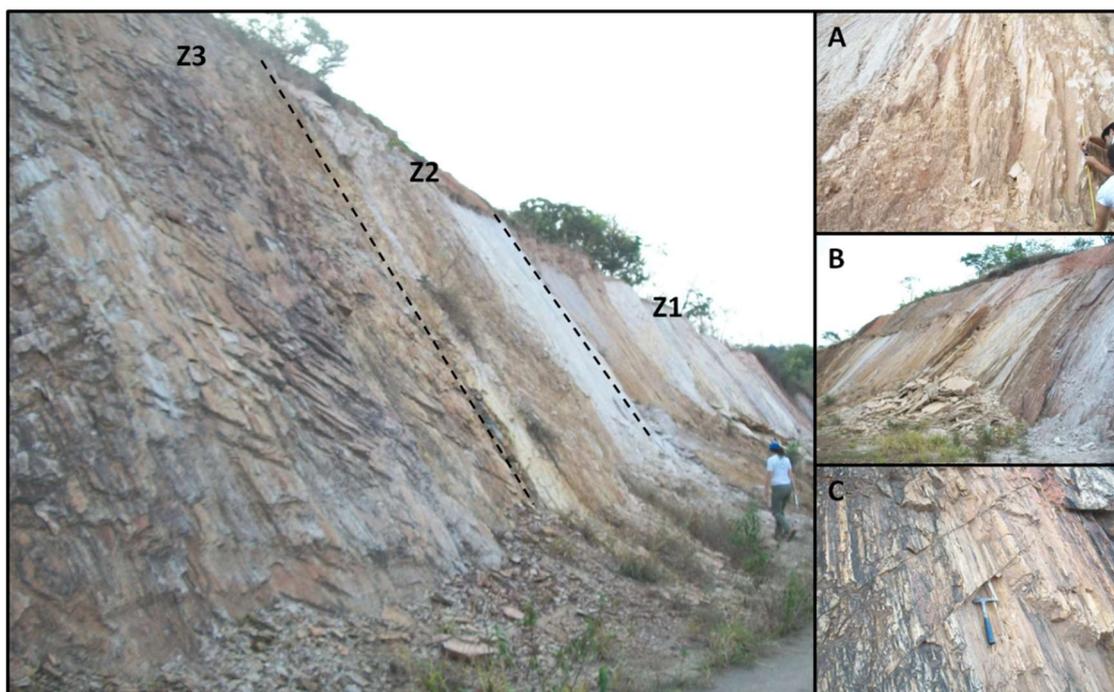


Figura 2 – Afloramento de rochas metassedimentares do Grupo Nova Lima. Z1/A: Filitos sericíticos; Z2/B: Quartzo-filitos; Z3/C: Quartzitos; (UTM 23K - 622668/7784912)

Tabela 1 - Principais características das discontinuidades no setor Z1.

Famílias	Espaçamento	Persistência	Abertura	Rugosidade	Preenchimento	Percolação	Atitude média
F1	1 cm	2,5 m	1 mm	Irregular Estriada	Argila Silte	Água intersticial	102/53
F2	2 cm	1,5 m	1 mm	Irregular Rugosa	Argila Silte	Úmido	348/87
F3	150 cm	<1 m	1,5 mm	Irregular Rugosa	Argila Silte	Úmido	40/80
F4	15 cm	<1 m	2 mm	Irregular Rugosa	Argila Silte	Úmido	95/22
F5	20 cm	<1 m	1 mm	Irregular Rugosa	Argila Silte	Úmido	115/64

A partir dos índices esclerométricos obtidos nos nove testes com o esclerômetro de Schmidt foi estimada uma resistência a compressão pontual equivalente a 4,7 Mpa. O RQD calculado para esse setor foi de 73%. Embora esse valor seja relativamente elevado quando comparado com o número de discontinuidades e seu espaçamento, ele reflete a baixa persistência da maior parte das juntas. Neste compartimento observou-se rupturas planares, desenvolvendo-se segundo os planos de foliação, F1. Subordinadamente, também ocorrem queda de blocos e deslocamento.

Em Z2 também ocorrem filitos, porém com uma contribuição maior de quartzo em sua composição, podendo ser classificado como quartzo-filito. Os minerais apresentam-se alterados, porém os grãos de areia fina de quartzo lhe dão

um comportamento um pouco mais resistente. Evidências de percolação de água pelas discontinuidades também foram observadas, com lavagem de preenchimento. Foram descritas quatro famílias de discontinuidades, incluindo a foliação (tabela 2).

Tabela 2 - Principais características das discontinuidades no setor Z2.

Famílias	Espaçamento	Persistência	Abertura	Rugosidade	Preenchimento	Percolação	Atitude média
F1	1 cm	2,5 m	1 mm	Irregular Estriada	Argila, silte Areia fina	Água intersticial	80/53
F2	3 cm	1,5 m	1 mm	Irregular Rugosa	Argila, silte Areia fina	Úmido	354/87
F3	150 cm	<1 m	1,5 mm	Irregular Rugosa	Argila, silte Areia fina	Úmido	333/74
F4	20 cm	<1 m	2 mm	Irregular Rugosa	Argila, silte Areia fina	Úmido	85/27

Foram realizados sete testes esclerométricos e baseado no número de rebotes de Schmidt obtido, determinou-se uma resistência à compressão pontual um pouco mais elevada que a estimada para o setor anterior, 5,2 Mpa. O valor do RQD encontrado para esse trecho também é superior ao de Z1, 84%.

No tocante dos movimentos de massa, também foram observadas rupturas planares e queda de blocos. Em alguns pontos, pode-se notar a intercessão de algumas discontinuidades, gerando rupturas em cunha.

A porção Z3 caracteriza-se pela ocorrência de quartzito são. Não foram identificados sinais de alteração, somente leve descoloração. Esse trecho do afloramento é cortado por três famílias de discontinuidades (tabela 3).

Tabela 3 - Principais características das discontinuidades no setor Z3.

Famílias	Espaçamento	Persistência	Abertura	Rugosidade	Preenchimento	Percolação	Atitude
F1	3 cm	2 m	Fechada	Irregular Rugosa	-	Seco	105/55
F2	30 cm	1,5 m	0,5 mm	Irregular Rugosa	Silte areia fina	Seco	25/64
F3	20 cm	<1 m	Fechada	Irregular Rugosa	-	Seco	215/35

A partir de cinco testes com o martelo de Schmidt, foi determinada uma resistência a compressão pontual equivalente a 55 Mpa. O valor de RQD encontrado para as rochas quartzíticas dessa porção do afloramento foi 94%. Diferentemente das seções adjacentes, em Z3 não foram identificadas nenhum tipo de ruptura, somente o desenvolvimento de blocos, formados pela interseção das discontinuidades, o que pode condicionar movimentos de massa, como quedas e rolamentos de blocos.

3.2. GNAISSE

Este afloramento situa-se na cidade de Belo Horizonte, Rua Marzagânia, Vila da Ária, próximo a divisa com o município de Sabará. Suas dimensões equivalem a 15 metros de extensão e 5 de altura, aproximadamente.

A rocha encontra-se, basicamente, sã, com porções escurecidas devido à percolação de água pluvial (Figura 3). Não foram observados indícios de alteração mineral. Foram descritas três famílias de descontinuidades (Tabela 4).



Figura 3 - Afloramento de gnaissse do Complexo Belo Horizonte. (UTM 23K - 616760/7798609)

Tabela 4 - Principais características das descontinuidades no maciço de gnaissse.

Famílias	Espaçamento	Persistência	Abertura	Rugosidade	Preenchimento	Percolação	Atitude média
F1	25 cm	1,5 m	0,1 mm	Planas Rugosas	-	Seco	0/86
F2	15 cm	<1 m	0,5 mm	Planas Rugosas	-	Seco	297/86
F3	40 cm	1 m	Fechada	Planas Rugosas	-	Seco	137/32

Foram realizados sete testes esclerométricos, a partir dos quais determinou-se uma resistência à compressão pontual média de 175 Mpa. O RQD calculado

para o maciço rochoso equivale a 94%. No que tange os movimentos de massa, foi possível observar a formação de blocos, controlada pelas descontinuidades descritas, embora não tenha sido notada grande evolução desse processo.

3.3. ILTITO

O afloramento situa-se na Rua Gerson da Costa Viana, município de Lagoa Santa, estende-se por cerca de 100 metros e atinge aproximadamente 2 metros de altura (Figura 4).



Figura 4 – Afloramento de siltito da Formação Serra de Santa Helena, Grupo Bambuí. (UTM 23K – 616969/7830388)

A litologia encontra-se em elevado estado de alteração e bastante friável. Os únicos indícios de percolação de águas pluviais estão relacionados à feições erosivas. Foi possível a identificação de somente um sistema de descontinuidade, paralelizado ao acamamento (Tabela 5). Entretanto são descritos diversos sistemas de fraturas na região.

Tabela 5 - Principais características das discontinuidades no talude de siltito.

Famílias	Espaço	Persistência	Abertura	Rugosidade	Preenchimento	Percolação	Atitude
F1	-	> 20 m	Fechada	-	Silte Argila	Seco	130/15

A partir de cinco ensaios esclerométricos, estimou-se uma resistência a compressão pontual de 2,2 MPa, o que é justificado pelo elevado grau de intemperismo e também pela própria natureza da rocha, comumente tratada como branda. O RQD estimado foi de 77%.

3.4. CALCÁRIO

O talude analisado está situado na rodovia MG-424, nas proximidades da Mineração Belocal, na cidade de Matozinhos. Foram observados indícios de antiga extração de calcário.

A rocha descrita encontra-se levemente alterada, nas porções intermediária e inferior do talude, porém nota-se que na porção superior os processos de alteração foram mais intensos, onde é possível observar o desenvolvimento de solos e vegetação de grande porte (Figura 5). Também se observa dutos de dissolução, característicos desse tipo de litologia. Foram identificados três sistemas de discontinuidades (Tabela 6), que embora apresentassem pequena abertura, evidenciavam percolação de água.



Figura 5 - Afloramento de calcário da Formação Sete Lagoas, Grupo Bambuí. (UTM 23K - 594067/7841969)

A resistência a compressão pontual estimada, a partir de seis testes com o esclerômetro de Schmidt, corresponde a 71,95 MPa. O valor de *RQD* é de 81%. É possível observar a formação de blocos, condicionados pelos sistemas de descontinuidades.

Tabela 6 – Principais características das descontinuidades no maciço de calcário.

Famílias	Espaçamento	Persistência	Abertura	Rugosidade	Preenchimento	Percolação	Atitude média
F1	> 5 cm	>5 m	<0,1 mm	Planas Rugosas	Argila Silte	Escorrimento	60/05
F2	20 cm	<1 m	<0,1 mm	Planas Rugosas	Argila Silte	Úmida	25/75
F3	10-15 cm	1-3 m	Fechada	Planas Rugosas	Argila Silte	Úmida	230/88

4. CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA

Através dos sistemas de classificação geomecânica, *RMR* e *Q*, propostas por Bieniawski (1989) e Barton et al. (1974) foram determinados os índices geomecânicos para os afloramentos analisados (tabela 7).

Tabela 7 – Índices geomecânicos *RMR* e *Q*.

Classificação geomecânica		Filito Z1	Quartzo-filito Z2	Quartzito Z3	Gnaisse	Siltito	Calcário
RMR	Nota Descrição	38 FRACO	47 RAZOÁVEL	65 BOA	66 BOA	46 RAZOÁVEL	56 RAZOÁVEL
Q	Nota Descrição	0,2 MUITO RUIM	0,7 MUITO RUIM	6,27 REGULAR	6,26 REGULAR	0,96 MUITO RUIM	0,9 MUITO RUIM

É notável a diferença entre o comportamento geomecânico dos maciços rochosos. Os dois sistemas de classificação podem fornecer índices diferentes, que por vezes são bastante contrastantes. Observa-se o caráter mais conservador que o sistema *Q* apresenta nessa análise, visto a influência que o número de famílias de descontinuidades exerce nessa classificação. Entretanto, características relacionadas à alteração mineral e resistência à compressão pontual podem ficar mais evidentes no sistema *RMR*.

Diversos pesquisadores propõem correlações entre os dois sistemas de classificação, incluindo Bieniawski (1989) e Barton (1995), demonstradas respectivamente pelas equações 3 e 4.

$$RMR = 9 \ln Q + 44 \quad (3)$$

$$RMR = 15 \log Q + 50 \quad (4)$$

Valores de *RMR* para as seis rochas identificadas nesse trabalho foram calculados a partir do índice *Q*, utilizando as relações de Bieniawski (1989) e Barton (1995). Os resultados encontrados (tabela 8) corroboram a classificação geomecânica desses maciços rochosos, visto que foram determinadas as mesmas classes a partir das duas relações acima.

Tabela 8 – Valores do índice *RMR* calculados a partir do índice *Q*, com base nas relações propostas por Bieniawski (1989) e Barton (1995).

Relação		Filito Z1	Quartzo- filito Z2	Quartzit o Z3	Gnaisse	Siltito	Calcário
Bieniawski (1989)	Nota	29,6	41,2	61,3	61	43,7	43,1
	Descrição	FRACO	RAZOÁVEL L	BOM	BOM	RAZOÁVEL L	RAZOÁVEL
Barton (1995)	Nota	39,5	47,8	61,96	61,95	49,7	49,3
	Descrição	FRACO	RAZOÁVEL L	BOM	BOM	RAZOÁVEL L	RAZOÁVEL

5. CONCLUSÕES

O trabalho mostra a utilização de sistemas de classificação de maciços rochosos, no que tange seu comportamento geotécnico. Fica evidente que algumas características das descontinuidades têm uma maior influência nos resultados, como o número de famílias de descontinuidades, bem como seu grau de alteração e resistência à compressão pontual. Portanto, é importante o emprego de relações que possam ratificar o resultado das classificações realizadas em sistemas diferentes, como demonstrado entre os sistemas *RMR* (Bieniawski, 1989) e *Q* (Barton et al., 1974). É válido lembrar que comumente as classificações geomecânicas são utilizadas de forma pontual, ou ainda, em mapeamentos de pequena abrangência, como obras e minas.

Os maciços rochosos analisados apresentam comportamentos geomecânicos distintos, não somente devido às variações nas características das descontinuidades, mas também devido à própria natureza e composição das litologias classificadas.

As classes determinadas a partir do sistema *RMR*, podem ainda ser ajustadas com base no tipo e direção de intervenções, como cortes e escavações, visto que esta análise teve como foco a qualidade do maciço como um todo, não se atendo a relação entre cortes e as descontinuidades que seccionam os maciços. Para estudos mais específicos, em que haja a necessidade da avaliação desta relação, sugere-se que sejam aplicadas ajustes, conforme proposto pelo sistema

SMR (Romana, 1985).

REFERÊNCIAS

AVILA, C. R. **Determinação das propriedades mecânicas de maciços rochosos e/ou descontinuidades utilizando classificação geomecânica – uma comparação entre os diversos métodos de classificação.** Ouro Preto.

NUGEO/UFOP. 2012. Dissertação de Mestrado. 233p.

BARBOSA, E. S. **Avaliação do suporte com cabos de aço na mina Cuiabá (Sabará – MG).** Ouro Preto. NUGEO/UFOP. 2008. Dissertação de Mestrado. 203 p.

BARTON, N. **The influence of joint properties in modelling jointed rock masses.** In: *ISRM Congress, 8., 1995. Tokyo. Keynote Lecture.* Rotterdam, Balkema, 1995. Vol. 3, p. 1023-1032.

BARTON, N; LIEN R. & LUNDE, J. **Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support.** *Rock Mechanics. Vienna, V.6, n.4, p. 189-236.* 1974.

BIENIAWSKI, Z.T. **Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil and petroleum engineering.** New York, John Wiley & Sons. 1989. 251 p.

BIENIAWSKI, Z.T. **Tunnel design by rock mass classifications.** Springfield. US Army Corps of Engineers. 1990. 159 p. Atualização de relatório técnico para o exército americano.

COSTA, T. A. V. **Caracterização geológico-geotécnica e modos de ruptura do minério hematítico friável nas minas da Vale, Borda Oeste do Quadrilátero Ferrífero – MG.** Ouro Preto. NUGEO/UFOP. 2009. Dissertação de mestrado profissional. 195 p.

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Carta geológica FOLHA SE. 23-Z-C-VI BELO HORIZONTE.** Belo Horizonte. CPRM. 2000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Escala 1:100.000.

DARDENNE, M. A. 1978. **Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central.** In: Congresso Brasileiro de Geologia, 30. 1978. Recife. Anais... Recife, SBG. 1978. p.597-610.

DORR, J.V. **Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais.** *USGS Professional Paper 614-A.* USGS. 1969. 110 p.

DORR II, J. V. N.; GAIR, J. E.; POMERENE, J. B.; RYNEARSON, G. A. **Revisão da estratigrafia pré-cambriana do Quadrilátero Ferrífero**. Avulso 81. Rio de Janeiro, DNPM/DFPM. 1957. 31 p.

FÉBOLI, W.L. 2010. **Complexo Belo Horizonte**. In: TULLER, M.P; RIBEIRO, J.H; SIGNORELLI, N; FÉBOLI, W.L. & PINHO J.M.M. (orgs). 2010. **Projeto Sete Lagoas-Abaeté, Estado de Minas Gerais: texto explicativo**. Belo Horizonte. CPRM, 2010. cap. 4.2.1, p. 28.30.

FERREIRA, A. M. **Modelagem computacional dos realces de lavra da mina Cuiabá, com vista ao dimensionamento de malha de cabos de contenção**. Ouro Preto. NUGEO/UFOP. 2008. Dissertacao de Mestrado. 210 p.

FIGUEIREDO, M.C.H.; BARBOSA, J.S.F. **Terrenos metamórficos de alto grau do Cráton do São Francisco**. In: Simpósio Sobre O Cráton Do São Francisco, 2, 1993. Salvador. Anais... Salvador. SBG/SGRM. 1993. P. 63-84.

HEINECK, C.A. **Geologia e mineralizações do Greenstone Belt Rio das Velhas na região de Mateus Leme, MG**. Belo Horizonte. IGC/UFMG. 1997. Dissertação de Mestrado. 154p.

ISRM. **Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock mechanics**. International Journal of Rock Mechanics Science and Geomechanics Abstracts. v. 15, p. 319-368. 1978.

KATZ O, RECHES Z & ROEGIERS JC. **Evaluation of mechanical rock properties using a Schmidt hammer**. International Journal of Rock Mechanics Science and Geomechanics Abstracts. v. 37, p. 723-728. 2000.

NOCE, C.M. 1995. **Geocronologia dos eventos magmáticos, sedimentares e metamórficos na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. São Paulo. USP. 1995. Tese de Doutorado. 128 p.

NOCE, C. M; MACHADO, N. & TEIXEIRA, W. **O Complexo Belo Horizonte e a evolução arqueana do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38, 1994. Camboriú. Anais. São Paulo, SBG. 1994. p. 68-69.

NONATO, C.A. **Contribuição a caracterização geológico-geomecânica no Quadrilátero Ferrífero**. Belo Horizonte. IGC/UFMG. 2002. Tese de Doutorado. 186p.

PRIEST S.D. & HUDSON J.A. **Discontinuity spacings in rock**. International Journal of Rock Mechanics Science and Geomechanics. 1976. V13: 135-148.

PARIZZI, M.G. **Condicionantes e mecanismos de ruptura em taludes da Região**

Metropolitana de Belo Horizonte, MG. Ouro Preto. DEGEO/UFOP. 2004. Tese de Doutorado. 233 p.

REIS JUNIOR, W. **Caracterização das unidades geotécnicas da porção leste da Região Metropolitana de Belo Horizonte, MG.** Belo Horizonte. IGC/UFMG. 2016. Dissertação de Mestrado. 163 p.

RENGER, F.E., NOCE C.M., ROMANO A.W. & MACHADO N. **Evolução sedimentar do Supergrupo Minas: 500 Ma de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil.** Geonomos. Belo Horizonte. V. 2(1), p. 1-11. 1994.

ROMANA, M. **New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slope.** In: International Symposia ISRM. 1985. Zacatecas. *Proceedings...*, Salzburgo, ISRM. 1985. P. 49-53.

SCHOLL, W. U. **Der Glied westliche Randbereich der Espinhaco - Zone, Minas Gerais, Brasilien.** Geol. Jb., Beih., Hannover. v. 121, p. 59- 94. 1972.

SILVA, H.A. **Mapeamento geológico, avaliação geológico-geotécnica e proposta de reabilitação de áreas degradadas por movimentos de massa e erosão, com o uso de técnicas de bioengenharia nos bairros Belvedere e Olhos D'água, Belo Horizonte/MG.** Belo Horizonte. IGC. 2002. Trabalho de Graduação, 143 p.

SIMMONS, G.C. **Geology and mineral resources of the Barão de Cocais area, Minas Gerais, Brazil.** *USGS Professional Paper 341-H.* USGS. 1968. p. 1-48.

TULLER, M.P. **Aspectos Fisiográficos, Hidrografia, Clima e Vegetação.** In: TULLER, M.P; RIBEIRO, J.H; SIGNORELLI, N; FEBOLI, W.L. & PINHO J.M.M. (Org.). **Projeto Sete Lagoas- Abaete, Estado de Minas Gerais: texto explicativo.** Belo Horizonte. CPRM, 2010. cap. 3, p. 21-24.

VIANA, H.S; TAVARES, V.P. & KOHLER, H.C. **Síntese da geologia, recursos minerais e geomorfologia.** Belo Horizonte. IBAMA/CPRM. 1998. 301 p. Série APA Carste de Lagoa Santa – MG.

ZACARIAS, C. M. **Classificação de maciços rochosos da Mina Córrego do Meio aplicada as operações de perfuração.** Belo Horizonte. PPGEM/EE/UFMG. 2003. Dissertação de Mestrado. 133 p.

ZUCCHETTI, M. & BALTAZAR, O.F. (EDS). **Projeto Rio das Velhas: texto explicativo do mapa geológico integrado, escala 1:100.000.** 2 ed. Belo Horizonte, Brasil: DNPM/CPRM. 1998. 121 p.

ABSTRACT: As one of the fundamental subsidies in urban planning, whether in the elaboration of master plans or engineering projects, the analysis of the geomechanical behavior of the rock masses of a region is extremely important. There are numerous methods for conducting such studies, including the use of classification systems, which provide information on the geotechnical characteristics of rocks. The main parameters that influence the results are the resistance to punctual compression, percolation of water and characteristics of discontinuity systems that occur in the different lithologic types. Four rocky masses, composed of metasedimentary rocks, gneiss, siltstone and limestone, were characterized and later classified according to the RMR and Q systems. Classifications showed different geomechanical behavior and were validated through the relations proposed by Bieniawski (1989) and Barton (1995), due to certain conservatism of one of the systems.

KEYWORDS: Geomechanical classification; Geotechnical characterization, gneisses; Metasedimentary; Sedimentary rocks;

CAPÍTULO V

CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA E MINERALÓGICA DE UMA ARGILA FORMADA SOB ATIVIDADE HIDROTHERMAL

**Marcelo Heidemann
Luiz A. Bressani
Juan A. Flores
Matheus Porto
Breno S. Barra
Yader A. G. Pérez**

CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA E MINERALÓGICA DE UMA ARGILA FORMADA SOB ATIVIDADE HIDROTHERMAL

Marcelo Heidemann

Universidade Federal de Santa Catarina
Joinville – SC

Luiz A. Bressani

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre – RS

Juan A. Flores

Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis – SC

Matheus Porto

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre – RS

Breno S. Barra

Universidade Federal de Santa Catarina
Joinville – SC

Yader A. G. Pérez

Universidade Federal de Santa Catarina,
Joinville – SC

RESUMO: Este trabalho dedica-se à caracterização química-mineralógica e da resistência ao cisalhamento em condição residual de um solo originado sob atividade hidrotermal. Este material ocorre em uma área de encosta no município de São José – SC, onde o perfil de solo residual de granito apresenta-se transpassado por veios preenchidos por uma argila rica em caulinitas e muscovitas. A formação desta argila está relacionada ao processo de muscovitização dos feldspatos presentes na rocha mãe e no solo residual, bem como da lixiviação de cátions de fácil remoção. O solo é classificado como uma argila de alta plasticidade (CH). Sobre a resistência ao cisalhamento, obteve-se ângulo de atrito residual da ordem de 8°, valor considerado baixo perante os medidos em outros solos no sul do Brasil. Este baixo ângulo de atrito parece ser fruto do alinhamento das partículas do solo de forma paralela entre si, conforme mostrado por imagens de MEV. Em termos volumétricos o solo argiloso é pouco representativo, mas a forma com que se dá sua ocorrência na encosta, constituindo-se em zonas de descontinuidade, assim como a baixa resistência ao cisalhamento, remetem à possibilidade de que a estabilidade da encosta seja influenciada pela resistência ao cisalhamento residual deste solo.

PALAVRAS-CHAVE: Resistência residual, alteração hidrotermal, muscovita, argila, granito.

1. INTRODUÇÃO

O processo de alteração hidrotermal (metasomatismo) é um agente metamórfico (de baixo grau) e de intenso intemperismo que ocorre quando água quente e íons dissolvidos na água (Na, Ca, Mg, principalmente) reagem com a rocha para modificar sua composição química e mineralógica (THOMPSON e TURK, 1997).

Conforme Dearman et al. (1978) a alteração hidrotermal é um importante mecanismo relacionado ao intemperismo químico, sendo que os produtos resultantes podem ser muito similares àqueles desenvolvidos sob intemperismo químico sem ação hidrotermal. Segundo Dejou (1977) *apud* Dobereiner et al. (1993), em condições de hidrotermalismo o processo químico de destaque é a hidrólise, que pode ter efeito duplicado ou triplicado a cada aumento de 10°C na temperatura.

Os processos de alteração hidrotermal se processam de forma frequente em zonas de descontinuidades, como relatado por Kuva et al. (2012) na Finlândia, Regmi et al. (2013) no Nepal, e Irfan (1998, 1994, 1988), em maciços graníticos de Hong Kong, por exemplo.

Em áreas de intensa alteração hidrotermal, a estrutura e textura da rocha podem ser completamente destruídas, sendo dificultada a identificação da rocha de origem (IRFAN, 1994).

No processo de evolução das rochas as alterações hidrotermais são tratadas como um processo à parte, muitas vezes desvinculado do fenômeno de intemperismo, embora ocorram concomitantemente. De acordo com Irfan e Woods (1988), os efeitos da alteração hidrotermal e do intemperismo químico são similares, sendo difícil distinguir se o produto final é resultante de intemperismo químico ou alteração hidrotermal, exceto onde a atividade hidrotermal conduz à formação de associações minerais específicas.

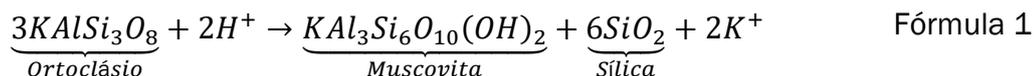
Nesse sentido, ainda conforme Irfan e Woods (1988), as alterações hidrotermais atingem profundidades consideravelmente maiores que o intemperismo químico. Dearman et al. (1978) afirmam que os efeitos dos dois processos podem ser distinguidos pelo tipo de controle estrutural e natureza do solo, identificadas em campo e em laboratório. Baynes et al. (1978) relatam que o intemperismo químico atua em sentido descendente, enquanto que alterações hidrotermais se manifestam internamente no maciço. Irfan (1994), por outro lado, não considera que o modo de distribuição possa ser utilizado como forma de diferenciar os processos.

Irfan e Woods (1988) reportam que em Hong Kong os efeitos de atividades hidrotermais podem estar confinados a certas direções de descontinuidades já existentes, e são normalmente associados a veios de caulinita, caulinita-quartzo ou outros minerais.

Sobre a presença de caulinitas em áreas suscetíveis a processos hidrotermais, Thompson e Turk (1997) esclarecem que o mesmo ocorre pois o alumínio e silício são muito resistentes à dissolução e não são removidos pelo fluxo

de água, combinando-se então com oxigênio e água para formar aquele argilomineral.

A atividade hidrotermal pode promover também o desenvolvimento de muscovitas a partir de feldspatos, como reportado por Wibberley (1999) e Regmi et al. (2013), o que é um processo típico de zonas de falhas em granitos, conforme Evans e Chester (1995) e Wintsch et al. (1995). A título de exemplo, a reação de transformação de ortoclásios em muscovitas é mostrada na fórmula 1, requerendo um fluido ácido para que a muscovitização ocorra, conforme Wibberley (1999).



A ocorrência deste processo tem sido documentada tanto em embasamentos cristalinos como em zonas cataclásticas (JANECKE e EVANS, 1988) e zonas de cisalhamento miloníticas (KNIPE e WINTSCH, 1985 *apud* WIBBERLEY, 1999). Kuva et al. (2012) reportam que as fraturas no maciço Finlandês de Olkiluoto são dominadas por argilas de origem hidrotermal e calcitas.

Sobre a importância de tais materiais no que tange à geotecnia, podem ser mencionados diversos problemas de instabilidade de taludes relacionados à presença de tais feições, principalmente por conta da baixa resistência ao cisalhamento de tais materiais e por constituírem-se descontinuidades na massa de solo ou rocha.

Segundo Wolle (1985) e Irfan (1998), a fissuração tende a isolar cunhas ou blocos que podem deslizar ao longo de planos de fraqueza. Hasegawa et al. (2009) relatam que na região central do Nepal, o avanço de uma zona de falha foi acompanhado por alterações hidrotermais e formação de argilas na superfície de deslizamento, o que tem condicionado sucessivos movimentos de massa.

Irfan e Woods (1988) relatam, em Hong Kong, a ruptura de um talude rodoviário de 18 m de altura, em solos de granito, organizado em sucessivas bancadas. Estudos revelaram a presença de juntas reliquias revestidas por argilas expostas na superfície de ruptura. Concluiu-se que a ruptura se deu em função da presença destes planos com orientação adversa. O movimento não ocorreu ao longo de uma única junta, mas se propagou através do solo residual intacto, interconectando várias juntas.

Siu e Premchitt (1990) *apud* Irfan (1998) descrevem uma ruptura ao longo de uma junta reliquiar contínua e preenchida por caulinita, em materiais graníticos de Hong Kong. Também em Hong Kong, Brand (1985) descreve uma ruptura progressiva ao longo de uma série de juntas de baixo ângulo, preenchidas por caulinita em solos saprolíticos de granito.

Raimundo et al. (2002) descrevem uma ruptura ocorrida no contato entre granito e diabásio, em Florianópolis - SC. Esta ruptura, segundo os autores, foi condicionada pela presença de diversos veios argilosos, com espessuras milimétricas até centimétricas e orientação paralela às superfícies das referidas rupturas. Os autores propõem que tais veios atuaram como elementos redutores

da condutividade hidráulica e da resistência operacional do maciço, visto que apresentam parâmetros de resistência inferiores aos do saprólito de granito.

Na porção leste do estado de Santa Catarina os corpos cristalinos encontram-se bastante afetados por descontinuidades, o que se deve, em parte, as características inerentes ao Cinturão de Cisalhamento Sul-brasileiro, conforme mostrado na Figura 1.

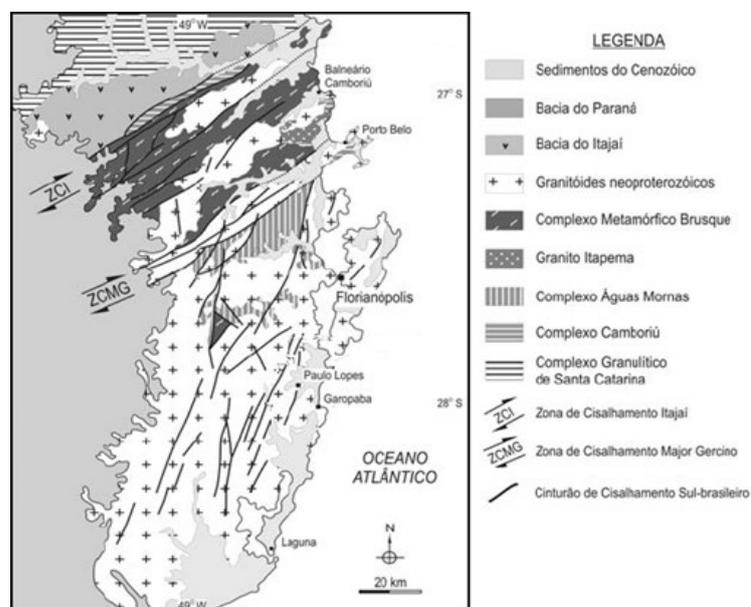


Figura 1. Arcabouço geológico da região estudada (modificado de Bitencourt et al., 2008).

Em uma área localizada no município de São José – SC, a ocorrência de atividade hidrotermal, associada a falhas na rocha granítica criou condições ideais para o desenvolvimento do processo de muscovitização que atinge granitos e solos saprolíticos de granito, dando origem a um material argiloso que se deposita ao longo de planos de descontinuidades da rocha e do solo.

Este trabalho dedica-se a apresentação das condições em que ocorre tal material, aqui denominado “argila hidrotermal“, bem como de aspectos de comportamento geotécnico e características mineralógicas do mesmo.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

A área de estudo consiste em uma encosta parcialmente antropizada, com coordenadas UTM: 732.370 E, 6.948.100 S, e altitude média de 53 m acima do nível do mar. Trata-se de uma zona de expansão urbana do município de São José - SC. A localização do município é mostrada na Figura 2 enquanto que a Figura 3 apresenta uma planta topográfica do local.



Figura 2. Localização do Município de São José, no estado de Santa Catarina.



Figura 3. Planta topográfica do local.

Esta encosta teve sua base cortada para a construção de um loteamento regular. Desde então, diversos eventos de instabilidade foram registrados neste mesmo local, requerendo várias obras que visam a readequação topográfica e estabilização. A Figura 4 mostra o perfil estratigráfico atual da encosta ao longo da seção transversal mostrada na Figura 3. É importante destacar que a encosta de estudo é atravessada por uma zona de falha com cerca de 10 metros de largura e orientação NE, aproximadamente paralela à seção transversal mostrada.

O nível d'água que aparece na Figura 4 foi obtido por meio de sondagens SPT executadas ao longo da seção transversal e imediações. Tais resultados corroboram o observado em campo, já que logo acima da cota 45m é frequente a surgência de água no talude, enquanto que nas áreas mais altas o solo se mostra

relativamente seco.

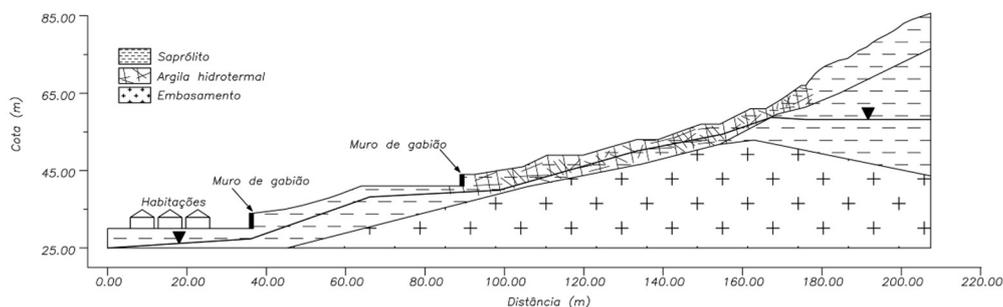


Figura 4. Seção transversal da área estudada.

Os granitos formam a litologia dominante. Como consequência, a área como um todo é coberta por solos residuais de granito, embora haja certa variabilidade em termos de textura e coloração por parte destes materiais ao longo da encosta.

A argila de origem hidrotermal, que é o material tema deste trabalho, tem pequena representatividade em termos volumétricos, mas sua ocorrência é bastante importante para o entendimento do comportamento da encosta como um todo. Estas argilas preenchem descontinuidades existentes na massa de solo residual e em campo podem ser pouco visíveis em um primeiro momento. Na Figura 5 este material é mostrado em três escalas de observação.

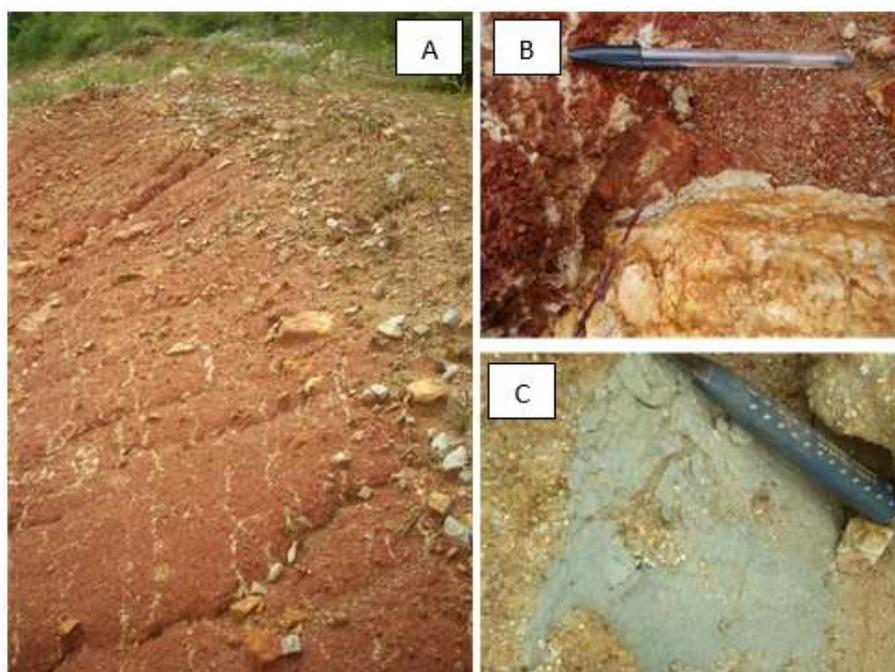


Figura 5. Exposições da argila em campo. (a) linhas delgadas claras, paralelas ao strike da encosta; (b) vistas em pequenas escavações; (c) exposta ao longo de um plano, neste caso com espessura milimétrica.

Quanto à orientação, em geral estes veios têm *strike* similar ao do próprio talude, ocorrendo de forma paralela entre si, como mostrado na Figura 5a. Em

alguns pontos os mesmos desenvolvem-se verticalmente, mas são também encontrados veios com *dip* paralelo e ortogonal à inclinação da encosta. Esta rede de veios não se mostra claramente conectada.

Em campo não foram observadas rupturas ao longo destes planos argilosos, mas as rupturas ocorridas concentram-se nas áreas em que tal material ocorre, mobilizando esta argila e o solo encaixante, indicando relação entre a presença do referido material e uma maior fragilidade do maciço.

3. METODOLOGIA

O estudo das características mineralógicas e geotécnicas da argila de origem hidrotermal se deu a partir de ensaios de laboratório. O material foi submetido a análises de difração e fluorescência de raios-x, para caracterização mineralógica e química, respectivamente. Com relação ao comportamento geotécnico, foram executados ensaios de caracterização física, para determinação do peso específico real das partículas (ABNT NBR 6508/1984), granulometria (ABNT NBR 7181/1984) e limites de consistência (ABNT NBR 6459/1984 e ABNT NBR 7180/1984), assim como ensaios de resistência ao cisalhamento torcional, por meio de ensaios *ring shear*.

Os ensaios *ring shear* foram realizados em um equipamento produzido conforme o proposto por Bromhead (1979). Durante a execução dos ensaios foram seguidos os procedimentos e recomendações constantes na norma ASTM D6467.

O *ring shear* de Bromhead (1979) exige que os corpos de prova utilizados sejam moldados diretamente na célula de cisalhamento do próprio equipamento. Assim, o solo utilizado na confecção dos corpos de prova foi inicialmente seco ao ar, destorroado e peneirado. Para o ensaio utilizou-se apenas a fração passante na peneira #40, de diâmetro máximo 0,42 mm, visto que, de acordo com a norma adotada, as partículas devem ter diâmetro máximo não superior a 10% da altura da amostra, que possui 5 mm.

Imagens em microscopia eletrônica de varredura (MEV), posteriores aos ensaios *ring shear*, possibilitaram avaliar os efeitos do cisalhamento no que se refere à ocorrência de reorientação das partículas do solo argiloso.

Todas estas análises foram efetuadas também no solo encaixante, para descrever as diferenças existentes entre este material e a argila estudada.

4. RESULTADOS

4.1. Caracterização química e mineralógica

Inicialmente são apresentados os resultados referentes à caracterização química da argila e do solo residual encaixante, como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1. Elementos maiores e perda ao fogo nos solos investigados

	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	PF
Argila	1,69	0,70	25,5	53,3	0,02	2,37	0,87	0,84	0,06	4,84	9,56
Solo Enc.	0,20	0,92	23,5	54,0	0,05	2,13	0,07	0,97	0,06	7,94	9,54

As diferenças mais substanciais dizem respeito às maiores concentrações de Na₂O e CaO, e Al₂O₃ no solo argiloso, bem como à quantidade mais expressiva de Fe₂O₃ no solo residual. O Na₂O e CaO são lixiviados de minerais primários e se acumulam nestes veios, enquanto que o Al₂O₃ é o resíduo da alteração dos minerais existentes junto às descontinuidades. Os níveis de perda ao fogo e de sílica (SiO₂) dos dois materiais são bastante similares.

Os resultados das análises de difração de raios-X, que descrevem a mineralogia dos solos investigados, são mostrados na Figura 6 sob a forma de difratogramas, enquanto que os resultados das análises semi-quantitativas são mostrados na Tabela 2.

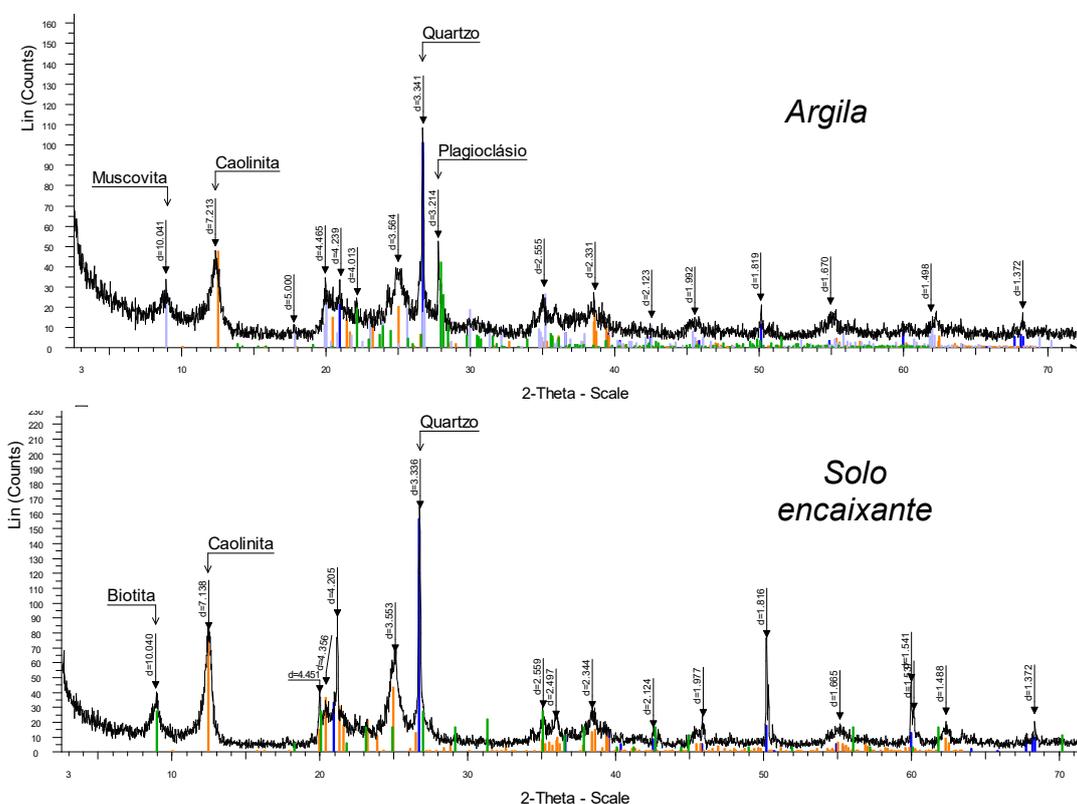


Figura 6. Difratogramas do solo encaixante: amostra total

Tabela 2. Quantificação dos minerais presentes nos solos estudados (análise semiquantitativa)

	Quartzo	Plagioclásio	Muscovita	Biotita	Caulinita
Argila	15%	33%	34%	-	18%
Solo Encaixante	34%	-	-	18%	48%

Desta análise constata-se que o solo argiloso apresenta níveis expressivos de mica muscovita em sua composição, o que se dá também em substituição à biotita. No entanto, parte da muscovita encontrada deve referir-se à biotita, visto

que nas análises de FRX constatou-se a presença de Fe em proporções significativas, elemento este que não compõe muscovitas.

Nos difratogramas das amostras orientadas (não mostrados neste trabalho) o único argilomineral identificado foi a caulinita. Em termos composicionais a caulinita é mais abundante que o quartzo, porém é muito menos representativa que o plagioclásio e a muscovita. É interessante a presença de plagioclásios nesta amostra, tendo em vista ser um mineral pouco resistente ao intemperismo.

O solo encaixante mostra-se bastante alterado, vide a ausência de feldspatos e grande representatividade das caulinitas em sua composição. Amostras obtidas em áreas mais afastadas da zona de ocorrência das argilas contém quantidades mais expressivas de feldspato. As detecções de Fe_2O_3 nas análises de FRX podem ser creditadas à ocorrência de biotita. O principal pico do difratograma ocorre para o quartzo em $2\theta=26^\circ$, enquanto que sob $2\theta=9^\circ$ e $2\theta=12,5^\circ$ registram-se os picos para biotitas e caulinitas, respectivamente. Este pico de caulinita repete-se nas análises orientadas natural e glicolada. Os difratogramas das amostras orientadas mostram ainda pequenos picos de illita.

4.2. Caracterização geotécnica

Na Tabela 3 são sumarizados os índices físicos e outras características geotécnicas dos solos investigados.

Tabela 3. Índices físicos dos solos estudados

	Argila	Solo encaixante
G	2,700	2,714
W_{nat} (%)	25,4	35,0
γ_{nat} (kN/m ³)	-	16,98
γ_d (kN/m ³)	-	12,53
γ_{sat} (kN/m ³)	-	17,72
E	-	1,12
Sr (%)	-	85,7
LL	60	51
IP	30	13
I.A.	0,75	0,94
Classificação USCS	CH	MH

Em termos de densidade real das partículas, o solo encaixante mostra valores ligeiramente maiores, o que se deve, à maior presença de Fe em sua composição. A umidade natural mostrava-se, quando da coleta das amostras, mais elevada no solo encaixante, apesar de ser menos fino, como atestam as curvas granulométricas mostradas na Figura 7.

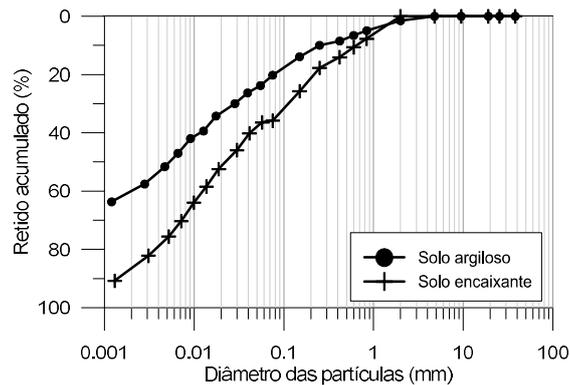


Figura 7. Granulometria dos solos investigados

A natureza argilosa do solo de origem hidrotermal manifesta-se sobre os limites de consistência, e se reflete em valores mais elevados de limite de liquidez e plasticidade, culminando em um material com índice de plasticidade substancialmente maior. As argilas presentes no solo encaixante são, no entanto, mais ativas, conforme índices de atividade calculados.

Com base na classificação SUCS, realizada a partir da consistência e granulometria, ambos os solos são materiais considerados de alta plasticidade. O solo argiloso é classificado como uma argila inorgânica de alta plasticidade (CH), ao passo que o solo encaixante é considerado um silte inorgânico de alta plasticidade (MH).

Do ponto de vista do comportamento mecânico, ensaios de cisalhamento torcional (*ring shear*) foram executados na argila e no solo encaixante. Os resultados dos ensaios *ring shear* executados no solo encaixante são mostrados na Figura 8.

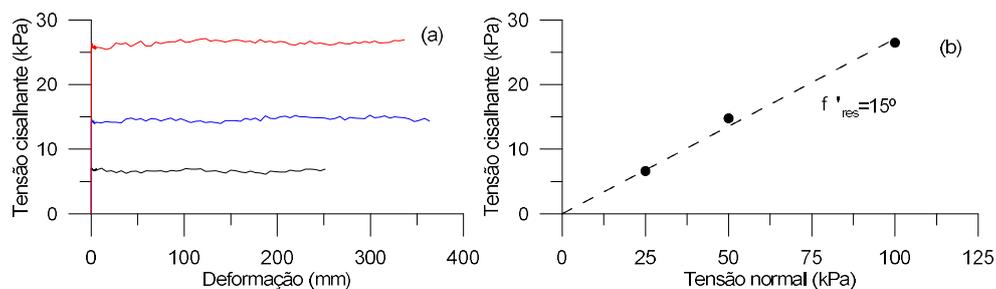


Figura 8. Resultado dos ensaios *ring shear* no solo encaixante.

O ensaio executado sob tensão normal de 25 kPa requereu deformação menor que as atingidas nos ensaios sob σ'_v de 50 e 100 kPa, sendo as curvas tensão x deformação pouco irregulares.

Os níveis de tensão cisalhante medidos nestes ensaios resultam em um ângulo de atrito residual da ordem de 15° . Este ângulo de atrito pode ser considerado razoavelmente baixo, o que se dá provavelmente por causa da importante quantidade de micas na composição do solo, as quais tendem a reduzir a parcela de resistência ao cisalhamento de natureza friccional. Este valor de ϕ'_r foi obtido para uma envoltória de ruptura passando pela origem, vide Figura 8b.

Na Figura 9 são mostrados os resultados dos ensaios *ring shear* na argila.

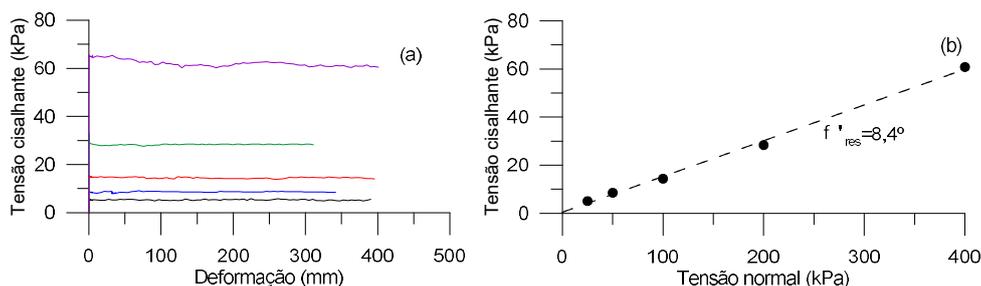


Figura 9. Resultado dos ensaios ring shear no solo ArBr.

Em geral foram necessárias deformações de até 300 mm para confirmar a mobilização da resistência residual. Por conta da magnitude das deformações, houve expressiva perda de material ao longo do ensaio, o que provocou, por exemplo, grande oscilação das tensões cisalhantes medidas, principalmente, para altas tensões verticais.

Ainda assim, tomando os trechos finais e estáveis dessas curvas, foi possível estabelecer uma envoltória de ruptura (Figura 9b) com r^2 da ordem de 0,99. Esta envoltória mostra um ângulo de atrito residual de $8,4^\circ$. A magnitude deste parâmetro é significativamente baixa, comparável aos menores valores já medidos em solos residuais e coluvionares do sul do Brasil, como em solos de basalto e riolito (RIGO, 2005), solos de granulito (HEIDEMANN, 2011) e colúvios de basalto (NICHEL, 2011).

A reduzida resistência deste solo em condição residual pode ser explicada pela mineralogia do material. O solo é rico em partículas argilosas e micáceas (neste caso muscovita). Ao sofrer cisalhamento tais partículas tendem a se reorientar de forma a se posicionarem de maneira paralela entre si, tendo em vista o formato lamelar das mesmas.

Na Figura 10 são mostradas imagens do solo argiloso, obtidas em um microscópio eletrônico (MEV), as quais foram produzidas a partir de fragmentos de solo extraídos de um corpo de prova de ensaio *ring shear*, posterior ao ensaio.

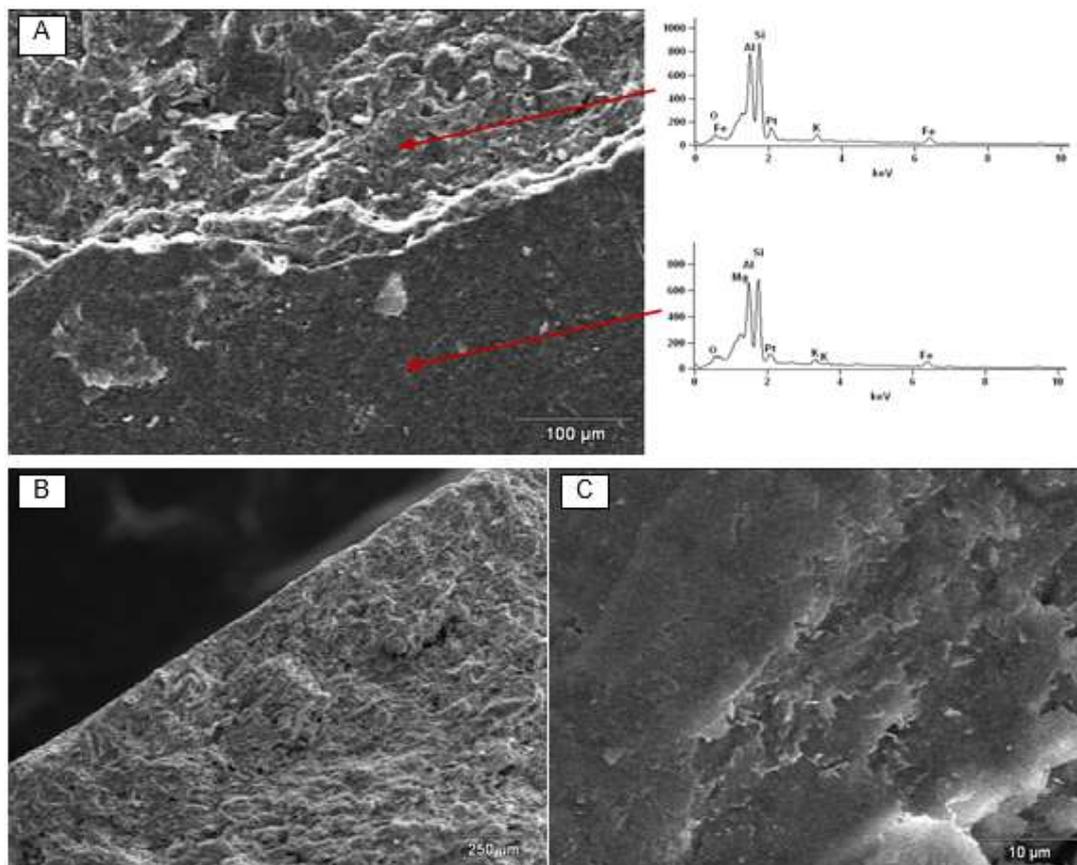


Figura 10. Imagens de MEV do solo argiloso.

Por meio das Figuras 10A e 10C pode se verificar que há clara reorientação das partículas de solo durante o ensaio. A reorientação das partículas pelo cisalhamento concentra-se, contudo, na superfície do corpo de prova, não se estendendo a maiores profundidades. Na Figura 10C fica evidente também o formato lamelar do material, ao menos aquele que se concentra na face do corpo de prova. A partir dos difratogramas obtidos por EDS, mostrados na Figura 10A, percebe-se a ocorrência de elementos químicos que indicam a presença de biotita, muscovita e caulinita neste material. Na figura 10B observa-se uma imagem da seção transversal de um dos corpos de prova usado no ensaio de *ring shear*, indicando que há reorientação de partículas em toda a porção superficial do corpo de prova.

5. CONCLUSÕES

As alterações hidrotermais sofridas pelo solo local, bem como a ação do fluxo ao longo de zonas de descontinuidade promoveu o desenvolvimento de veios preenchidos por um solo argiloso, rico em caulinita e muscovita. A mineralogia deste material é expressivamente diferente daquela apresentada pelo solo residual encaixante, apesar de as análises químicas não indicarem diferenças tão claras. Um indicativo da ação dos veios argilosos como receptores de cátions lixiviados do

solo local é a maior presença de Na₂O e CaO neste material em relação ao solo encaixante.

O solo argiloso apresenta resistência ao cisalhamento em condição residual dada por $\phi'_r=8^\circ$. Este baixo ângulo de atrito deve-se à natureza argilosa do material e à presença de minerais micáceos. O formato notadamente lamelar das micas e argilas favorece a ocorrência de reorientação das partículas durante o cisalhamento, tornando a superfície de cisalhamento bastante polida, o que resulta em baixo atrito, conforme expresso pelo ângulo de atrito medido.

O material encaixante tem maior resistência em condição residual ($\phi'_r=15^\circ$) o que se deve à sua granulometria predominantemente siltosa.

A forma com que se dá a ocorrência do solo argiloso na encosta estudada, constituindo-se em zonas de descontinuidade, assim como a baixa resistência ao cisalhamento remetem à possibilidade de que a estabilidade da encosta seja influenciada pela resistência ao cisalhamento em condição residual deste solo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES e CNPq pelo fomento à pesquisa e às bolsas de pesquisa, ao Instituto de Geociências da UFRGS, ao Centro Tecnológico de Joinville e Departamento de Geologia da UFSC e ao PPGEC-UFRGS pelo suporte oferecido.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D6467: **Torsional ring shear test to determine drained residual shear strength of cohesive soils**. 6p. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459: **Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro. 6p. 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6508: **Grãos de solo que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da Massa Específica**. Rio de Janeiro. 8 p. 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180: **Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro. 3p. 1984

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: **Análise granulométrica**. Rio de Janeiro 13 p. 1984.

BAYNES F.J.; DEARMAN, W.R.; IRFAN, T.Y. **Practical assessment of grade in a weathered granite**. Eng. Geol., n. 18. pp. 101-109. 1978.

- BITENCOURT, M.F. et al. **Estratigrafia do batólito Florianópolis, Cinturão Dom Feliciano, na região de Garopaba-Paulo Lopes, SC.** Revista Pesquisas em Geociências, n. 35, v. 1. pp. 109-136. 2008
- BROMHEAD, E. N. **A simple ring shear apparatus.** Ground Eng., v.12, n.5. pp. 40-44. 1979.
- DEARMAN, W.R.; BAYNES, F.J.; IRFAN, T.Y. **Engineering grading of weathered granite.** Eng. Geol., n. 12 pp. 345-374. 1978.
- DOBEREINER, L.; DURVILLE, J.L.; RESTUITO, J. **Weathering of the massiac gneiss (Massif Central, France).** Eng. Geol., n.47. pp. 89-96. 1993.
- EVANS, J.P.; CHESTER, F.M. **Fluid-rock interaction and weakening of faults of the San Andreas system: inferences from San Gabriel fault-rock geochemistry and microstructures.** Journal of Geophysical Research, n. 100, pp. 13007-13020. 1995.
- IRFAN, T.Y. **Fabric Variability and index testing of a granitic saprolite.** In: Int. Conf. on Geomechanics in Tropical Soils, v.1. p.25-35. 1988.
- IRFAN, T.Y. **Mineralogy and fabric characterization and classification of weathered granitic rocks in Hong Kong.** GEO Report n°41, Honk Kong, 159 p. 1994.
- IRFAN, T.Y. **Structurally controlled landslides in saprolitic soils in Hong Kong.** Geotech. Geol. Eng., n.16. pp. 215-238. 1998.
- IRFAN, T.Y.; WOODS, N. **The influence of relict discontinuities on slope stability in saprolitic soils.** In: Int. Conf. on Geomechanics in Tropical Soils, v.1. pp. 267-276. 1988.
- JANECKE, S.U.; EVANS, J.P. **Feldspar-influenced rock rheologies.** Geology, n.16. pp. 1064-1067. 1988.
- KUVA, J. et al. **Microstructure, porosity and mineralogy around fractures in Olkiluoto bedrock.** Eng. Geol., n. 139–140 pp. 28–37. 2012.
- RAIMUNDO, H.A., SANTOS, G.T.; DAVISON DIAS, R. **Aspectos geotécnicos do contato granito/diabásio associados à instabilidade de encostas em Florianópolis – SC.** In: III Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul, Editora Palloti, Porto Alegre. pp. 251-263. 2002.
- REGMI, A.D.; YOSHIDA, K.; DHITAL, M.R.; DEVKOTA, K. **Effect of rock weathering, clay mineralogy, and geological structures in the formation of large landslide, a case**

study from Dumre Besei landslide, Lesser Himalaya Nepal. Landslides, n.10, pp. 1-13. 2013.

THOMPSON, G.R.; TURK, J. **Introduction to Physical Geology.** BrooksCole, Boston. 432 p. 1997.

WIBBERLEY, C. **Are feldspar-to-mica reactions necessarily reaction-softening processes in fault zones?** Journal of Structural Geology, n. 21 pp. 1219-1227. 1999.

WINTSCH, R.P.; CHRISTOERSEN, R.; KRONENBERG, A.K. **Fluid-rock reaction weakening of fault zones.** Journal of Geophysical Research, n.100, pp. 13021-13032. 1995.

WOLLE, C.M. **Estabilidade de Encostas Naturais em Solos Tropicais.** In: Colóquio Solos Tropicais e suas aplicações na Engenharia. Porto Alegre. 1985.

ABSTRACT: This paper presents the chemical and mineralogical composition, as well as shear strength measurements in residual condition, of a soil originated under hydrothermal activity. This material occurs in a hilly area in São José - SC, where the massif of residual soil of granite is pierced by veins filled with a clay. This clay is rich in kaolinite and muscovite, although the presence of biotite is also possible. The formation of this clay is related to the muscovitization process that affects feldspar presents in the parent rock and residual soil, and the leaching of easily removed cations, allowing the development of kaolinite. This soil is classified as a high-plasticity clay (CH). In which concerns to the shear strength, a residual friction angle of 8° was measured through ring shear tests, and may be considered a low value, if compared with the friction angles earlier measured in other soils of southern Brazil. This low friction angle seems to be reached because the soil particles align parallel to each other, as shown by SEM images. In volumetric terms, the clay soil isn't very representative, but the way that its occurs in the studied slope, constituting discontinuity zones, as well as the low shear strength, refers to the possibility that the slope stability could be influenced by residual shear strength of this soil.

KEYWORDS: residual shear strength; hydrothermal alteration, muscovite, clay, granite.

CAPÍTULO VI

PROPOSIÇÕES PARA UM CISALHAMENTO DIRETO DE CAMPO: ALTERNATIVA EM MAPEAMENTOS GEOTÉCNICOS

**Vitor Santini Müller
Nilo Rodrigues Júnior
Murilo da Silva Espíndola
Regiane Mara Sbroglia
Rafael Augusto dos Reis Higashi
Juan Antonio Altamirano Flores**

PROPOSIÇÕES PARA UM CISALHAMENTO DIRETO DE CAMPO: ALTERNATIVA EM MAPEAMENTOS GEOTÉCNICOS

Vitor Santini Müller

Universidade Federal de Santa Catarina, Geologia

Florianópolis – Santa Catarina

Nilo Rodrigues Júnior

Universidade Federal de Santa Catarina, Geologia

Florianópolis – Santa Catarina

Murilo da Silva Espíndola

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Geociências

Florianópolis – Santa Catarina

Regiane Mara Sbroglia

Universidade Federal de Santa Catarina, Geografia

Florianópolis – Santa Catarina

Rafael Augusto dos Reis Higashi

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil.

Florianópolis – Santa Catarina

Juan Antonio Altamirano Flores

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Geociências

Florianópolis – Santa Catarina

RESUMO: A demanda por mapeamentos geotécnicos é antiga, porém os incentivos para estes levantamentos são recentes. Os estudos de resistência do meio físico em busca da segurança de instalações vêm crescendo nos últimos anos fruto dos desastres, ditos, naturais. As técnicas de mapeamentos de susceptibilidade à deslizamentos distinguem-se desde dados puramente estatísticos, até cartas geológicas e imagens aéreas de alta definição. A fim de não abrir mão da execução de ensaios para a obtenção dos parâmetros de resistência nos mapeamentos, e respeitando-se os curtos prazos em grandes demandas, analisou-se a influência de um protocolo de ensaio de cisalhamento direto em regime de multiestágios. Realizaram-se ensaios em condições normatizadas e nas condições propostas no protocolo, de forma que as envoltórias obtidas mostraram-se, por vezes, similares. Para uso em mapeamento geotécnico o protocolo tem potencial para ser uma interessante alternativa, ainda que para estudos pontuais recomenda-se seguir as normatizações vigentes.

PALAVRAS-CHAVE: Cisalhamento Direto, Mapeamento Geotécnico, Ensaio de Campo

1. INTRODUÇÃO

O estado de Santa Catarina é de clima mesotérmico úmido e caracterizado pelo excesso hídrico, conforme Back (2001). Andrade, Baldo e Nery (1999),

comentam que a precipitação é mais concentrada nos meses de dezembro a março, porém, dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2014) mostram que nos anos de 2013 e 2014 setembro foi o mês mais chuvoso, o que marca a grande variabilidade das chuvas no estado catarinense. Back (2001) lembra que as chuvas intensas são elemento importante na causa dos transtornos tanto em áreas urbanas como na zona rural.

Em menos de um século o Brasil transformou-se de um país predominantemente rural para urbano. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2010) em 1950 a população urbana representava apenas 36,16%, já em 2010 84,36% dos brasileiros não viviam mais na zona rural. O resultado dessa urbanização acelerada, segundo Xavier (2004) é o predomínio do desequilíbrio socioambiental. Segundo Zuquette e Gandolfi (1992), deve-se buscar um equilíbrio entre as ações antrópicas e o meio ambiente, sendo o meio físico a base para a implementação de qualquer tipo de ocupação. Desta forma, o mapeamento geotécnico é ferramenta indispensável para o planejamento adequado de qualquer área.

Higashi (2002) aponta que pesquisadores têm desenvolvido metodologias para mapear, compreender e mensurar o comportamento geomecânico dos solos, mas que, a pesar do primeiro mapa geológico com enfoque geotécnico ser datado de 1907, a caracterização geotécnica de áreas através de mapas ainda é tarefa árdua para muitos pesquisadores. Davison Dias (1995) sugere que solos oriundos da mesma unidade geológica/pedológica apresentam comportamento semelhante. Assim, os resultados obtidos para um ponto de estudo contido em uma unidade são passíveis de extrapolação para toda a unidade em questão.

A aplicação de técnicas de mapeamento geotécnico avaliando estabilidade de taludes não se faz necessariamente por dados físicos de ensaios, todavia a execução de ensaios rápidos pode atribuir credibilidade aos mapas gerados. Os valores de índices físicos para a simulação matemática e interpretação das áreas susceptíveis aos fenômenos naturais podem ser determinados pelo ensaio de cisalhamento direto, o mais simples e antigo método, conforme Lambe e Whitman (1969). O ensaio de cisalhamento direto em laboratório, segundo a norma internacional ASTM D3080 (2003), consome um tempo expressivo, considerando os prazos de mapeamentos geotécnicos. A crescente demanda em áreas de risco, fez com que fosse necessária a proposição de um protocolo de ensaios de cisalhamento direto de forma acelerada, com a produção de múltiplas envoltórias de ruptura em um único dia de trabalhos de campo.

O princípio do ensaio de cisalhamento direto é o de se movimentar uma porção do corpo de prova em relação à outra pela ação de uma força, crescente, paralela ao movimento, enquanto uma força constante normal é aplicada. Segundo o critério de Mohr-Coulomb, a relação entre as forças normais aplicadas, e os respectivos esforços necessários para movimentar uma parte em relação à outra se apresentam em forma de uma reta cuja angulação em relação à horizontal representa o ângulo de atrito interno entre as partículas, e que intercepta o eixo das ordenadas no valor do intercepto coesivo.

Segundo Head e Epps (1986), a primeira tentativa de se medir os esforços de cisalhamento de um solo foi desenvolvida pelo engenheiro francês Alexandre Collin, em 1846. Utilizando-se de uma caixa deslizante de 350 mm de comprimento, na qual uma amostra de argila (40x40 mm) era levada ao “duplo cisalhamento” pela aplicação de uma carga. Bell, em 1915, com o que seria um protótipo para futuros desenvolvimentos da caixa de cisalhamento direto, produziu as primeiras mensurações britânicas. A caixa de cisalhamento como conhecemos hoje foi projetada por Casagrande em Harvard, Massachusetts, em 1932, mas os detalhes não foram publicados. Gilboy, 1936, desenvolveu no MIT o cisalhamento com deslocamento controlado, através de um motor de velocidade fixa, como a maior parte dos equipamentos atuais.

Este trabalho tem como principal finalidade propor uma discussão sobre os procedimentos e primeiros resultados propostos em equipamento de cisalhamento direto de campo, para o mapeamento geotécnico, evidenciando a metodologia deste ensaio, seus complicadores e futuras adaptações ao método.

2. METODOLOGIA

Diante da demanda de se obter resultados de forma acelerada, foi verificada a necessidade de se realizar ensaios de cisalhamento direto em campo. Para possibilitar tal expediente, foi adaptado um equipamento de cisalhamento direto, existente no Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal de Santa Catarina, de forma a ser ligado ao veículo de campo, por meio de um sistema com inversão de frequência.

2.1. Equipamento de cisalhamento em sua disposição inicial

O aparato de cisalhamento direto utilizado nesta pesquisa possui caixa de cisalhamento, bipartida, onde o corpo de prova permanece confinado e é forçado a ser cisalhado. Simultaneamente à ação da força cisalhante, uma força em direção normal (perpendicular) ao cisalhamento é aplicada sobre o corpo de prova. O equipamento faz uso de um sistema pneumático para aplicação de forças normais, sendo, portanto, interessante para o protocolo proposto por possibilitar o uso de um compressor de ar portátil. Como foi originalmente desenvolvido para ensaios em laboratório, e seu período de desenvolvimento é estimado em mais de 30 anos, foram necessárias adaptações elétricas e mecânicas ao dispositivo, eliminando componentes obsoletos e tornando-o mais leve e preciso. As adaptações mecânicas se deram no sistema de redução e transferência, encaixes e nas calibrações do anel dinamométrico e do extensômetro. Ainda na parte mecânica, o manômetro presente no equipamento teve sua escala adaptada, como pode ser visto na Figura 1, substituindo-se os valores originais em libra por polegada quadrada pela tensão resultante da aplicação das respectivas forças sobre a área

da seção do corpo de prova original (25cm²).

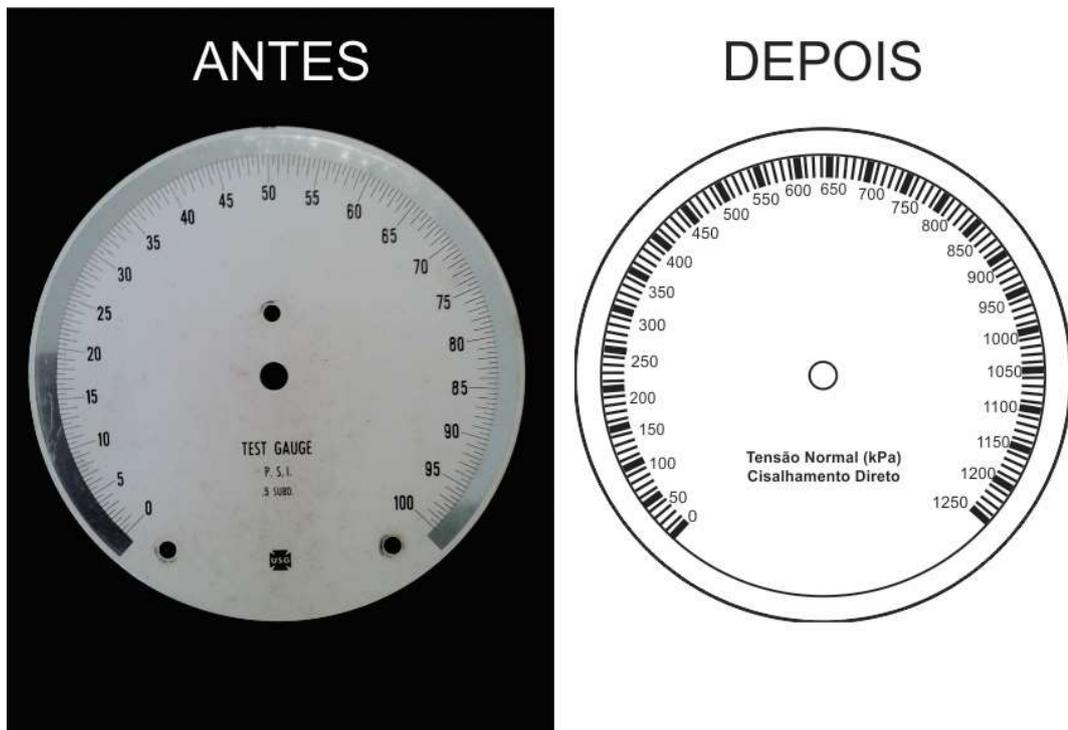


Figura 1 - Manômetro original e reconicionado.

Para a obtenção das equivalências, calibrou-se a força aplicada pelo pistão pneumático por meio da utilização de um anel dinamométrico. A cada libra por polegada quadrada lida no manômetro obteve-se a força vertical (em quilograma força) equivalente, a curva de calibração resultante, pode ser vista na Figura 2.

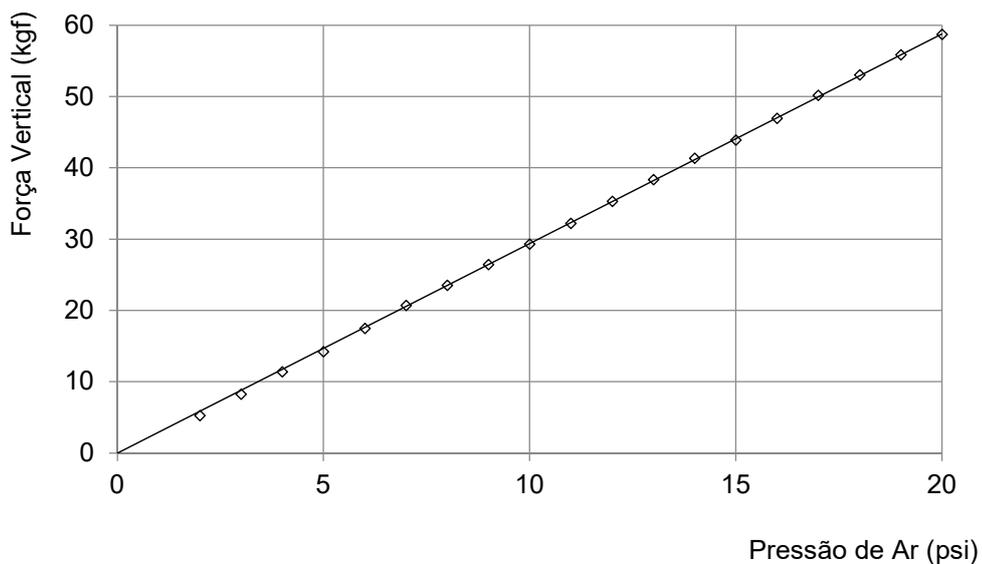


Figura 2 - Curva de Calibração do Manômetro.

Os componentes elétricos, conforme Figura 3, foram substituídos por materiais mais novos, uma vez que os antigos se encontravam obsoletos e pouco

confiáveis. Conseqüentemente, foram previstas adaptações que permitissem a utilização deste equipamento em campo, por energia fornecida por veículo automotor convencional, necessitando-se exclusivamente de bateria de 12V. Um sistema de inversão de frequência foi adquirido, transformando os 12V contínuos do veículo em 220V em corrente alternada.

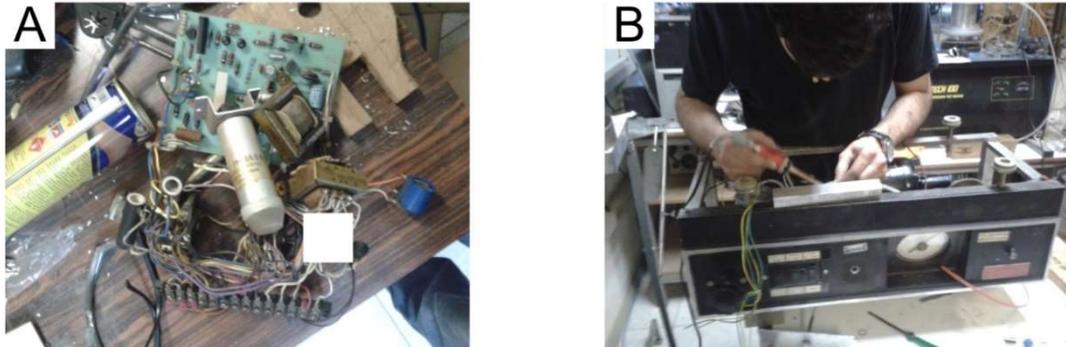


Figura 3 - A) Componentes eletrônicos antigos. B) Trabalho de reforma da parte elétrica.

Uma imagem ilustrativa contendo a condição atual esquemática do equipamento desenvolvido para o presente trabalho é apresentada na Figura 4. É possível verificar que o aparelho de cisalhamento permanece acoplado ao sistema de inversão de frequência, que também possibilita o uso de compressor de ar direto utilizado na aplicação de tensões normais. Os deslocamentos cisalhantes são aplicados por motor de corrente contínua e um sistema de engrenagem. Nota-se que os esforços cisalhantes, a mensuração da resistência ao cisalhamento, e o deslocamento relativo do corpo de prova decorrem na porção inferior de solo. No modelo atual, a porção superior do corpo de prova apenas sofre a reação dos esforços cisalhantes. Ou seja, o equipamento em questão remete à uma condição desfavorável em que possíveis esforços oriundos de atritos nos rolamentos da caixa cisalhante, bem como com os demais dispositivos dos sistemas serão, portanto, contabilizados pelo anel dinamométrico.

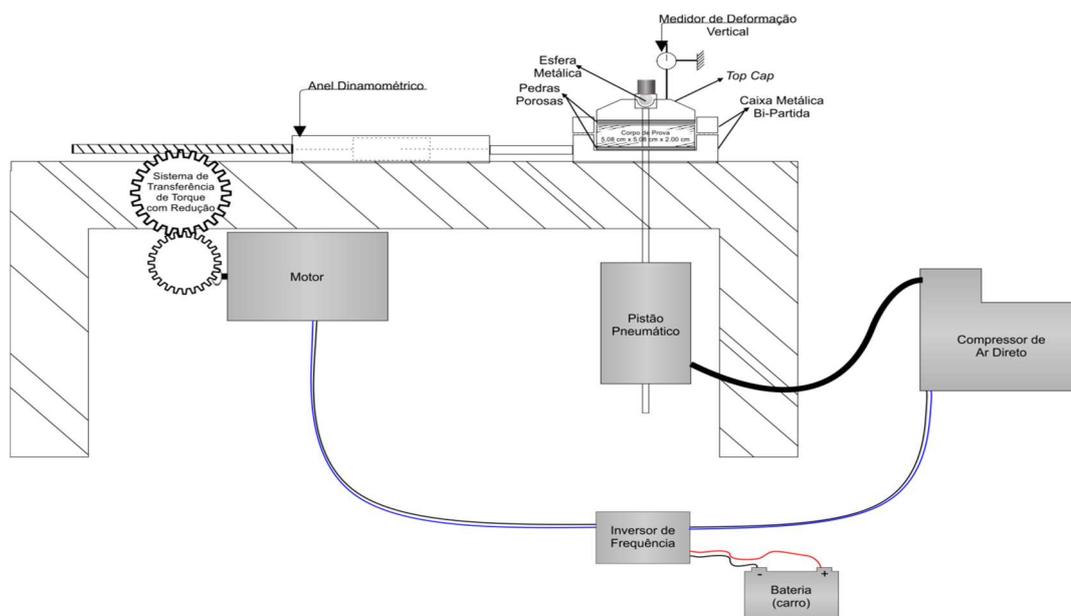


Figura 4 – Imagem esquemática do equipamento de cisalhamento de campo.

A velocidade de avanço do motor foi calibrada utilizando-se extensômetro digital, por meio da mensuração do deslocamento a cada minuto. A Figura 5 apresenta a curva de calibração da velocidade, em valor constante de 0.2269 milímetros por minuto.

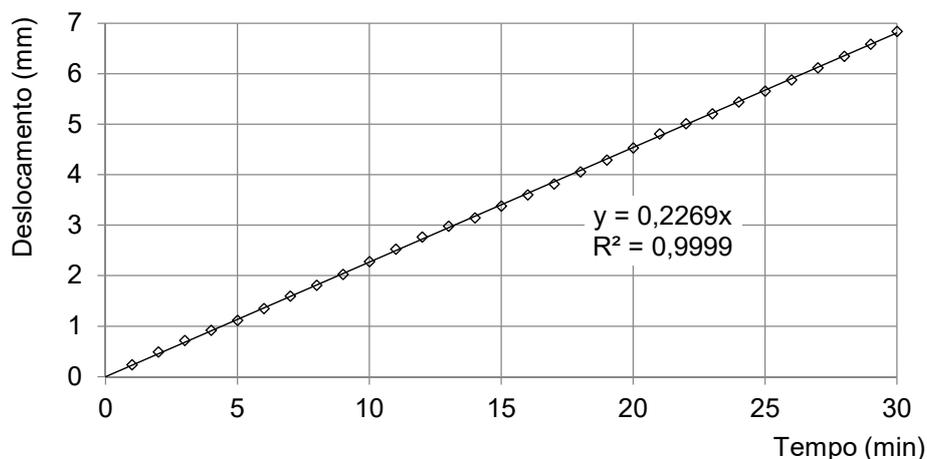


Figura 5 - Gráfico do deslocamento versus Tempo.

2.2. O Protocolo de Ensaios

Segundo o protocolo de ensaios proposto, o cisalhamento direto é realizado em campo, em um único corpo de prova, em regime de multiestágios, com rápida consolidação e inundação do corpo de prova. Admitiu-se a possibilidade do surgimento de poro-pressões, da influência de esforços capilares, e, portanto, para aplicação exclusiva em técnicas de mapeamento geotécnico.

O protocolo de ensaios rápidos sugere então que, no primeiro ponto de estudos seja realizada a moldagem e coleta de um corpo de prova (5,08cm largura x 5,08cm comprimento x 2cm altura), e que nos pontos seguintes seja cisalhado o

corpo de prova relativo ao ponto anterior, enquanto a equipe providencia a moldagem e coleta do corpo de prova (Figura 6) correspondente ao local.



Figura 6 - Foto de campanha de campo com execução de ensaio de cisalhamento direto.

Cada ponto foi representado por um único corpo de prova, no qual foram aplicados três estágios de tensões normais, e medidas as tensões cisalhantes máximas para cada condição. O incremento de uma nova tensão normal somente foi realizado após a verificação da estabilização das tensões cisalhantes equivalentes.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente capítulo tem como objetivo apresentar os primeiros resultados obtidos pelo método proposto, bem como discutir a eficiência do equipamento, dos procedimentos e a possível aplicabilidade do método em técnicas de mapeamento. É importante ressaltar que a proposta de discussão tem por finalidade condicionar o trabalho as críticas técnicas e, portanto, direcionar o andamento da pesquisa.

Ainda que os resultados deste trabalho tenham tido por finalidade a aplicação rápida em técnicas de campo, foram coletados corpos de prova para a realização de ensaios convencionais, conforme normatização internacional, a fim de se comparar as envoltórias obtidas. As

Figura 7 e Figura 8 apresentam resultados de ensaios de campo (azul) com os ensaios normatizados (vermelho), bem como resultados obtidos na literatura regional, para mesmas unidades geotécnicas, conforme sugere Davison Dias (1995).

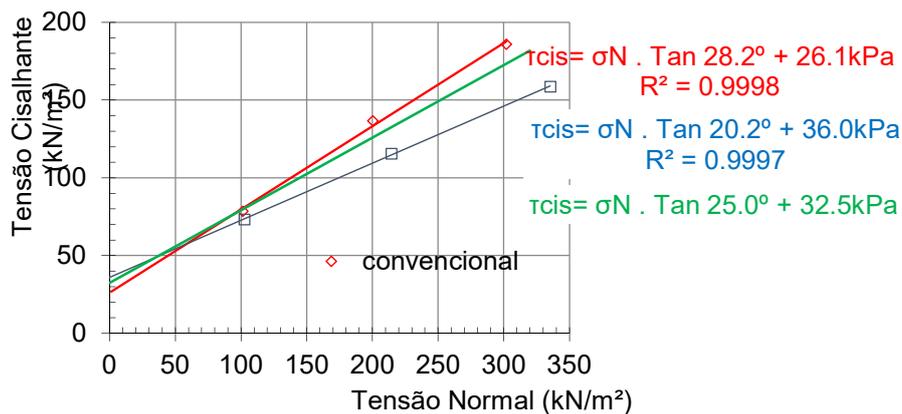


Figura 7 - Gráfico Tensão Cisalhante versus Tensão Normal Para a Unidade Geotécnica Podzólico Vermelho Amarelo em Granito.

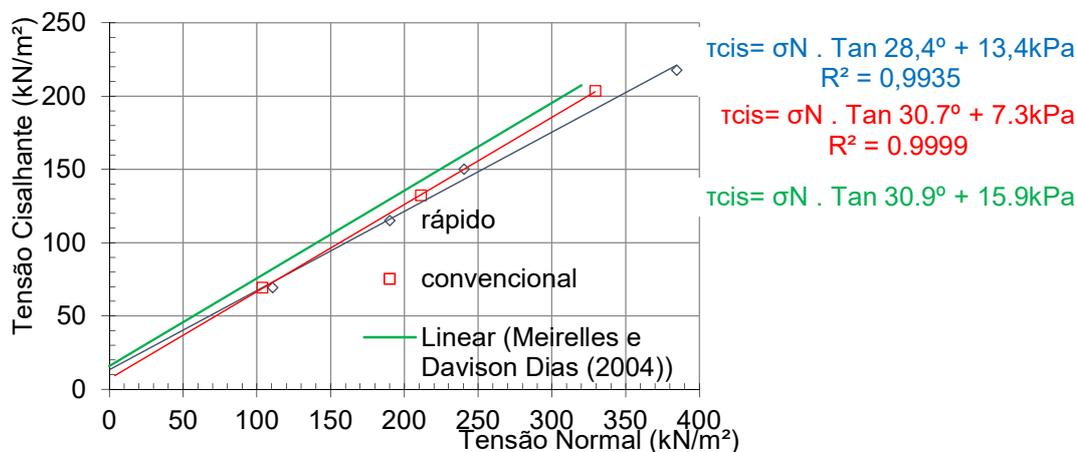


Figura 8 - Gráfico Tensão Cisalhante x Tensão Normal para a unidade Geotécnica Podzólico Vermelho Amarelo em Granito.

Na situação ilustrada pela

Figura 7 a diferença entre os valores de intercepto coesivo obtidos sob condições convencionais e de campo foi de 10.1kPa, para o ângulo de atrito interno houve uma redução de 8 graus na envoltória obtida em campo. Resultados encontrados na literatura apresentam, para essa unidade geotécnica, valores intermediários entre os obtidos em laboratório e em campo. Na Figura 8 o intercepto coesivo apresenta-se 6.1kPa mais alto em campo, enquanto o ângulo de atrito nessa condição foi 2.3 graus menor. Na literatura, os parâmetros encontrados são mais altos, porém muito próximos, dos obtidos nos ensaios de campo e de laboratório. Os autores avaliaram que, enquanto os parâmetros e resistência obtidos nos ensaios de campo estivessem abaixo dos ensaios convencionais, provavelmente por poro-pressões geradas nos ensaios, não haveriam impedimentos para a aplicabilidade do protocolo proposto como alternativa em mapeamento geotécnico. É, porém, necessário atentar para resultados como os apresentados pela Figura 9, que mostra a existência de alguma variável não quantificada no método, já que os resultados são espúrios.

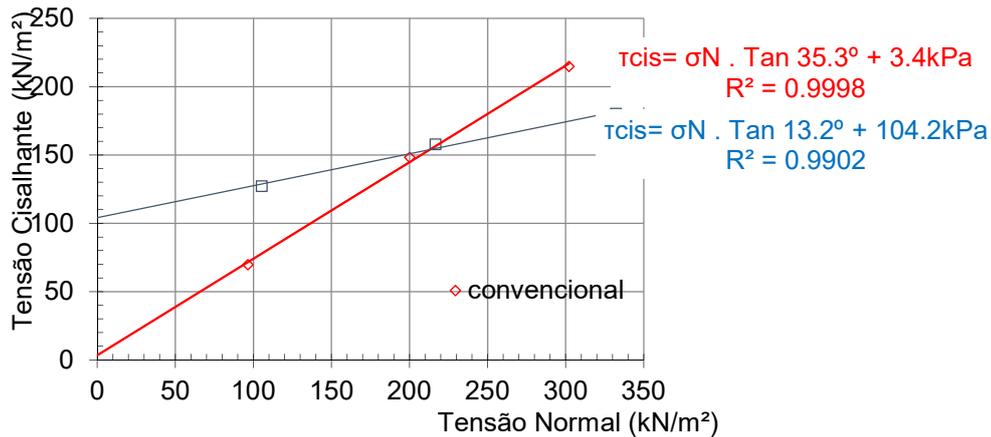


Figura 9 - Gráfico Tensão Cisalhante versus tensão Normal para a unidade Geotécnica Podzólico em Sedimentos Quaternários.

O fato de todos os ensaios terem sido realizados sem placas dentadas no topo e base do corpo de prova para promover a distribuição das forças, pode, conforme Morgenstern e Tchalenko (1967), causar situações em que a superfície de ruptura não ocorre no meio do corpo de prova, mas em forma de cunha, como apresentado na Figura 10.

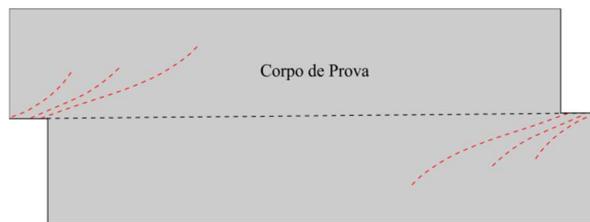


Figura 10 - Possíveis superfícies de ruptura em cunha.
Fonte: Modificado de (MORGENSTERN; TCHALENKO, 1967)

Resultados dispersos encontrados para algumas unidades geotécnicas, ainda que esporádicos, levaram os autores a discutir sobre as variáveis que poderiam estar ocasionando tais problemas. Estão em discussão o tempo de consolidação, velocidade dos ensaios, mas principalmente os procedimentos da técnica de múltiplos estágios e modificações nos conceitos experimentais do equipamento desenvolvido.

A aplicação de técnicas de múltiplos estágios é satisfatória somente em materiais cujas tensões máximas sejam mobilizadas logo em pequenas deformações. Alguns ensaios realizados em campo necessitaram de grandes deformações para se atingir as tensões cisalhantes máximas, o que pode ter proporcionado a perda de confiabilidade do procedimento. Os autores cogitam o abandono deste método em ensaios rápidos de campo, o que possivelmente será substituído por técnica convencional com diferentes corpos de prova, porém haverá necessidade de se elevar a velocidade de cisalhamento, para que os tempos de trabalhos de campos não sejam comprometidos.

A Figura 11 apresenta novas modificações propostas para o equipamento

de campo, em que onde a porção inferior do corpo de prova receberá os esforços cisalhantes e se deslocará, enquanto a porção superior sofrerá reação no mesmo ponto em que serão mensurados os esforços cisalhantes. Dessa forma, o atrito da caixa de cisalhamento não influenciará as leituras dos esforços cisalhantes, ainda que testes não tenham acusado valores significativos de atrito no modelo da Figura 4. A opção pela não utilização do pistão pneumático se deu devido à disposição dos elementos no equipamento, de forma que a utilização de um sistema de alavanca para aplicação da força normal à direção de cisalhamento se mostrou como melhor opção.

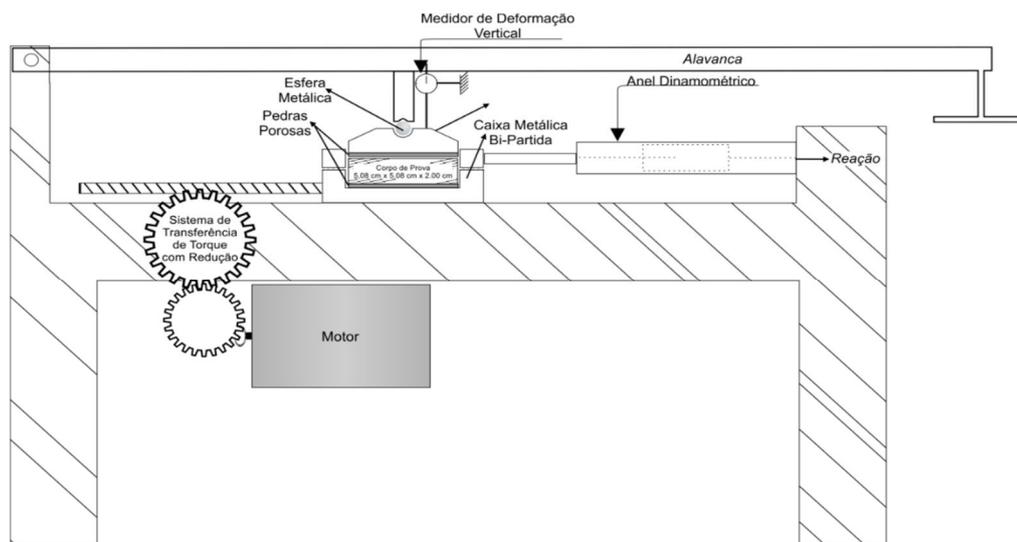


Figura 11 - Equipamento de Cisalhamento Direto, novas modificações.

As envoltórias de ruptura apresentadas na Figura 12 são referentes aos ensaios realizados em campo. É possível verificar que alguns valores de interceptos coesivos e ângulos de atrito internos diferem do comportamento verificado na literatura convencional.

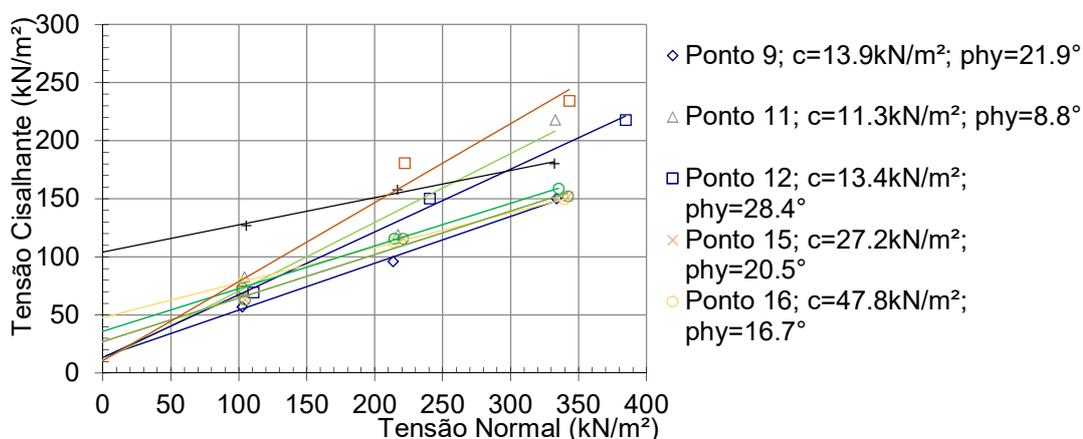


Figura 12 - Resumo das envoltórias de ruptura de campo.

As modificações propostas no equipamento de campo estão em implementação, e estima-se que estes procedimentos reduzirão as disparidades

encontradas em um primeiro momento. É importante ressaltar que esta técnica tem por finalidade atender campanhas de mapeamentos geotécnicos de grandes proporções, sem que dispensem/estimem análises físicas da resistência dos maciços estudados.

4. CONCLUSÕES

Zuquette e Gandolfi (1992), lembram que mapeamento geotécnico não substitui os estudos geotécnicos pontuais, para os quais, não se recomenda o protocolo de ensaios rápidos, uma vez que neste regime admite-se a possibilidade de interferências, priorizando o tempo de ensaio.

Os resultados apresentados evidenciam a exequibilidade do protocolo, bem como seu potencial de tornar-se uma alternativa para obtenção de parâmetros de resistência para mapeamentos geotécnicos de grandes proporções.

As discrepâncias encontradas em alguns pontos de estudo indicaram a necessidade de se aprofundar os estudos a fim de quantificar as influências da metodologia aplicada nos resultados obtidos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Ministério das Cidades pelo fomento à pesquisa e às bolsas de pesquisa vinculadas ao projeto FEESC 79/13, bem como ao projeto de extensão FAPEU 045/2014 e à Universidade Federal de Santa Catarina pelo suporte estrutural.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, A. R. DE; BALDO, M. C.; NERY, J. T. Variabilidade sazonal da precipitação pluviométrica de Santa Catarina. **Acta Scientiarum**, v. 21, n. 4, p. 923–928, 1999.

ASTM D3080. **Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions** West Conshohocken, PA, 2003. Disponível em: <www.astm.org>

BACK, Á. J. Frequência de chuvas em Santa Catarina. **Revista de Tecnologia e Ambiente**, v.7, n.2, p. 63–72, 2001.

DAVISON DIAS, R. Proposta de metodologia de definição de carta geotécnica básica em regiões tropicais e subtropicais. **Revista do Instituto Geológico**, v. 16, n. special, p. 51–55, 1995.

HEAD, K. H.; EPPS, R. Direct Shear Tests. In: **Manual of Soil Laboratory Testing**. III ed. London: Pentech Press, 1986. v. 3p. 208–300.

HIGASHI, R. R. **Utilização de um SIG no desenvolvimento de um banco de dados geotécnicos do norte do estado do Rio Grande do Sul**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 5 nov. 2014.

LAMBE, W. T.; WHITMAN, R. T. **Soil mechanics**. New York: Massachusetts Institute of Technology, 1969.

MEIRELLES, M. C.; DAVISON DIAS, R. Estudo da Erodibilidade de Solos Residuais do Complexo Granito-Gnaissico – Município de Santo Amaro da Imperatriz, SC. **5º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS NÃO SATURADOS**, v. 1, p. 465–470, 2004.

METEOROLOGIA, I. N. DE. **Precipitação Mensal**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 18 mar. 2015.

MORGENSTERN, N. R.; TCHALENKO, J. S. Microscopic structures in kaolin subjected to direct shear. **Geotechnique**, v. 17, n. 4, p. 309–328, 1967.

SANTOS, G. T. **Integração de Informações Pedológicas, Geológicas e Geotécnicas Aplicadas ao Uso do Solo Urbano em Obras de Engenharia**. UFRGS, Porto Alegre, RS, 1997.

XAVIER, S. C. **O Solo Criado no Urbanismo e no Direito Urbanístico Brasileiro**. [s.l.] Universidade Federal de Pelotas, 2004.

ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N. **Algumas reflexões sobre o mapeamento geotécnico** *Anuário do Instituto de Geociências*, 1992.

CAPÍTULO VII

USO DE MODELO GEOLÓGICO DIGITAL COMO FERRAMENTA DE ORIENTAÇÃO DE DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÃO

**Carlos Magno Sossai Andrade
Patrício José Moreira Pires
Rômulo Castello Henrique Ribeiro**

USO DE MODELO GEOLÓGICO DIGITAL COMO FERRAMENTA DE ORIENTAÇÃO DE DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÃO

Carlos Magno Sossai Andrade

Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Engenharia Civil
Vitória - Espírito Santo

Patrício José Moreira Pires

Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Engenharia Civil
Vitória - Espírito Santo

Rômulo Castello Henrique Ribeiro

Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Engenharia Civil
Vitória - Espírito Santo

RESUMO: O presente trabalho tem o objetivo mostrar uma aplicação prática referente à utilização de um software no dimensionamento geotécnico aplicada a fundações profundas. A revisão bibliográfica introduz o conceito de fundação profunda e explana objetivamente o tipo utilizado no estudo, assim como os principais ensaios de investigação de solo aplicados ao dimensionamento de estacas profundas. É apresentado o método de capacidade de carga e alguns elementos básicos relativos ao software de modelagem utilizado neste trabalho. A metodologia mostra como deve ser feito o dimensionamento de estacas tipo hélice contínua em um determinado terreno a partir de dados de relatórios de sondagem, desde o cálculo em planilhas eletrônicas até a inserção de dados no software para a criação de modelos geológicos sólidos e de cercas de litologia e capacidade de carga, assim como o mapa de profundidades aplicado ao dimensionamento de estacas profundas tipo hélice contínua. Dessa forma, verificou-se que de softwares de modelagem podem ser utilizados como guias no dimensionamento de estacas profundas.

PALAVRAS-CHAVE: Dimensionamento de fundação. Modelo geológico. Fundação profunda.

1. INTRODUÇÃO

Toda construção de engenharia repousa sobre solo ou rocha e necessita de algum elemento que faça essa interface, sendo esse chamado de Fundação (BOWLES, 1997). A fundação é um sistema de transmissão dos esforços onde toda a carga da construção é distribuída no solo ou rocha de forma que esse seja capaz de lhe suportar e prover estabilidade.

A concepção de uma estrutura de fundação requer elementos chave para ser feita, como a localização e a posição das cargas impostas, a inspeção do terreno onde será situada a construção, a avaliação do terreno e a determinação dos parâmetros do solo e por último o dimensionamento da estrutura (BOWLES, 1997).

A quantidade de dados que devem ser analisados por vezes torna esse trabalho dispendioso e pouco preciso, e métodos manuais podem levar a grandes erros. A utilização de modelos matemáticos e ferramentas computacionais podem minimizar esses problemas, resolver de forma mais rápida e segura, e apresentar um resultado mais confiável para se trabalhar.

De acordo com Turner (2006) um dos maiores problemas na interpretação de dados geológicos do subsolo, é a falta de representatividade. Pois os ensaios realizados em campo são espaçados e possuem um número mínimo determinado por norma, e quem os executa tende a fazê-los no menor número possível a fim de economizar dinheiro e tempo. Para se estabelecer um modelo coerente com a realidade, devem-se interpolar esses pontos espaçados de dados. Este processo de interpolação geralmente requer conhecimento geológico de forma a replicar com sucesso os ambientes geológicos reais.

1.1. Objetivo do trabalho

O presente trabalho visa apresentar uma maneira objetiva de utilização de um software para traçar o perfil geotécnico de um determinado terreno e, além disso, mostrar uma aplicação prática de dimensionamento geotécnico de fundações profundas para um caso real.

2. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

2.1. Fundação profunda

A NBR 6122 (ABNT, 2010) define fundação profunda como:

Elemento de fundação que transmite a carga ao terreno ou pela base (resistência de ponta) ou por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas, devendo sua ponta ou base estar assente em profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, e no mínimo 3,0 m. Nesse tipo de fundação incluem-se as estacas e os tubulões.

De acordo com Schnaid (2000), existem basicamente 3 tipos de materiais que as fundações profundas podem ser feitas, sendo classificadas de acordo com os 4 tipos: I- Madeira, II- Concreto, III- Aço e IV-mistas. Quanto à execução podem ser feitas por cravação ou escavação.

2.2. Estacas tipo Hélice Contínua

A Estaca Hélice Contínua, segundo a NBR 6122 (ABNT, 2010) é uma

Estaca de concreto moldado in loco, executada mediante a introdução, por rotação, de um trado helicoidal contínuo no terreno e injeção de concreto pela própria haste central do trado simultaneamente com sua retirada, sendo que a armadura é introduzida após a concretagem da estaca.

Essa estaca é utilizada fora do País desde a década de 70, possui a grande vantagem de ter uma alta produtividade assim como baixo nível de ruído (VELLOSO; LOPES, 2002) podendo ser utilizadas em áreas com restrições quanto ao nível de vibração e ruído.

O bombeamento do concreto para dentro do furo deve ser feita concomitantemente à retirada da hélice atentando aos seguintes princípios: A retirada do fuste deve ser feita sem rotação, ou com rotação lenta no mesmo sentido da perfuração e a pressão do concreto no furo deve ser mantida sempre positiva de forma que preencha todos os vazios deixados pela extração da hélice (VELLOSO; LOPES, 2002). Esse procedimento torna possível a utilização desse equipamento em solos abaixo ou acima de lençol freático, assim como em terrenos de solo não coesivo (MAGALHÃES, 2005).

A armadura é colocada sempre ao final da concretagem, devendo ser introduzida com o concreto ainda fresco, podendo ser feito manualmente por operários, com auxílio de um peso, ou com auxílio de um vibrador. As estacas submetidas somente a esforços de compressão não necessitam de armadura em toda a sua extensão, sendo utilizada somente uma armadura de ligação com o bloco de coroamento (MAGALHÃES, 2005). Para esse tipo de estaca, e/ou estacas não armadas, a norma NBR 6122 (ABNT, 2010) permite uma tensão de 5,0MPa no concreto.

2.3. SPT – Teste de Penetração Padrão

De acordo com Schnaid (2000), a sondagem SPT, ou *Standart Penetration Test*, é um dos procedimentos de investigação de subsolo mais importantes e é utilizado em todo o mundo em obras de engenharia, mais especificamente para o dimensionamento de fundações. Podendo ser empregado na obtenção de parâmetros geotécnicos preliminares de fundamental importância para os estudos da área, como a indicação da densidade de solos granulares e também na identificação da consistência de solos coesivos.

Outra aplicação do ensaio SPT é a determinação do perfil do subsolo e identificação tátil-visual das diferentes camadas a partir do material recolhido no amostrador-padrão. A caracterização do solo é normalmente obtida combinando a descrição do testemunho de sondagem com o número de golpes N_{spt} . A NBR 6484 (ABNT, 2001) fornece uma tabela com valores a serem utilizados para se determinar os estados de compactidade e consistência e classificar o solo quanto a sua compactidade (solos granulares) e consistência (solos coesivos), de acordo com

a quantidade de golpes na camada.

2.4. CPT e CPTU – Ensaio de Cone e Piezocone

Schnaid (2000) afirma que o ensaio CPT, ou Ensaio do Cone, é uma importante ferramenta de prospecção geotécnica, sendo utilizado na determinação estratigráfica de perfis de solos, na determinação de propriedades dos materiais prospectados e na previsão da capacidade de carga de fundações, sobretudo em depósitos de argilas moles e areias sedimentares.

O Ensaio do Piezocone, segundo Ceresino e Brito (2014), é uma derivação do ensaio CPT, pois além da obtenção das resistências de ponta e lateral, esse ensaio permite o monitoramento das pressões neutras (poropressões) no solo durante o processo de cravação.

2.5. Métodos de estimativa de capacidade de carga

A capacidade de carga de um elemento de fundação é obtida a partir do menor valor de resistência entre: (a) a resistência do solo que dá suporte ao elemento, e (b) a resistência estrutural do elemento de fundação.

O fato de se ter um maior controle sobre a capacidade de carga admissível dos elementos construídos em comparação com a variação da capacidade de carga do solo, nos dá uma maneira mais eficaz de se calcular uma fundação profunda. Fixando-se a carga admissível máxima que a estrutura suporta, e a partir desse valor, calcular a profundidade no solo que suporte tal carga. Deve-se atentar aos equipamentos e aos métodos de execução disponíveis no local, pois podem afetar diretamente na profundidade máxima de execução (ALONSO, 1991).

2.6. Fator de segurança

Alonso (1991) sugere que a gama de incertezas na execução de fundações seja proveniente da natureza do material em que está inserido, o solo. Por surgir de processos de formação natural, não há certeza de nenhum valor característico obtido por meio de amostras coletadas em campo. Diferentemente de produtos fabricados pelo homem, que possuem controle de qualidade e métodos mais confiáveis de previsão de falhas, não se tem garantias de que o comportamento do solo será homogêneo entre dois pontos de amostragem.

A Norma Brasileira define certos valores a serem adotados de acordo com o tipo de solo e o método de previsão de cargas admissíveis. Para a execução de fundações do tipo estaca e tubulões é necessário utilizar um coeficiente de segurança mínimo de 2 (ALONSO, 1991).

2.7. Capacidade de Carga Axial

De acordo com Velloso e Lopes (2002), o projeto de fundação de uma edificação necessita de parâmetros para ser dimensionado de forma a proporcionar a estabilidade e a segurança da estrutura. Esse projeto engloba parâmetros tanto estruturais, de resistência interna dos elementos, quanto do solo circundante, capaz de suportar solicitações externas. A metodologia básica para o cálculo de fundações do tipo profunda consiste em distribuir a carga axial aplicada na estaca de modo a dispersá-la no subsolo de duas maneiras: (a) resistência ao cisalhamento do solo ao longo do fuste, e (b) pela tensão normal atuante na ponta da estaca.

Magalhães (2005) cita que diversos métodos de capacidade de carga já foram desenvolvidos e estão divididos basicamente em Métodos Estáticos e Métodos Dinâmicos, os quais não serão discutidos neste trabalho. Os Métodos Estáticos podem ser classificados como:

- *Métodos Racionais* ou *Teóricos*: Aqueles que utilizam soluções teóricas de capacidade de carga e parâmetros do solo;
- *Métodos Semi-Empíricos*: Aqueles que se baseiam em ensaios *in situ* de penetração (CPT e SPT).

2.7.1. Método semi-empíricos que utiliza SPT: Método de Alonso (1996)

De acordo com Schnaid (2000) no Brasil, a técnica de sondagem geotécnica mais utilizada e difundida é o SPT, capaz de determinar a resistência à penetração do amostrador-padrão no subsolo. Tendo em vista sua empregabilidade em nosso meio e a necessidade de se obter a capacidade de carga no solo, há anos são desenvolvidos métodos que relacionam o resultado das sondagens desse ensaio para esse fim.

O método de Alonso (1996a,1996b, citado por VELLOSO; LOPES, 2002) foi avaliado por Francisco (2001, citado por VELLOSO; LOPES, 2002), e apresenta resultados satisfatórios para cargas de ruptura de até 250tf.

Esse método utiliza resultados de ensaio SPT-T, que é o ensaio SPT com medições de torque, e possui coeficientes de correção da adesão do solo avaliados na Bacia Sedimentar Terciária da cidade de São Paulo e também em outras duas regiões: Formação Guabirotuba – PR, e na cidade da Serra – ES.

A carga última (Q_{ult}) para o Método de Alonso (1996) é determinada de acordo com a Equação 1:

$$Q_{ult} = P1 + P2 \quad (1)$$
$$P1 = \sum U * \Delta l_i * r l_i \quad ; \quad P2 = A_p * r p$$

Sendo P1 a carga em relação à parcela da Resistência Lateral, e P2 a parcela da Resistência de Ponta. Onde:

U = Perímetro da seção do fuste;
 Δl = Comprimento vertical da estaca relacionado à distância entre medidas do SPT-T;
 $rl = \alpha * f_s$ (Adesão média na carga última ao longo do fuste da estaca);
 - α = Coeficiente de correção de f_s obtido através da interpretação de provas de carga carregadas até as proximidades da carga última na Tabela 1;
 - f_s = Adesão calculada a partir do torque máximo e a penetração total, em centímetros, do amostrador no ensaio SPT-T, obtida pela Equação 2:

$$f_s = \frac{100 * T_{m\acute{a}x}}{0,41 * h - 0,032} \quad (2)$$

Onde:

$T_{m\acute{a}x}$ = Torque máximo, em kgf.m;

h = Penetração total do amostrador na cravação, em centímetros.

Tabela 1 - Valores de α de Alonso para estacas hélice contínua

Região	α
Bacia sedimentar de São Paulo	0,65
Formação Guabirota	0,65
Cidade da Serra - ES	0,76

Fonte: Magalhães (2005)

A_p = Área da projeção da ponta da estaca sobre um plano perpendicular ao eixo da mesma;

rp = Resistência da ponta, obtida pela seguinte expressão:

$$rp = \beta \frac{T_{min}^{(1)} * T_{min}^{(2)}}{2} \quad (3)$$

Onde:

β = Parâmetro do tipo de solo em função da região (Tabela 2):

$T_{min}^{(1)}$ = Média aritmética dos valores de torque mínimos (em kgf.m) ao longo de 8 diâmetros acima da ponta da estaca;

$T_{min}^{(2)}$ = Média aritmética dos valores de torque mínimos (em kgf.m) ao longo de 3 diâmetros abaixo da ponta da estaca;

Tabela 2 - Valores do parâmetro β (em kPa/kgf.m) em função do tipo de solo

Região	β - areia	β - silte	β - argila
Bacia sedimentar de São Paulo	200	150	100
Formação Guabirota	-	-	80
Cidade da Serra - ES	260	195	130

Fonte: Magalhães (2005)

Caso não haja valores de SPT-T, é possível uma correlação com resultados de SPT da seguinte maneira: $T_{m\acute{a}x} = 1,2 * N_{spt}$ e $T_{min} = 1,0 * N_{spt}$. E ainda deve-se atentar aos limites superiores de:

- $rl \leq 200 \text{ kPa}$;

- $T_{min}^{(1)} \leq 40\text{kgf.m}$;
- $T_{min}^{(2)} \leq 40\text{kgf.m}$.

2.8. Modelagem geológica e geotécnica computacional

De acordo com Ceresino e Brito (2014) as abordagens numéricas envolvendo modelagem matemática têm se desenvolvido à medida do surgimento de novas arquiteturas de hardware que possibilitam o refinamento destes. O emprego de modelagem geotécnica computacional tem possibilitado o aumento da capacidade de soluções e resultados mais confiáveis com um tempo de processamento cada vez menor.

O software *RockWorks15*, comercializado pela *RockWare Incorporated* (1983-2014), é um programa de manipulação de dados geológicos, análises e visualização gráfica de resultados. O *RockWorks15* oferece um pacote completo para modelagem, criação de imagem e geração de relatórios que dão auxílio ao operador de forma bastante eficaz na realização de seu trabalho. É possível se trabalhar com locações, medições geofísicas e geoquímicas, observar litologia, estratigrafia, entre outros.

A suíte em duas dimensões (2D), fornece ferramentas de criação de contornos de nível, mapas, seções de estratigrafia e litologia, mapas de superfície e seções cruzadas. Já a suíte 3D produz modelos geológicos sólidos, e fornece meios de se trabalhar graficamente a amostra. De acordo com Almeida (2011), a modelagem nessa suíte permite alguns métodos geoestatísticos de interpolação de superfície, como triangulação, inverso da distância, krigagem, assim como outras funções de interpolação.

3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desse trabalho foram utilizados dados de relatórios de sondagem SPT executadas em um terreno no Bairro Jardim Limoeiro do Município da Serra-ES. Tal campanha de sondagens foi executada visando projetos geotécnicos de fundações para uma série de edifícios.

O dimensionamento de fundações requer primeiramente a definição de certos parâmetros para a execução da estrutura. Deve-se escolher o tipo de estaca e seu diâmetro, assim como o método de cálculo. O trabalho toma como referência a fundação do tipo Hélice Contínua com diâmetro de 30 cm, e para os cálculos de capacidade de carga o Método de Alonso (1996).

A norma brasileira NBR 6122 (ABNT, 2010) define que para esse tipo de estaca, pode ser feito o dimensionamento para suporte de carga até 5,0MPa de tensão admissível.

Dessa forma, limitou-se a carga máxima por estaca em 5,0Mpa nos cálculos

de capacidade de carga para o Método de Alonso (1996).

3.1. Cálculo em planilhas digitais

Para este trabalho foi elaborada uma planilha digital de cálculo com base no Método de Alonso (1996). Os dados de entrada utilizados na parcela do cálculo da resistência lateral foram os dados de N_{spt} para cada profundidade e o comprimento de penetração do amostrador (comprimento padrão de 45 cm, podendo variar caso haja penetração parcial), o diâmetro da estaca em 30 centímetros, o coeficiente de correção de f_s (α) em 0,76, e intervalos entre medidas do ensaio na distância padrão em 1m.

Na parcela da Resistência de Ponta, onde se utiliza o coeficiente empírico β que é referente ao tipo de solo, foram utilizados valores interpolados, pois o solo em questão apresenta misturas granulométricas não contempladas nos trabalhos de Alonso (1991) e Magalhães (2005).

A partir da capacidade de carga admissível máxima da estaca para cada metro de profundidade, é aplicado o coeficiente de segurança para se chegar ao valor da Capacidade de Carga Admissível final do solo para a estaca calculada a cada metro de profundidade.

3.2. Entrada de dados no software RockWorks15

Neste tópico serão abordados dois procedimentos que podem ser feitos a partir dos dados obtidos com os resultados de prospecção e com os gerados nas planilhas digitais.

A modelagem Litológica e da Capacidade de carga pode ser feita a partir da inserção dos dados retirados de sondagens geotécnicas, como Nome do furo, localização, elevação e profundidade total. Dessa forma, é possível, a partir dos pontos criados, inserir os dados referentes à litologia e dos valores calculados de Capacidade de carga para cada metro de profundidade.

Para a criação do mapa de profundidade das estacas, deve-se manipular uma superfície do terreno onde é apresentada a capacidade de carga limite da estaca em questão. Como mostrado no capítulo anterior, a capacidade máxima estrutural de suporte das estacas de 30cm de diâmetro indicam que a carga máxima suportada é de 35,34tf (5,0MPa de tensão). Os resultados dos cálculos feitos para todos os pontos de sondagem devem ser inseridos no programa *RockWorks15* na aba de dados de localização subtraindo-se do valor de elevação a profundidade calculada de capacidade do solo superior a 35,04tf. Dessa forma, altera-se o valor de elevação no programa para todos os furos de sondagem de forma a apresentar uma superfície de capacidade de carga igual a 35,34tf para todos os pontos de sondagem.

Para a obtenção de modelos sólidos e mapas, o primeiro passo é a seleção

dos pontos de sondagem que se queira modelar, depois deve-se clicar no botão “Scan Enabled Boreholes” para que se faça a leitura dos dados e se crie uma borda para o modelo. Esse procedimento pode apontar algum erro caso haja dados muito discrepantes da média e que devam ser corrigidos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

É possível observar pelo Modelo Sólido Litológico (Figura 13) criado a partir dos dados de todo o terreno que há uma grande variação na composição do solo tanto vertical (com locais onde há até 8 tipos diferentes de solo) quanto horizontalmente (onde é possível observar uma homogeneidade na região nordeste que apresenta uma grande concentração de areia).

A Figura 14 apresenta o Modelo Litológico com vistas em Cerca, onde é possível observar com maior clareza o interior do terreno, assim como onde há a maior concentração de pontos de sondagem.

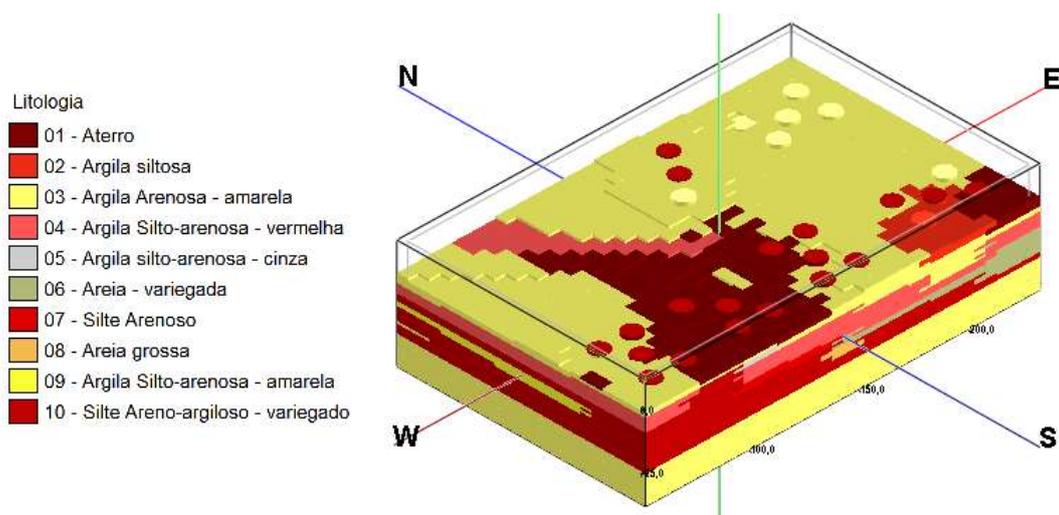


Figura 13 - Modelo Litológico - Vista Sudoeste

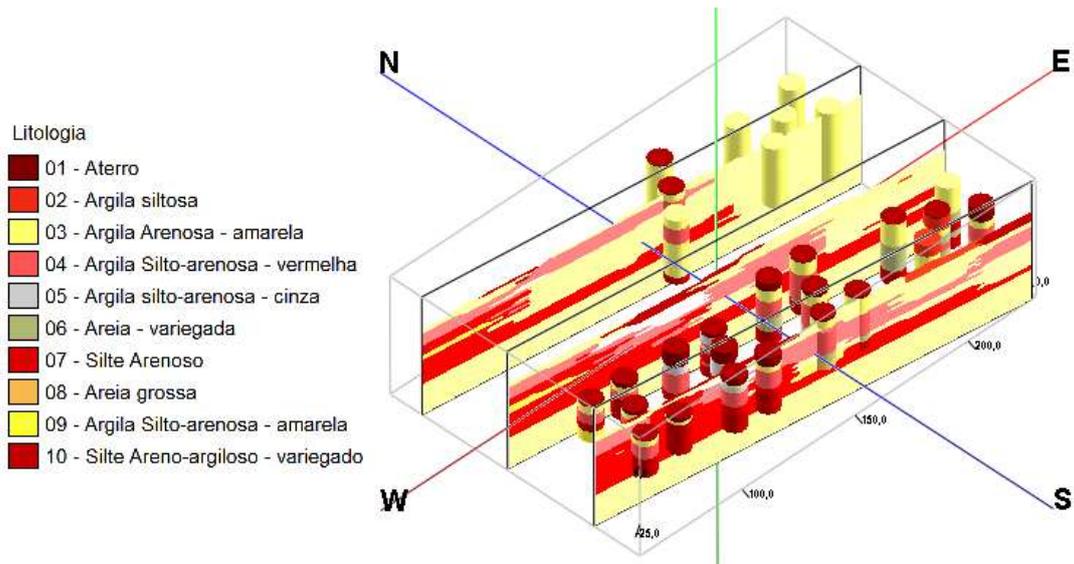


Figura 14- Modelo Litológico com vista em Cerca com furos - Vista Sudoeste

Os modelos de Capacidade de carga admissível do solo são apresentados pelas Figura 15 e Figura 16. É possível observar o gradiente de capacidade de cargas no solo de acordo com a variação das cores indicadas nas respectivas legendas.

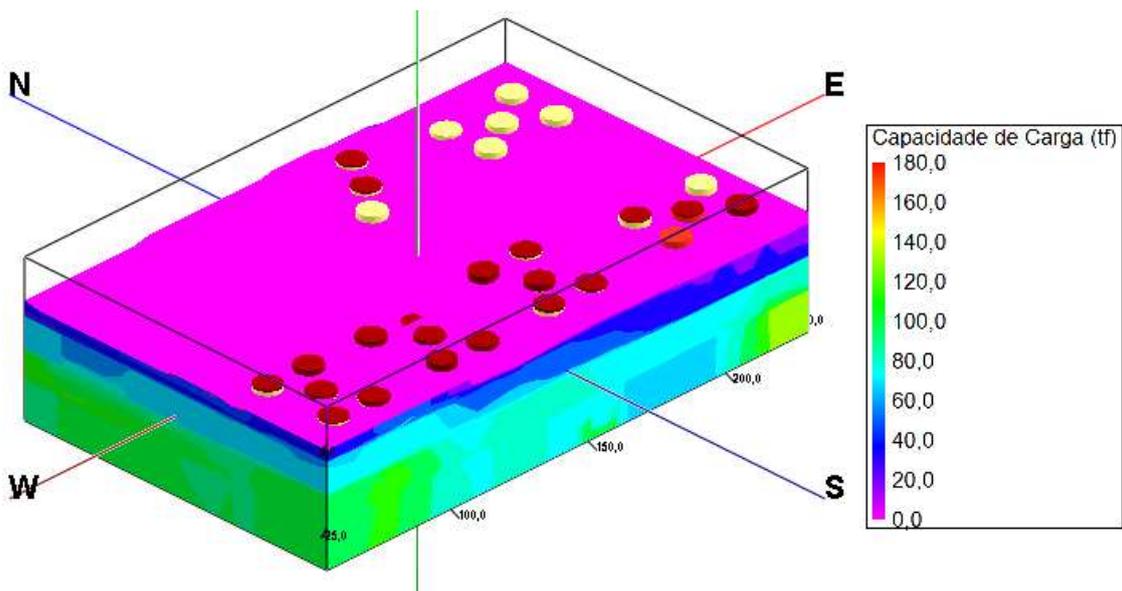


Figura 15- Modelo Sólido de Capacidade de carga admissível - Vista Sudoeste

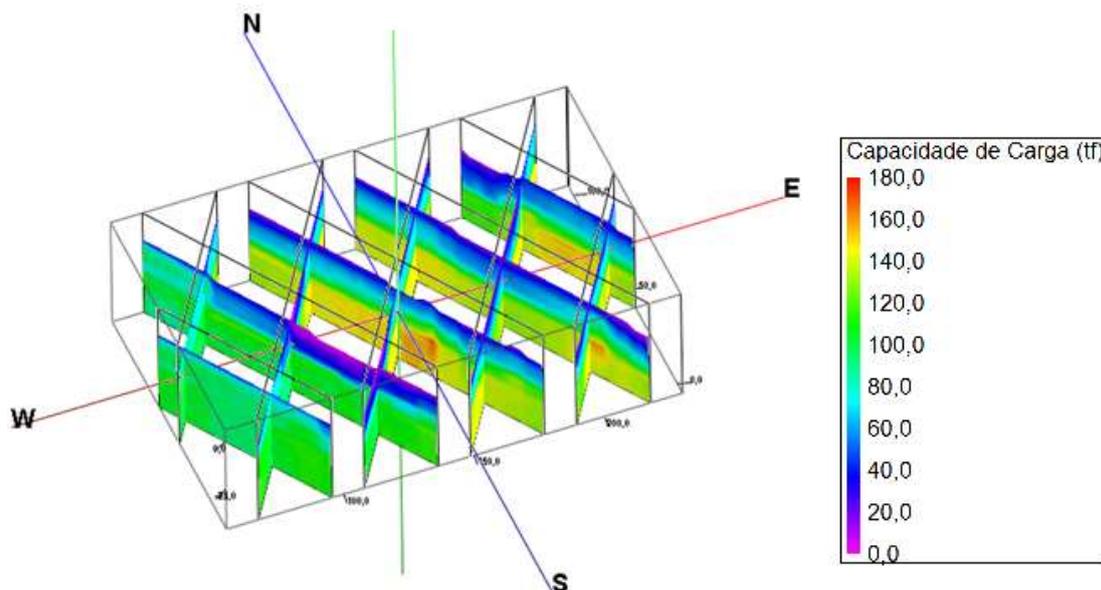


Figura 16- Modelo de Capacidade de Carga admissível com vista em Cerca - Vista Sudoeste

É possível perceber que há uma variação mais abrupta de capacidade de carga na região sudoeste que apresenta grande variedade de tipos de solos, do que na região nordeste, onde as cargas apresentam uma variação mais amena e constante. Sabe-se que essa é a região do terreno que apresenta um solo mais homogêneo composto basicamente de areia.

Pode-se observar nesse último modelo em Cerca que é conferido um incremento na capacidade de carga na maior parte do terreno à medida que a profundidade aumenta. Porém, esse aumento pode se apresentar menor em pontos onde a resistência de ponta da camada $n+1$ somada à resistência lateral $n+1$ se apresenta menor que a resistência de ponta da camada n , de forma que haja uma perda da capacidade de carga nesse incremento de profundidade.

Para finalizar, tem-se o mapa de profundidades mínimas para estacas Hélice Contínua com diâmetro de 30 centímetros, calculado para uma capacidade máxima de carga de 353 kN, disposto na Figura 17.

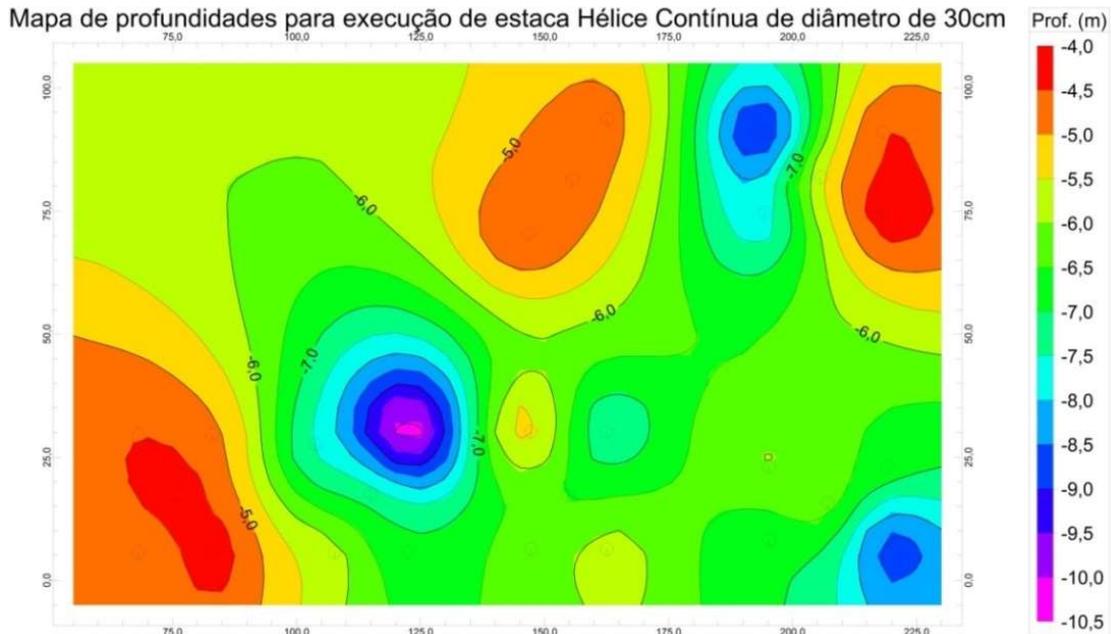


Figura 17- Mapa de profundidades para execução de estaca Hélice Contínua de diâmetro de 30cm

A inserção da planta de pilares de um dos edifícios que foi construído no local proporciona uma interface para o dimensionamento de estacas para cada região de acordo com a cor disposta. Essa inserção pode ser feita para qualquer edifício se tomando como base os pontos de sondagem para a sobreposição das imagens. A Figura 18 fornece o mapa com uma planta de pilares inserida, e a Figura 19 apresenta um mapa similar utilizando-se somente dos furos de sondagem relativos ao edifício em foco, descartando-se as informações de todos os outros furos do entorno

Mapa de profundidades para execução de estaca Hélice Contínua de diâmetro de 30cm para o Edifício em foco

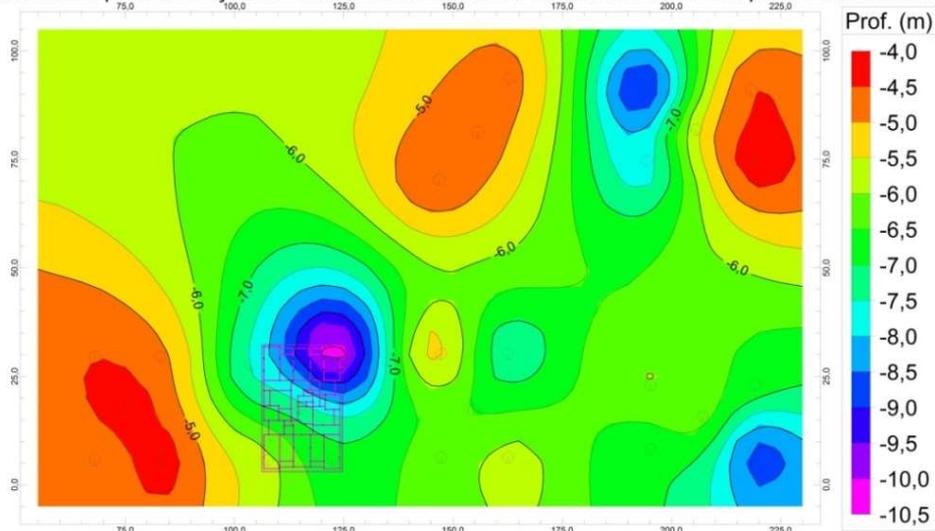


Figura 18- Mapa criado com título próprio a partir do RockWorks15

Mapa de profundidades para execução de estaca Hélice Contínua de diâmetro de 30cm para o Edifício em foco

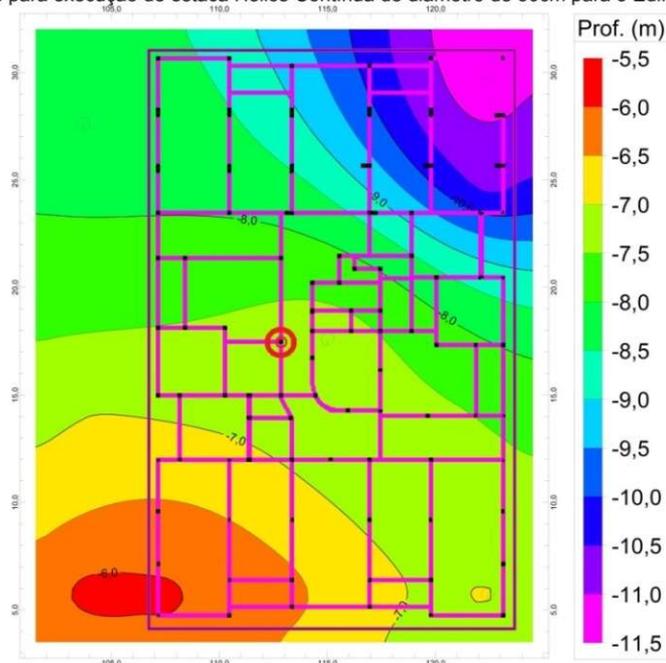


Figura 19- Mapa criado com título próprio a partir do RockWorks15 com pilar em destaque

Esse mapa apresenta certas diferenças quanto às profundidades e as linhas de contorno apresentadas. Isso ocorre, pois, o método de interpolação utilizado é o Método do inverso da distância, o qual usa uma abordagem de média ponderada para calcular todos os pontos da malha. Dessa forma, ao se descartar os pontos mais afastados, o mapa apresenta uma variação nas profundidades em relação aos mapas calculados levando em consideração todos os furos de sondagem.

Tem-se como exemplo de dimensionamento de fundação o pilar destacado no mapa acima. Esse pilar apresenta uma carga solicitante de projeto de 69,0tf. Sabe-se que a carga máxima suportada por estaca é de 35,34tf, dessa forma, é necessário utilizar duas estacas para a distribuição dos esforços. Ao analisar a Figura 19 é fácil perceber que a profundidade mínima das estacas na localização do pilar é de 7,50m. Dessa forma, o dimensionamento da fundação do pilar em questão aponta a necessidade de se utilizar duas estacas tipo hélice contínua, com diâmetro de 30cm e com comprimento mínimo de 7,50m cada.

CONCLUSÕES

Os relatórios de pontos de sondagens apresentam os resultados de forma esparsa, onde deve ser feita uma interpretação para todo o traçado do perfil geotécnico do terreno. Esse traçado geralmente é feito de forma manual sem que haja um controle rigoroso, ou um modelo seguro de interpolação dos resultados em toda a área de estudo.

É fácil perceber que a utilização do software RockWorks15 proporciona uma modelagem que segue métodos de interpolação mais seguros, de forma a se obter

resultados para cada ponto de toda a extensão do terreno em que se trabalha. Porém, deve-se ressaltar que a abrangência dos dados inseridos no programa interfere no resultado final de acordo com a quantidade de informação que se tem à disposição.

Dessa forma, vê-se que a utilização de softwares de modelagem pode auxiliar no dimensionamento de estacas. O programa não deve ser utilizado sem um profissional experiente e capacitado da área em questão, habilitado de senso crítico e conhecedor de informações não palpáveis que a máquina possa manipular. E esse profissional deve utilizar essa ferramenta apenas como guia para o dimensionamento de estacas por esse método.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à GPR PUC-RIO – Grupo de Geofísica Aplicada da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro pela disponibilização do Software Rockworks15.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484**: Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001.

ALONSO, U. R. **Previsão e controle das fundações: uma introdução ao controle da qualidade em fundações**. São Paulo: E. Bulcher, c1991.

ALMEIDA, R. F. R. **Modelagem geológica do Entorno da Lagoa de Jacarepaguá**. 161p. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

BOWLES, Joseph E. **Foundation Analysis and Design**. 5 ed. Peoria: McGraw-Hill Book, 1997.

CERESINO, A. B., BRITO, L. J. **Modelagem geológica e geotécnica de uma região do Vale Encantado em Vila Velha – ES**. Universidade Federal do Espírito Santo, Curso de Engenharia Civil. Vitória, 2014.

MAGALHÃES, P. H. L. **Avaliação dos métodos de capacidade de carga e recalque de estacas hélice contínua via provas de carga**. 243p. Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

ROCKWORKS15. **Manual do software RockWorks15**. 3.ed. Golden, 2010. 136p.

SCHNAID, F. **Ensaio de campo e suas aplicações à engenharia de fundações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

TURNER, A. K., **Challenges and trends for geological modeling and visualizations**. Bulletin of Engineering Geology and the Environment. v.65, p.109-127, 2006.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. **Fundações**. v. 2: fundações profundas. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2002.

ABSTRACT: This paper aims to show a practical application concerning the use of software in geotechnical design applied to deep foundations. The literature review introduces the concept of deep foundation objectively and explains the type used in the study, and the main soil research trials applied to sizing of deep piles. The load capacity method and some basic details of the modeling software used in this work is presented. The methodology shows how the continuous flight auger should be taken from field survey reports. Also the calculation spreadsheets to data entry in software for creating solid and fences geological models, and lithology and load capacity models, as well as the map of depths applied to the design of deep CFA piles. Thus, it was found that the use of modeling software might be used to guide the design of deep piles.

KEYWORDS: Sizing of foundation. Geological model. Deep foundation.

CAPÍTULO VIII

ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DA BOÇOROCA DO CÓRREGO DO GRITO EM RANCHARIA-SP DE 1962 A 2014

Alyson Bueno Francisco

ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DA BOÇOROCA DO CÓRREGO DO GRITO EM RANCHARIA-SP DE 1962 A 2014

Alyson Bueno Francisco

Geógrafo, MSc, Doutorando em Geografia pela Universidade Estadual Paulista, Campus de Presidente Prudente, Bolsista da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, e-mail: alysonbueno@gmail.com

RESUMO: Este artigo visa apresentar os resultados de uma análise da evolução da boçoroca do Córrego do Grito, localizada no município de Rancharia-SP, nas escalas temporal e espacial. Para esta análise foram adotados os procedimentos de levantamento topográfico realizado em 2014 e georreferenciamento de fotos aéreas (1962, 1972, 1984 e 1991) e imagem orbital (2002) em ambiente de Sistema de Informações Geográficas. A partir desta análise espacial, constatou-se que o período de maior desenvolvimento da boçoroca ocorreu entre 1991 e 2002 com o surgimento de ramificações de grande porte na margem esquerda da boçoroca.

PALAVRAS-CHAVE: boçoroca, erosão urbana, geotecnologias.

1. INTRODUÇÃO

A erosão de solos representa um dos impactos ambientais mais preocupantes devida degradação dos recursos hídricos e perda da capacidade de produção de alimentos. No contexto urbano, a erosão de solos do tipo linear torna-se um risco para as populações em decorrência da instabilidade dos terrenos afetados. Em 1997, apenas no Estado de São Paulo, foram cadastradas aproximadamente 750 boçorocas urbanas ativas (IPT, 1997).

As boçorocas são feições erosivas originárias do aprofundamento e alargamento de ravinas ou da erosão subterrânea com formação de dutos (*pipes*). As boçorocas possuem paredes laterais íngremes com perfil em formato “U” e a presença de canal com a presença de águas do corpo freático (ROSSATO et al., 2008).

De acordo com Guerra (2005, p. 34): “[...] as boçorocas são formas resultantes de processos erosivos acelerados que evoluem no tempo e no espaço”.

Poesen (2011) considera que são necessárias pesquisas nas escalas temporais e espaciais, através de técnicas de monitoramento em campo e de Sistemas de Informação Geográfica, visando uma melhor compreensão da dinâmica das boçorocas.

Em decorrência dos avanços nos sistemas de posicionamento global por satélite (*Global Navigation Satellite System*) foi possível garantir um mapeamento em detalhe de grandes feições erosivas pelo georreferenciamento das fotos aéreas e imagens orbitais.

Neste contexto de necessidade de diagnóstico do desenvolvimento das boçorocas a partir das escalas temporais e espaciais, este trabalho possui como objetivo analisar as fases de desenvolvimento de uma boçoroca periurbana nos últimos 52 anos.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

A boçoroca do Córrego do Grito está localizada no perímetro urbano da cidade de Rancharia (Figura 01), possuindo uma área de aproximadamente 13.800 m² (2014), aproximadamente 300 m de comprimento, largura média de 40 m e profundidades máximas de aproximadamente 12 m.

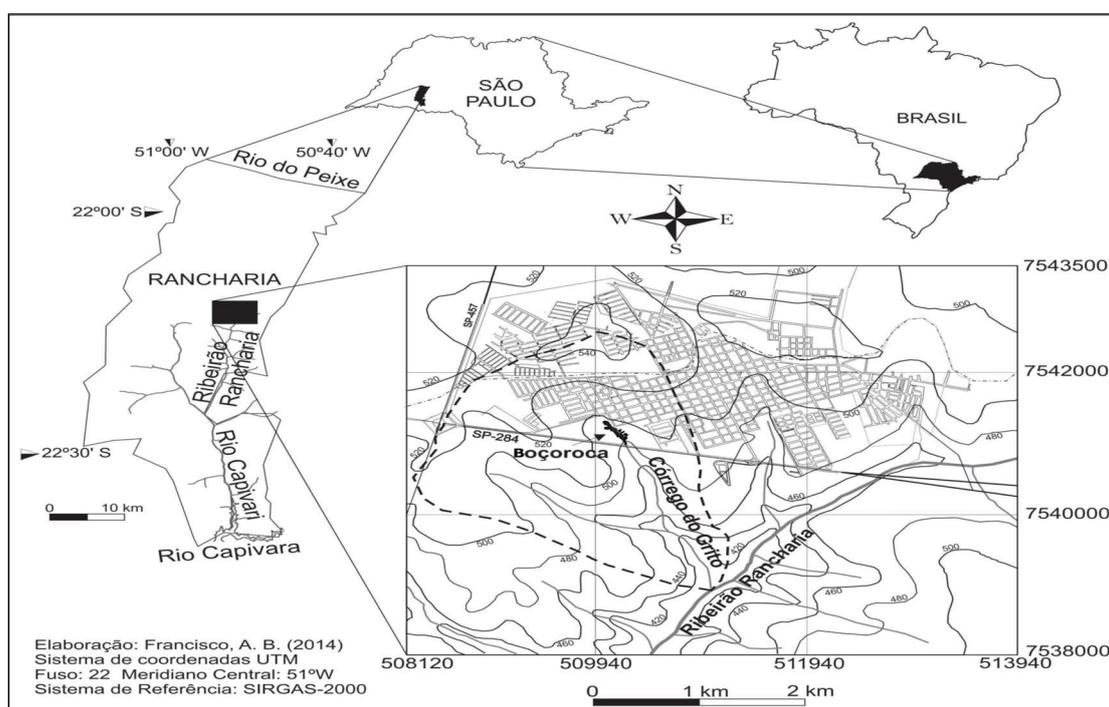


Figura 01 – Mapa de localização da boçoroca do Córrego do Grito.

O substrato geológico da área é constituído por arenitos da Formação Adamantina (IPT, 1981) com a presença de cimentação carbonática onde estabelece uma condição de maior resistência à erosão geológica com a presença de superfícies de cimeira alinhadas de forma descontínua, presença de depósitos correlativos quaternários nas médias e baixas vertentes e depósitos tecnogênicos gerados pelas condições de uso e ocupação do solo (OLIVEIRA, 1994).

O relevo é caracterizado pelo predomínio de colinas amplas com a presença de declividades mais acentuadas nos trechos com morros de geologia resistente e vertentes convexas com rupturas de declive que delimitam os fundos de vale. Esta morfologia do relevo local é marcada pela presença de cabeceiras de drenagem em formatos de anfiteatros, sendo áreas propícias ao elevado gradiente hidráulico subterrâneo (OLIVEIRA, 1994).

Os solos predominantes na microbacia do Córrego do Grito são o Latossolo Vermelho, o Argissolo Vermelho-Amarelo e a presença de Neossolo Litólico nos fundos de vale (OLIVEIRA et al., 1999).

Em relação aos aspectos climáticos, segundo Boin (2000), Rancharia está localizada numa área com pluviosidade anual média 1.350 mm, sendo que nos meses de verão ocorre uma pluviosidade média de 450 mm, e a erosividade média das chuvas anuais é de 7.500 MJ.mm/h/ha.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Para a análise da evolução espacial e temporal da boçoroca foram georreferenciadas as fotos aéreas de 1962, 1972, 1984 e 1991 e imagem orbital de 2002.

O georreferenciamento das imagens foi realizado no aplicativo Quantum GIS, desenvolvido pela ONG OSGeo, a partir de dados topográficos e geodésicos coletados em levantamento topográfico realizado em setembro de 2014, com a utilização de receptores GNSS Topcon Hiper e estação topográfica digital, conforme as normas de levantamento topográfico da ABNT (1994).

No aplicativo Quantum GIS, a delimitação da área da boçoroca nas imagens georreferenciadas gerou vetores em arquivos em formato *DWG* e posteriormente a carta de evolução da boçoroca foi editada no aplicativo CorelDRAW, desenvolvido pela empresa *Corel Corporation*.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 01 mostra as áreas absolutas da boçoroca, as áreas ampliadas por período e as áreas médias de ampliação por ano.

Tabela 01 – Áreas da boçoroca entre 1962 e 2014.

Ano	Área (m ²)	Área ampliada (m ²)	Área média (m ²) ampliada/ano
1962	07.500	-	-
1972	08.240	740	74,00
1984	09.050	810	109,17
1991	11.340	2.290	327,14
2002	13.100	4.460	405,45
2014	13.800	1.700	141,67

Org.: Francisco, A. B. (2015).

O gráfico da figura 02 apresenta as ampliações por período destas áreas.

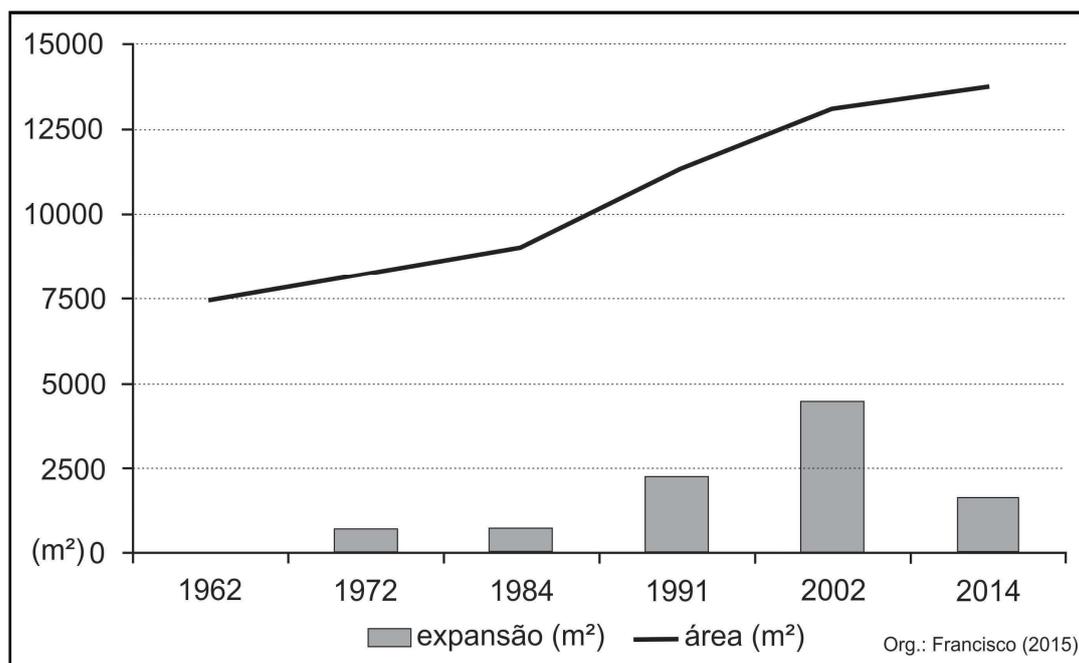


Figura 2 - Expansão da área da boçoroca entre os anos de 1962 a 2014.

Entre 1984 e 1991 ocorreu o maior desenvolvimento do processo de erosão remontante, decorrente da ausência de macrodrenagem urbana para o direcionamento das águas pluviais até o curso d'água receptor e a expansão da área urbanizada de 60 ha para 100 ha na bacia de contribuição com a implantação dos bairros Jardim Universitário e Jardim Regina.

Entre os anos de 1998 e 2000 foram implantadas as obras de macrodrenagem urbana para o controle da erosão remontante. Apesar da estabilização da erosão remontante no canal principal da boçoroca, na década de 1990 ocorreu o desenvolvimento de ravinas com profundidades superiores há 05 m, na margem esquerda da boçoroca.

Durante as obras de controle da erosão urbana ocorreu a formação de aterros induzidos na cabeceira da boçoroca numa área de aproximadamente 3.700 m².

A carta da figura 03 apresenta a distribuição espacial da expansão da boçoroca.

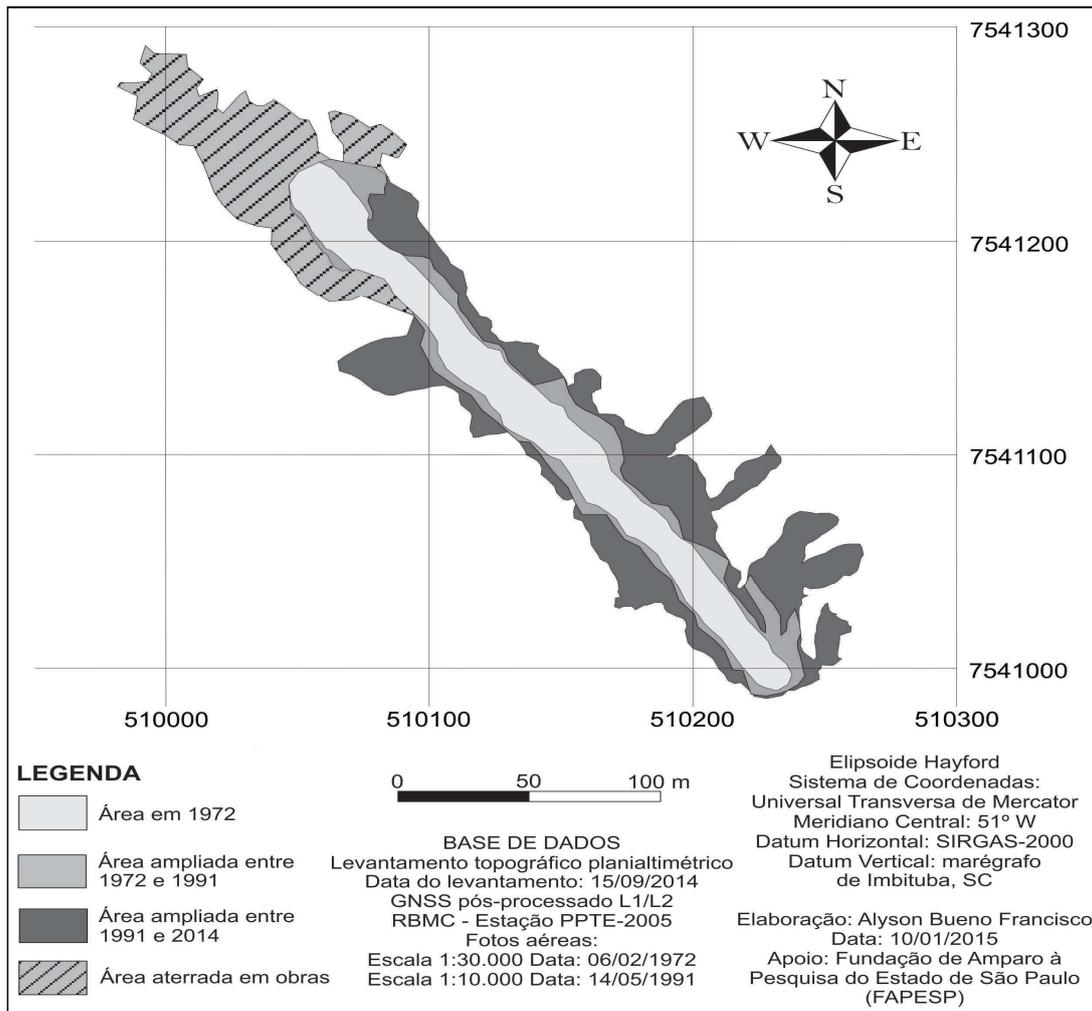


Figura 3 – Carta de expansão da boçoroca do Córrego do Grito (1972-2014).

5. CONCLUSÕES

O uso das geotecnologias permitiu uma análise em detalhe da evolução da boçoroca num intervalo de cinco décadas.

A boçoroca do Córrego do Grito passou pela fase de erosão remontante, agravada entre as décadas de 1980 e 1990 em decorrência da ampliação da área urbanizada contribuinte. No final da década de 1990 após a implantação das obras de macrodrenagem urbana, a erosão remontante se estabilizou, no entanto, provavelmente condições de variação da superfície freática e desenvolvimento de erosão tubular interna favoreceram o desenvolvimento de ramificações da boçoroca principalmente em sua margem esquerda.

O mapeamento das áreas através de dados georreferenciados permite a criação de uma base de dados para futuros monitoramentos topográficos. As informações geográficas são importantes para os projetos de controle de erosão e fornecem subsídios para políticas de zoneamento a fim de evitar a ocupação urbana em áreas de risco.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelos recursos disponibilizados pela bolsa de doutorado através de convênio com a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior (CAPES) do Processo nº 2013/05664-4, sob a orientação do Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli. O autor agradece pelo empréstimo dos equipamentos topográficos e geodésicos do Laboratório de Astronomia, Topografia e Geodésia do Departamento de Cartografia da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1994). *Execução de levantamento topográfico*. NBR 13.133. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- BOIN, M. N. (2000) “*Chuvvas e erosões no Oeste Paulista: uma análise climatológica aplicada*”. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 264f.
- GUERRA, A.J.T. (2005) *Experimentos e monitoramentos em erosão dos solos*. Revista do Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, n. 16, p. 32-37.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (1981). *Mapa geológico do Estado de São Paulo*. Escala 1:500.000, São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (1997). *Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo - Síntese*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas /Departamento de Águas e Energia Elétrica. (Relatório nº 36.071).
- OLIVEIRA, A. M. S. (1994) “*Depósitos tecnogênicos e assoreamento de reservatórios: exemplo do Reservatório de Capivara, SP/PR*”. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, 211f. v.1.
- OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; FILHO, B. C. (1999) *Mapa pedológico do Estado de São Paulo*. Escala: 1:500.000, Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas.

POESEN, J. (2011) *Challenges in gully erosion research*. Landform Analysis, Poznan, Poland, v.17.

ROSSATO, M. S.; BELLANCA, E. T.; FACHINELLO, A.; CÂNDIDO, L. A.; SUERTEGARAY, D. M. A. (org.) (2008) *Terra: feições ilustradas*. 2.ed. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

ABSTRACT: This paper aims to present the results of an analysis of the evolution of gully Grito's stream, located in the municipality of Rancharia, Sao Paulo State, in the temporal and spatial scales. For this analysis were adopted the procedures of topography survey held in 2014 and georeferencing of aerial photos (1962, 1972, 1984 and 1991) and orbital image in environment of Geographic Information System. From this spatial analysis, it was found that the period of greatest development of gully occurred between 1991 and 2002 with the emergence of large branches on the left bank of the gully.

KEYWORDS: gully, urban erosion, geotechnologies.

CAPÍTULO IX

CARACTERIZAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM COMO SUBSÍDIO AO ESTUDO DA SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO NAS MICROBACIAS DO MÉDIO RIO GRANDE

**Eduardo Goulart Collares
Ana Carina Zanollo Biazotti Collares
Jéssica Avelar Silva
Amanda Francieli de Almeida**

CARACTERIZAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM COMO SUBSÍDIO AO ESTUDO DA SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO NAS MICROBACIAS DO MÉDIO RIO GRANDE

Eduardo Goulart Collares

Universidade do Estado de Minas Gerais
Passos – MG

Ana Carina Zanollo Biazotti Collares

Universidade do Estado de Minas Gerais
Passos – MG

Jéssica Avelar Silva

Engenheira Ambiental, autônoma
Conceição Aparecida – MG

Amanda Francieli de Almeida

Engenheira Ambiental, autônoma
São Sebastião do Paraíso - MG

RESUMO: Este trabalho estuda aspectos morfométricos das microbacias hidrográficas que compõem as sub-bacias hidrográficas do Médio Rio Grande e que podem contribuir para identificar aquelas mais suscetíveis à ocorrência de inundações. Nas análises foram consideradas as seguintes variáveis: Densidade Hidrográfica; Índice de Circularidade; Relação de Relevo e Fator Topográfico. O processamento dos dados foi realizado no SIG ArcGis 10.0 da ESRI, os resultados são apresentados na escala 1:50:000. Ao longo do leito principal do Rio Grande a ocorrência de inundações não mostra ser um fator preocupante, porém a preocupação é maior no interior das suas sub-bacias e, neste âmbito, os resultados produzidos identificam as microbacias, inseridas nestas sub-bacias, que apresentam características morfométricas mais favoráveis à ocorrência de inundações. As microbacias consideradas com alta suscetibilidade morfológica à inundações correspondem a 6,5% do total de microbacias e estão distribuídas por toda área de estudo.

PALAVRAS-CHAVE: zoneamento ambiental; recursos hídricos; mapeamento geoambiental.

1. INTRODUÇÃO

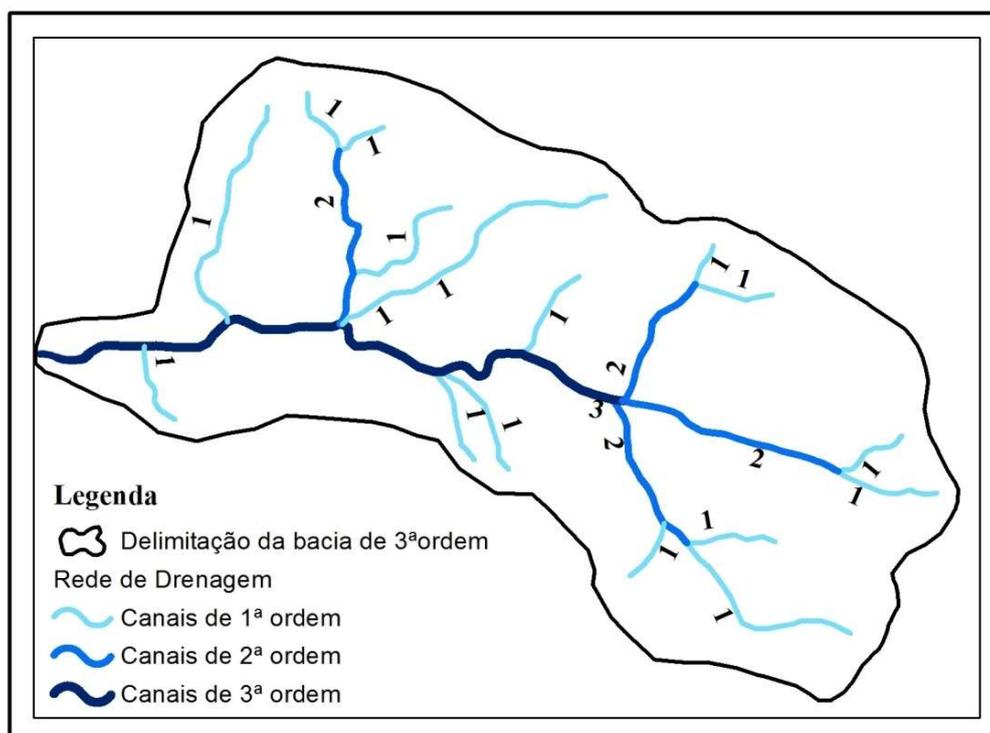
Estudar a configuração de uma rede de drenagem e a sua inter-relação com os limites definidos pela bacia que a envolve é atribuição do que se denomina “análise morfométrica”. A análise morfométrica de bacias hidrográficas consiste em processos sistemáticos e racionais que se preocupam em medir aspectos do relevo e da sua rede de drenagem (HORTON, 1945). Para Christofolletti (1980), esta análise tem início com o estabelecimento da hierarquia fluvial e, em seguida, processam-se análises lineares, areais e Hipsométricas.

Horton (1945), com base na lei de Playfair, utilizou pela primeira vez uma

análise quantitativa em sistema de drenagem, estabeleceu um sistema para classificação de canais em uma rede hidrográfica e determinou novas leis fundamentais relacionando o número e o comprimento de canais.

Strahler (1957) utilizou um sistema de classificação de canais com algumas modificações com relação ao sistema definido por Horton. Pelo sistema de Strahler, os canais sem tributários são considerados como de primeira ordem; da confluência de dois canais de primeira ordem surgem os canais de segunda ordem, e assim sucessivamente, sendo a ordem da bacia hidrográfica correspondente ao valor do canal de maior ordem. Este procedimento elimina o conceito de que o rio principal deva ter o mesmo número de ordem da nascente até a foz, como proposto por Horton, e facilita a classificação dos canais, eliminando a necessidade de se refazer a ordenação a cada confluência. Esta forma de classificação tem sido amplamente utilizada em todo o mundo na análise morfométrica de bacias hidrográficas (Figura 1).

Figura 1 - Exemplo de hierarquização de canais, segundo a proposta de Strahler (1957) de uma bacia de terceira ordem.



No Brasil, o uso de parâmetros morfométricos e análise de sua influência na caracterização ambiental de bacias hidrográficas foram efetuados inicialmente por Prochnow (1990) e Fontes (1997). Prochnow (1990) levantou variáveis de cunho geométrico e geomorfológico em cinco bacias da bacia do Piracicaba, dentre as quais deu mais importância para a *densidade de drenagem* e *índice de sinuosidade*. Fontes (1997) utilizou-se de um grande número de variáveis lineares e de superfície e as aplicou no macrozoneamento geoambiental de uma bacia hidrográfica. Posteriormente, Collares (2000) realizou o zoneamento geoambiental

da Bacia Hidrográfica do Rio Capivari – SP, efetuou um ampla análise temporal das variações ocorridas na rede de drenagem da bacia e correlacionou as alterações ocorridas com as diferentes formas de ocupação do terreno.

A relação dos parâmetros morfométricos com a maior ou menor propensão a processos de inundação em uma bacia hidrográfica é mencionada na literatura primeiramente por Miller (1953 apud Christofolletti, 1974), ao propor o Índice de Circularidade de uma bacia hidrográfica, que é definido como a relação existente entre a área da bacia (A) e a área do círculo de igual perímetro (Ac). O *índice de circularidade* tem significado semelhante ao índice de forma (Christofolletti, 1969 e Tavares; Queiroz, 1981), ao coeficiente de compacidade (Villela; Mattos, 1980) e à relação de alongação (Schumm, 1956) que correlacionam o perímetro da bacia com a sua área. As quatro variáveis indicam que à medida que o valor encontrado se aproxima da unidade (Ic=1,0) a bacia tende à forma circular e, assim são mais propensas à inundações.

Segundo Morisawa (1962), o *índice de circularidade*, em combinação com a densidade hidrográfica e a relação de relevo deverá determinar o *fator topográfico*, que é a componente morfométrica da bacia influente em processos de inundação. O *fator topográfico* é definido pela seguinte equação:

$$Ft = Dh \cdot Ic \cdot Rr \quad (1)$$

Onde:

Ft – *fator topográfico*

Dh – *densidade hidrográfica*

Ic – *índice de circularidade*

Rr – *relação de relevo*

A *amplitude altimétrica máxima* (Hm) e a *relação de relevo* (Rr), são duas variáveis que foram apresentadas inicialmente por Schumm (1956) e estão relacionadas às variações topográficas da bacia. A *amplitude altimétrica máxima* corresponde à diferença altimétrica, em metros, entre a altitude da desembocadura e a altitude do ponto mais alto no divisor de águas. Os valores altimétricos para as microbacias analisadas foram retirados das cartas topográficas do IBGE.

A *relação de relevo* (Rr) relaciona a *amplitude altimétrica máxima* (Hm) com o seu maior comprimento (L), indicando que quanto mais elevado o valor de Rr, maior o desnível entre a cabeceira e foz. A *relação de relevo* pode ser definida pela seguinte expressão:

$$Rr = Hm / L \quad (2)$$

Morisawa (1962) utilizou-se desta variável para preencher o componente relativo ao relevo na determinação do fator topográfico, o qual indica se a bacia apresenta características favoráveis ou não a inundações. Os estudos efetuados por Patton; Baker (1976) em bacias com alto e baixo potenciais a inundações indicaram a relação de relevo como uma das três variáveis morfométricas (também incluem densidade de drenagem e ordem dos canais) mais influentes na indicação de bacias com alto potencial à inundação.

A *densidade hidrográfica* (Dh) foi inicialmente definida por Horton (1945)

com a denominação de frequência de rios e corresponde à relação entre o *número de rios* ou cursos d'água e a *área* da bacia hidrográfica (A). Quando da utilização do sistema de ordenação de canais proposto por Strahler (1957), o número de rios deve corresponder ao *número de canais de primeira ordem* (N_1), considerando que todo rio se inicia de uma nascente. A *densidade hidrográfica* é expressa pela seguinte expressão:

$$Dh = N_1 / A \quad (3)$$

Christofolletti (1974) considerou Dh uma variável de grande importância por representar o comportamento hidrológico de uma determinada área em um dos seus aspectos fundamentais, que é a capacidade de gerar novos cursos d'água. Em se tratando das alterações antrópicas a que uma bacia possa estar submetida, variações temporais nos valores de Dh devem refletir modificações nas demais variáveis morfométricas ou mesmo na ordem hierárquica da bacia.

As Tabelas 1 e 2 mostram um resumo das variáveis morfométricas utilizadas em um estudo de bacia hidrográfica, bem como meio para obtenção e unidades de medida.

Tabela 1 - Variáveis morfológicas.

VARIÁVEIS MORFOLÓGICAS		
Nome da Unidade	Obtenção	Unidade
Área (A)	Comando topology (Autocad Map)	km ²
Perímetro (P)	Comando topology (Autocad Map)	km
Largura média (Dm)	$Dm = A/L$	km
Índice de circularidade (Ic)	$Ic = A/Ac$	-
Amplitude altimétrica máxima (Hm)	Carta Topográfica (IBGE)	m
Relação de relevo (Rr)	$Rr = Hm/L$	m/km

Tabela 2 - Variáveis de rede de drenagem.

VARIÁVEIS DE REDE DE DRENAGEM		
Nome da Unidade	Equação	Unidade
Ordem de canais - Strahler	Comando topology (Autocad Map)	-
Numero total de canais 1ª ordem (N1)	Comando topology (Autocad Map)	-
Comprimento total de rede de drenagem (Lt)	Comando topology (Autocad Map)	km
Densidade de drenagem (Dd)	$Dd = L/A$	km/km ²
Densidade hidrográfica (Dh)	$Dh = N1/A$	canais/km ²
Fator Topográfico (Ft)	$Ft = Dh * Ic * Rr$	-

2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande (CBH - GD7) integra a Bacia Hidrográfica do Rio Grande que engloba territórios dos Estados de Minas Gerais e São Paulo, apresentando 145.000 km² de área de drenagem.

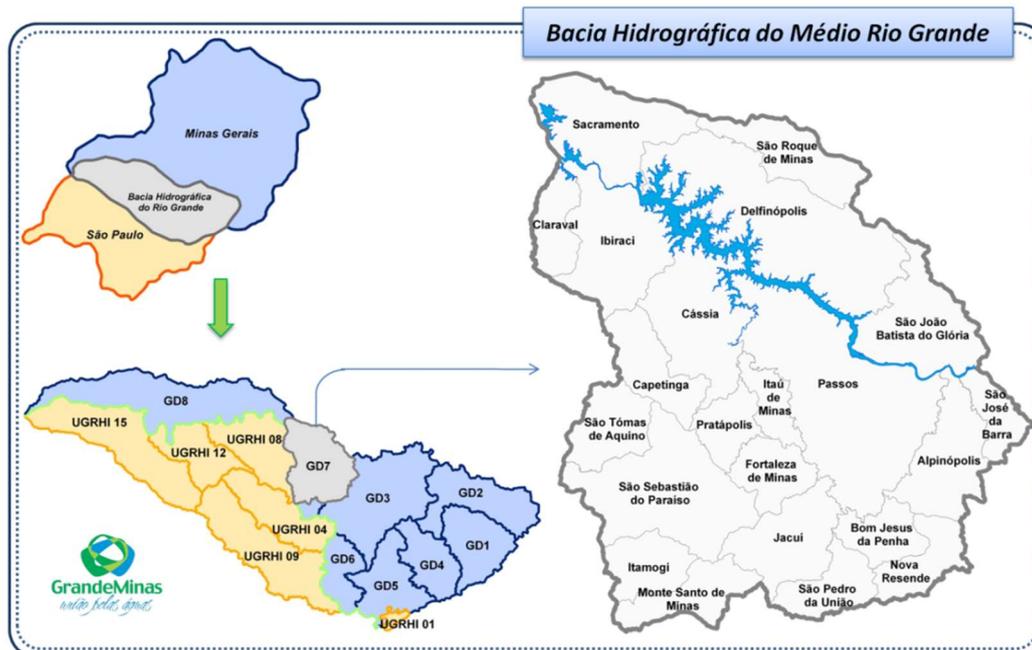
A Bacia do Rio Grande constitui-se em catorze unidades de gerenciamento de recursos hídricos, sendo que oito encontram-se em território mineiro e seis em território paulista. O CBH-GD7 é um dos oito comitês que compõem a porção mineira.

A área de estudo localiza-se na região sudoeste do estado de Minas Gerais, com aproximadamente 9.800km², englobando 22 municípios (Figura 2).

3. ASPECTOS METODOLÓGICOS

Na área de abrangência das Sub-bacias Hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande realizou-se análise morfométrica para unidades ambientais correspondentes às microbacias de 2^a, 3^a e 4^a ordens de ramificação. A rede hidrográfica foi estabelecida com base nas cartas topográficas do IBGE (escala 1:50.000) e no respectivo modelo digital do terreno produzido no SIG ArcGIS® 10, também, com base nestas cartas topográficas. A produção da base cartográfica foi realizada na plataforma do programa AutoCAD® Map 2010.

Figura 2 - Localização da Bacia Hidrográfica do Médio Rio Grande.



Uma vez estabelecida a base cartográfica, foram então digitalizadas: a rede hidrográfica; as delimitações das macrounidades (sub-bacias hidrográficas) e

unidades ambientais (microbacias hidrográficas); as curvas de nível. Para o posterior processamento destes dados, foi importante que, tanto as linhas da borda (limites das sub-bacias e microbacias), como cada ordem de canal de drenagem, de cada compartimento, fossem digitalizadas em “layers” distintos.

Com as redes de drenagem e linhas de borda digitalizados, foi necessária a construção de topologias, de “rede”, para os canais de drenagem, e de “polígono”, para as linhas de borda dos compartimentos. Por meio das topologias foi possível a obtenção de dados quantitativos referentes aos canais de drenagem e área e perímetro dos compartimentos (sub-bacias e microbacias hidrográficas). Detalhes sobre a construção de topologias são descritos por Collares (2000).

Uma vez determinadas as informações quantitativas básicas referentes às redes de drenagem e limites dos compartimentos foi possível utilizar operações matemáticas simples para determinar as variáveis consideradas importantes na análise morfométrica. As principais variáveis morfométricas avaliadas foram aquelas expostas nas Tabelas 1 e 2.

Para a classificação das unidades ambientais (microbacias hidrográficas) perante cada variável adotou-se um critério estatístico envolvendo o método do desvio padrão (*Standard Deviation*), do software ArcGis® 10, que mede a dispersão dos valores individuais em torno da média, sendo a média quadrática dos desvios em relação à média aritmética de uma distribuição de frequências. Desta forma, foram constituídos os limites entre três classes: **Baixo, Médio e Alto**. Nas Tabelas de 3 a 6 são apresentados os valores limites adotados na classificação das variáveis morfométricas que mais influenciam no processo de inundação.

Tabela 3 - Valores limites das classes para Densidade Hidrográfica.

UNIDADES AMBIENTAIS	CLASSIFICAÇÃO QUANTO A DENSIDADE HIDROGRÁFICA (canais/km ²)			
	CLASSES	VALORES 2° Ordem	VALORES 3° Ordem	VALORES 4° Ordem
	Baixa	0,12 – 1,13	0,40 – 1,25	0,66 – 1,39
	Média	1,13 – 5,57	1,25 – 5,21	1,39 – 3,15
	Alta	5,57 – 17,51	5,21 – 22,61	3,15 – 8,47

Tabela 4 - Valores limites das classes para Índice de Circularidade.

UNIDADES AMBIENTAIS	CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO ÍNDICE DE CIRCULARIDADE			
	CLASSES	VALORES 2° Ordem	VALORES 3° Ordem	VALORES 4° Ordem
	Baixa	0,10 – 0,17	0,24 – 0,34	0,28 – 0,34
	Média	0,17 – 0,73	0,34 – 0,78	0,34 – 0,77
	Alta	0,73 – 0,84	0,78 – 0,81	0,77 – 0,86

Tabela 5 - Valores limites das classes para Relação de Relevo.

UNIDADES AMBIENTAIS	CLASSIFICAÇÃO QUANTO A RELAÇÃO DE RELEVO (m/km)			
	CLASSES	VALORES 2° Ordem	VALORES 3° Ordem	VALORES 4° Ordem
	Baixa	18,32 – 55,12	14,74 – 43,12	14,41 – 29,71
	Média	55,12 – 250,52	43,12 – 145,54	29,71 – 86,99
Alta	250,52 – 826,64	145,54 – 289,87	86,99 – 164,88	

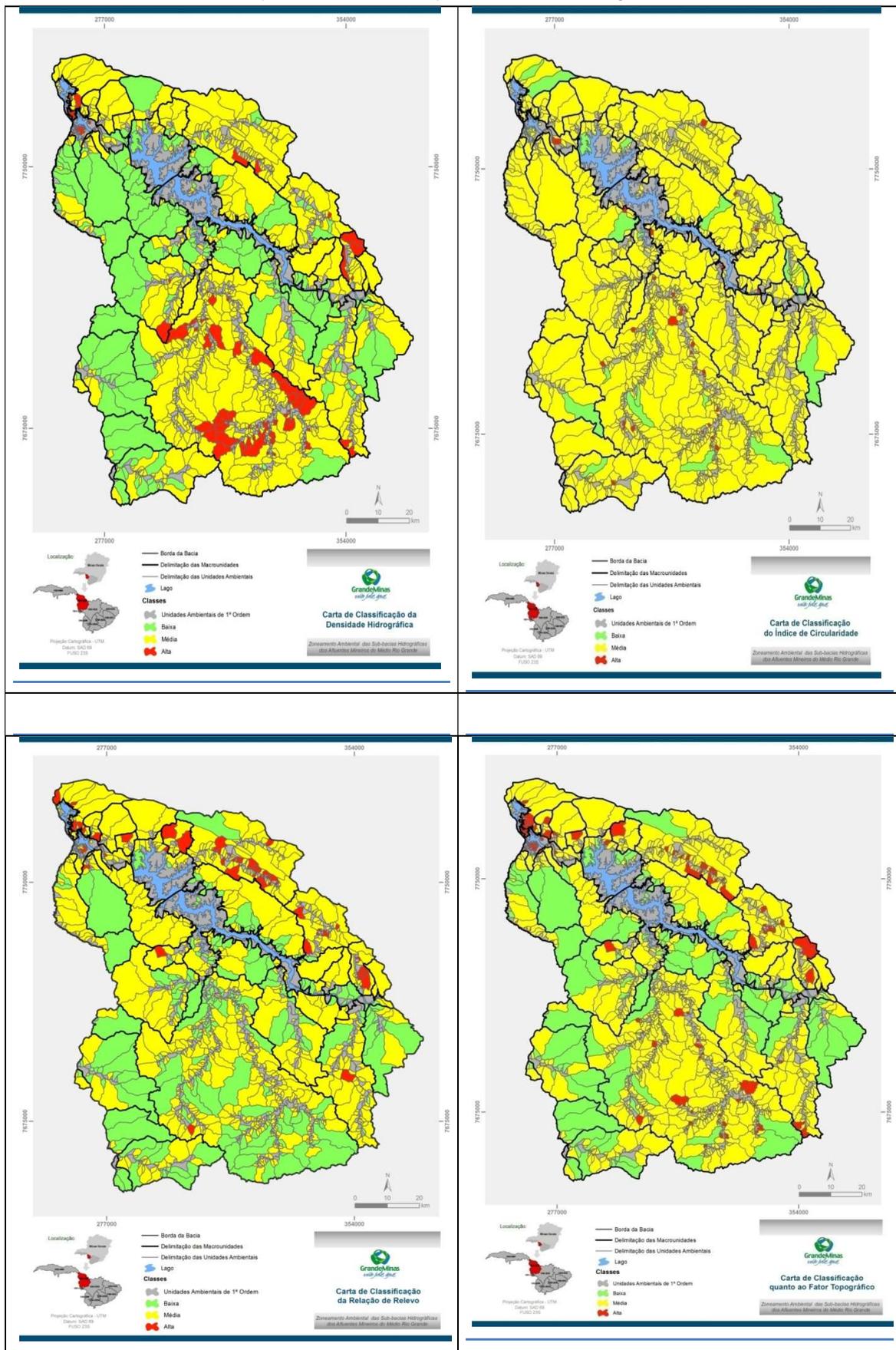
Tabela 6 - Valores limites das classes para Fator Topográfico.

UNIDADES AMBIENTAIS	CLASSIFICAÇÃO QUANTO A FATOR TOPOGRÁFICO			
	CLASSES	VALORES 2° Ordem	VALORES 3° Ordem	VALORES 4° Ordem
	Baixa	0,57 – 24,16	4,50 – 21,28	5,72 – 20,88
	Média	24,16 – 331,51	21,28 – 275,34	20,88 – 125,97
Alta	331,51 – 2.721,07	275,34 – 1.584,00	125,97 – 614,51	

4. RESULTADOS

A Figura de 3 apresenta as classificações das unidades ambientais (microbacias hidrográficas) referentes às variáveis morfométricas que mais influenciam no processo de inundação: Densidade Hidrográfica; Índice de Circularidade; Relação de Relevo e Fator Topográfico.

Figura 3 - Cartas de classificação das Unidades Ambientais quanto aos parâmetros morfométricos que influenciam nos processos de inundação.



5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na identificação e análise de áreas suscetíveis a inundações da bacia do Médio Rio Grande alguns aspectos, além dos dados morfométricos, deverão ser considerados: vazões de cheia das microbacias; estudo de chuvas intensas e levantamento das planícies de inundação em toda a área da bacia. A partir daí, as seguintes cartas poderão ser produzidas: Carta de suscetibilidade morfométrica e hidrológica das unidades ambientais ao desenvolvimento de inundações; Carta de áreas críticas quanto à ocorrência de inundações; Carta de Classificação das unidades ambientais quanto à suscetibilidade à inundação.

Neste primeiro nível de análise aqui apresentado efetuou-se o estudo da suscetibilidade morfométrica das microbacias a processo de inundação. O estudo mostrou que 67 microbacias apresentaram alta suscetibilidade morfométrica a processo de inundação (correspondente a 6,5% do total de microbacias) e 854 microbacias apresentaram média suscetibilidade (correspondente a 82%).

No âmbito geral, pode-se dizer que na Bacia do Médio Rio Grande não é comum a ocorrência de inundações em áreas urbanizadas, apesar de ocorrerem esporadicamente em algumas cidades. O canal do Rio Grande é regularizado pelas barragens de Furnas e Mascarenhas de Moraes e, a não ser em casos de extrema necessidade das hidrelétricas, ultrapassa a sua cota de segurança. Na avaliação da suscetibilidade às inundações, além dos parâmetros morfométricos e hidrológicos, deve-se priorizar o mapeamento das planícies de inundação que ocorrem no entorno dos principais recursos hídricos superficiais. Estas planícies estão distribuídas por toda a área da Bacia do Médio Rio Grande.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG); o Fundo de Recuperação, Proteção e Desenvolvimento Sustentável das Bacias Hidrográficas do Estado de Minas Gerais (FHIDRO) pelo apoio financeiro e à parceria da Fundação de Ensino Superior de Passos (FESP) com a Agência de Desenvolvimento Sustentável do Sudoeste Mineiro (ADEBRAS).

REFERÊNCIAS

CHRISTOFOLETTI, A. A análise da densidade de drenagem e suas implicações geomorfológicas. **Geografia**. V. 4, n. 8, p. 23-42. 1969.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo. Ed. Edgard Blucher Ltda, 1974.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Editora Edgard Blücher / EDUSP, 150 p. 1980.

COLLARES, E. G. **Avaliação de alterações em redes de drenagem de microbacias como subsídio ao zoneamento geoambiental de bacias hidrográficas: aplicação na bacia hidrográfica do rio Capivari - SP**. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

FONTES, A. L. **Caracterização geoambiental da bacia do rio Japaratuba – SE**. Rio Claro, 1997. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 1997.

HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, 56(3), 1945, p. 275-370.

MORISAWA, M.E. **Quantitative geomorphology of some watersheds in the Appalachian Plateau**. Geological Society of America Bulletin. .1962. V.73, n.9, p.1025-1046.

PATTON, P.C.; BAKER, V.R. **Morphometry and floods in small drainage basins subject to diverse hydrogeomorphic controls**. *Water Resources Research*, 12(5), 1976, p.941-952.

PROCHNOW, M. C. R. **Análise ambiental da sub-bacia do Rio Piracicaba: subsídio ao planejamento e manejo**. Rio Claro, SP. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas/UNESP. 1990

SCHUMM, S.A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy, **Geol. Soc. America Bulletin**, 67, 1956, p. 597-646.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. New Haven: Transacion. **American Geophysical Union**, 1957. v38. p. 913-920.

TAVARES, A.C.; QUEIROZ, A. N. de. **Análise geomorfológica da Bacia do Ribeirão Claro** *Boletim de Geografia Teorética*, v.11, n.21-22, p. 47-64, 1981.

ABSTRACT: This research studies the morphometric aspects of hydrographic micro-basins which comprise the hydrographic sub-basins of the Mid Rio Grande and can contribute to identify those more susceptible to flooding occurrence. In the analyses the following variables were considered: Hydrographic Density; Circularity Degree; Relief Index; Topographic factor. The data processing was carried out at GIS ArcGis 10.0 of ESRI, the results are presented in the 1:50:000 scale. Along the Rio Grande main course the flooding occurrence does not show to be worrying, however the

preoccupations are even bigger inside their sub-basins and, the results produced identify the micro-basins, inserted in these sub-basins, which present more favorable morphometric to flooding occurrence. The micro-basins considered Highly Relevant correspond to 6,5% of the total of micro-basins and are spread to all the study area.

KEYWORDS: environmental zoning, water resources, geo-environmental mapping.

CAPÍTULO X

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL SUPERFICIAL DO MUNICÍPIO DE PACOTI NO ESTADO DO CEARÁ. EROSIVIDADE, ERODIBILIDADE E UNIDADES DE RELEVO PARA GEOTECNIA

**Francisco Kleison Santiago Mota
Jean Marcell Pontes de Oliveira
Naedja Vasconcelos Pontes
César Ulisses Vieira Veríssimo
Sônia Maria Silva de Vasconcelos**

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL SUPERFICIAL DO MUNICÍPIO DE PACOTI NO ESTADO DO CEARÁ. EROSIVIDADE, ERODIBILIDADE E UNIDADES DE RELEVO PARA GEOTECNIA

Francisco Kleison Santiago Mota

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Geologia
Fortaleza - Ceará

Jean Marcell Pontes de Oliveira

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Geologia
Fortaleza - Ceará

Naedja Vasconcelos Pontes

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Geologia
Fortaleza - Ceará

César Ulisses Vieira Veríssimo

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Geologia
Fortaleza - Ceará

Sônia Maria Silva de Vasconcelos

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Geologia
Fortaleza - Ceará

RESUMO: Este trabalho apresenta um Diagnostico Ambiental voltado à erosão hídrica superficial (grau de erosividade e erodibilidade) e cartografia geotécnica (unidades de relevo) do Município de Pacoti, na Serra de Baturité. Geologicamente, a área é composta por um conjunto dominante de biotita gnaisses e mica xistos com granada do Complexo Ceará, incluindo quartzitos, hornblenda gnaisses e pegmatitos. As litologias presentes na área, quando intemperizadas, produzem uma associação predominantemente de argissolos de textura argilosa, siltosa ou areno-argilosa com horizontes moderados, além de manchas localizadas de latossolos, neossolos litólicos e neossolos flúvicos. Foram realizados ensaios de permeabilidade, granulometria em solos coletados na área pesquisada, estudos morfométricos do relevo, bem como o cálculo da erosividade da chuva e da erodibilidade dos solos aplicando o nomograma de Wishmeier. Quanto à pluviosidade e a erosividade, o período mais crítico com relação ao potencial erosivo das chuvas corresponde aos meses de Março, Abril e Maio onde ocorrem as chuvas concentradas. Os solos do município de Pacoti situaram-se no geral entre a categoria 2 e 3 do fator K sendo classificado como erodibilidade média e forte. Considerando como base as abordagens apresentadas sobre o diagnostico ambiental, pode-se ressaltar que a região de Pacoti necessita de uma avaliação criteriosa com relação ao uso e ocupação de suas áreas de risco (margens de rios e encostas).

PALAVRAS-CHAVE: Erosividade, Erodibilidade, Unidade de Relevo

1. INTRODUÇÃO

O presente diagnóstico ambiental tomou como principais elementos de

análise: a carta de declividade, os mapas geológico e de unidades de relevo, o potencial erosivo das chuvas e a suscetibilidade a erosão dos solos nas áreas urbana e rural do município de Pacoti. O município de Pacoti se insere na Área de Proteção Ambiental (APA) criada pelo governo estadual do Ceará em 1990, possuindo uma área de aproximadamente 120 Km², localizada na serra ou maciço de Baturité. Este maciço apresenta um dos poucos registros de mata úmida do Estado, caracterizado pelo microclima e pelas chuvas orográficas a barlavento, cujo potencial natural bastante significativo e constituído por várias espécies vegetais remanescentes da Mata Atlântica favorece o desenvolvimento de atividades agrícolas e turísticas.

Os condicionantes principais que regem a problemática abordada neste trabalho incluem: o potencial erosivo da chuva, o comportamento físico dos solos correlacionado com a declividade e o tipo de relevo da região, condicionando assim uma variação do potencial de erodibilidade para o município. Todas essas características estão associadas diretamente à geologia local e ao grau de alteração das rochas mapeadas, as quais foram descritas em perfis e em afloramentos cuja exposição foi facilitada pela grande rede de caminhos e estradas existentes na área.

Embora o objetivo principal deste estudo tenha sido o diagnóstico ambiental correlacionado as características físicas e os condicionantes à erosão hídrica dos solos, para alcançar este objetivo principal, alguns objetivos específicos complementares foram essenciais para sua consolidação, como por exemplo: identificar e mapear a distribuição das unidades litológicas, elaborar a carta de declividade, o mapa de unidades de relevo, determinar o potencial erosivo da chuva (erosividade), determinar a suscetibilidade dos solos à erosão (fator K) e confeccionar a carta de erodibilidade dos solos para o município.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO

O Município de Pacoti situa-se na Província Borborema, uma unidade geotectônica compartimentada em blocos crustais ou domínios amalgamados durante a orogênese Brasileira. Na porção norte da Província são diferenciados três domínios: NW do Ceará ou Médio Coreauá, Ceará Central e o Rio Grande do Norte (Figura 1).

O Domínio Ceará Central (DCC) possui cerca de 80.000 Km² de extensão e encontra-se limitado entre duas grandes zonas de cisalhamento dúctil conhecidas como lineamentos Transbrasiliano e Senador Pompeu (ZCSP). Fetter et al. (2000) subdivide este domínio em três unidades geotectônicas: 1) Embasamento Arqueano, 2) Terrenos acrescionários do Paleoproterozóico, e 3) Terreno Santa Quitéria. No interior dos Terrenos acrescionários do paleoproterozóicos localiza-se a área pesquisada, onde predominam litologias representadas por paragneisses e ortogneisses diversos relacionados ao Complexo Independência, Grupo Itatira e a uma parte do Grupo Ceará (FETTER et al. 2000).

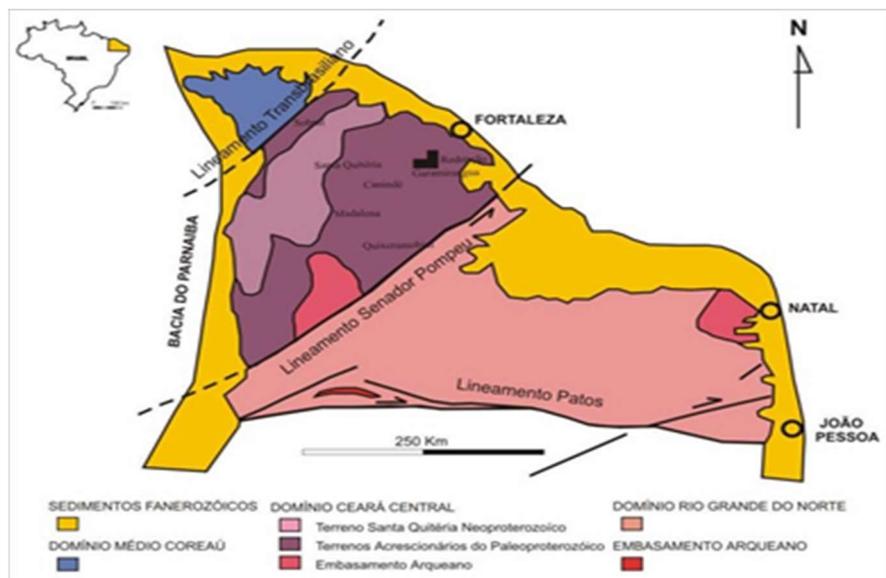


Figura 1. Mapa da porção norte da Província Borborema com as principais estruturas e domínios tectônicos (modificado de FETTER et al. 2000).

Arthaud et al. (1998), descreve no Domínio Ceará Central seqüências supracrustais monocíclicas, de idade provável meso ou neoproterozóica metamorfisadas em grau alto e freqüentemente migmatizadas, incluindo gnaisses e xistos com sillimanita e/ou cianita e granada, além de quartzitos, calcissilicáticas e mármore configurando grandes *nappes* recumbentes bem preservadas. As supracrustais se sobrepõem a um embasamento policíclico com idades variando entre o Arqueano e o Paleoproterozóico constituído predominantemente por ortognaisses metamorfisados em condições de fácies anfibolito alto, com freqüente migmatização, além de núcleos localizados de terrenos greenstone-gnáissicos, classificados em grande parte como suítes TTG (CABY e ARTHAUD, 1986). A tectônica predominante neste domínio é tangencial, materializada por um empilhamento complexo de *nappes*, seguida por uma intensa tectônica transcorrente pós-datando o pico do metamorfismo Brasileiro. Subseqüentemente dominaram processos transpressionais ao longo das grandes zonas de cisalhamento regional, através das quais conjuntos alongados de plutons alcalinos e cálcioalcalinos foram intrudidos (GARCIA e ARTHAUD, 2004).

Bizzi et al. (2001) cartografaram na área de estudo dois agrupamentos maiores: um deles um domínio batolítico, de idade inferida neoproterozóica, equivalente ao Complexo Tamboril - Santa Quitéria descrito por Braga et al. (1997) e o outro, denominado Complexo Ceará, situando-se na mesma área de exposição do complexo Caicó de Braga et al. (1977).

Cavalcante et al. (2003) consideram também o Complexo Ceará subdividido nas unidades Independência e Canindé com descrições litológicas e cartografia semelhante à de Bizzi et al. (2001), sendo a idade inferida também no Paleoproterozóico indiferenciado. Entretanto, o domínio equivalente ao Complexo

Tamboril – Santa Quitéria descrito por Braga et al., (1977) foi cartografado como um segmento do Complexo Ceará com grande contribuição de corpos de composição granítica.

Estudando a região de Baturité, Torres (2004) e Torres et al. (2006) denominaram os litotipos anteriormente atribuídos ao Complexo Ceará de Sequência Acarape a qual foi subdividida em duas subunidades: Aracoiaba e Baturité. A subunidade Aracoiaba representada por gnaisses e xistos pelíticos com ou sem granada e sillimanita associados a quartzitos, mármore, calcissilicáticas e metavulcânicas, enquanto a subunidade Baturité, composta por gnaisses pelíticos com ou sem granada e sillimanita, parcialmente migmatizados associados subordinadamente a metultramáficas e quartzitos. As unidades mapeadas nesta pesquisa foram incluídas na Sequência Acarape, conforme proposta de Torres (2004) e Torres et al. (2006).

O relevo do estado do Ceará foi inicialmente agrupado por Souza (1988) em três domínios geomorfológicos distintos de acordo com suas características fisionômicas e genéticas em: A) Domínio dos depósitos sedimentares Cenozóico: Planícies e terraços fluviais; Formas litorâneas e Tabuleiros; B) Domínio das bacias sedimentares Paleo-Mesozóicas: Chapada do Araripe; Chapada do Apodi e Planalto da Ibiapaba/Serra Grande; e, C) Domínio dos escudos e dos maciços antigos: Planaltos residuais e Depressões sertanejas.

A Serra de Baturité possui orientação predominante NNE–SSW, com níveis altimétricos variando entre 600 a 800m, em média, chegando excepcionalmente a cota máxima de 1.114 m, no município de Pacoti, onde localiza-se o Pico Alto (Souza e Oliveira, 2006). Trata-se de montanhas isoladas tendo como superfície de piso (*piemont*), superfícies aplainadas, conservadas entre interflúvios e vertentes bastante inclinadas (BÉTARD et al. 2007).

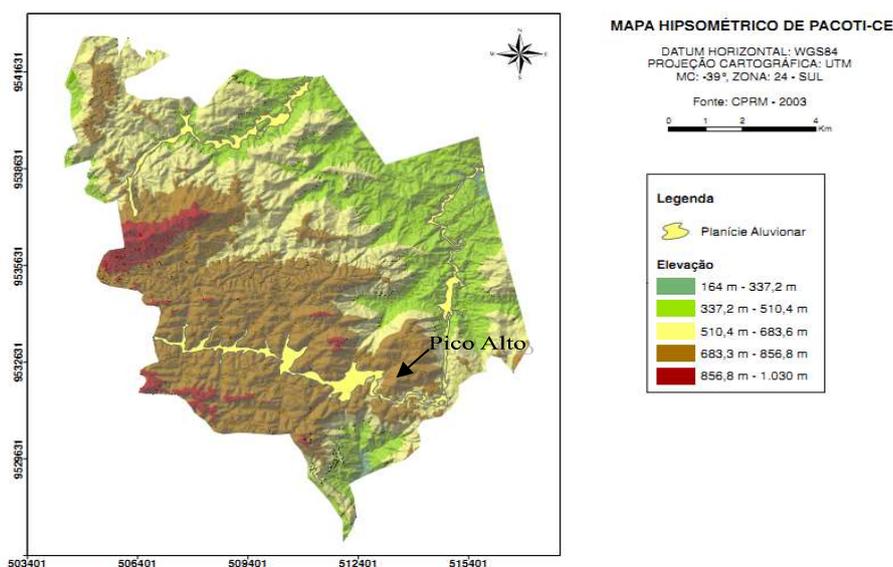


Figura 2. Mapa Hipsométrico do município de Pacoti-CE (Fonte: OLIVEIRA e MOTA, 2011).

O mapeamento das feições estruturais lineares na Serra de Baturité a partir de sensoriamento remoto realizado por Batista et al. (2014) permitiu reconhecer diferentes domínios estruturais onde as feições rúpteis e dúcteis influenciam na dissecação das vertentes e vales dos principais rios que drenam a serra, além de influenciar na estabilidade de taludes naturais e de corte acentuando a propensão de movimentos translacionais e rupturas planares associados às fraturas orientadas transversalmente à foliação; e fenômenos de queda de blocos e tombamentos relacionados a fraturas subverticais, paralelas à face dos taludes. No limite leste do município de Pacoti destaca-se um conjunto penetrativo de estruturas orientadas N-S, responsável pelo entalhe de alguns vales perpendiculares ao Rio Pacoti e pela própria inflexão que esse rio faz em sentido norte, à altura da localidade de Areias. Dois densos feixes de lineamentos orientados no sentido E-W, o principal controlando o Rio Pacoti na cidade homônima, encontram-se associados a zonas de cisalhamento dúcteis transcorrentes mapeadas pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2012).

Conforme os estudos realizados para elaboração do zoneamento ambiental da APA da Serra de Baturité (CEARÁ, 1992) a geomorfologia da serra apresenta feições fortemente dissecadas em cristas, colinas e vales fechados. Possui uma rede de drenagem bastante densa e exibe uma preferência de padrões sub-dendríticos. Suas feições geomorfológicas estão inseridas no Domínio dos Escudos e Maciços Antigos compostos de litotipos datados do Pré-Cambriano. Trata-se de um maciço residual, disposto em posição NE-SW. Suas características geomorfológicas estão associadas às influências litológicas e estruturais pretéritas, aos mecanismos de flutuações climáticas cenozóicas e aos processos morfodinâmicos atuais. O solo predominante é o podzólico vermelho-amarelo apresentando classe textural variando de argilosa à média, bem drenados e porosos. Possuem horizontes A, Bt e C, onde o horizonte Bt é caracterizado por apresentar películas de materiais coloidais (IPLANCE, 2004). Esse tipo de solo, conforme o Atlas do Ceará (IPLANCE, 1995) é subdividido em eutróficos (PE) quando há presença de horizonte subsuperficial de acumulação de argilas e, distróficos (PV), quando apresentam forte acidez.

3. BREVE HISTÓRICO DE USO E OCUPAÇÃO

Considerando as características geomorfológicas, com destaque ao efeito orográfico e as particularidades do clima e da vegetação, a serra de Baturité compõe uma paisagem de exceção do sertão semiárido cearense, apresentando características naturais bastante distintas de seu entorno semiárido (IBAMA, 2002).

Relatos de trabalhos anteriores sobre o histórico de uso e ocupação da serra indicam que as secas do Nordeste foram determinantes para o povoamento e exploração da terra, na Serra de Baturité. O fluxo migratório sertão-serra iniciou-se e acentuou-se com as secas. A princípio, a ocupação do solo deu-se de um modo

totalmente precário desde a posse da terra como também pela falta de conhecimento de técnicas de cultivo e conservacionismo (e.g., Paes, 2004; Queiroz, 2010; Nascimento et al., 2010; Bastos, 2012; Batista, 2014). Outra importante observação de referidos autores na descaracterização da floresta é que antes reinava uma temperatura relativamente baixa com nevoeiros frequentes, o solo era mais úmido. Nas últimas décadas a ocupação da Serra de Baturité tem sido reativada em função das suas potencialidades paisagísticas e turísticas, com a construção de hotéis, pousadas e casas de veraneio. Muitas destas edificações erguidas em áreas inadequadas em descumprimento à legislação ambiental, como em encostas íngremes, em topos de morros ou próximo às margens dos rios (e.g., Nascimento et al., 2010; Batista, 2014).

Paes (2004) ressalta que em relação à agricultura, a região da Serra de Baturité caracteriza-se pela aplicação de técnicas agrícolas de cultivo totalmente tradicionais e de baixo nível tecnológico, uso que se mantém pelas limitações da área com alta declividade, dificultando assim a mecanização e aumentando a susceptibilidade à erosão.

Atualmente na área objeto de estudo existe uma grande diversificação de cultivo, tanto permanente como temporário nas planícies aluviais e nas encostas de alta e baixa declividade, de forma indiscriminada. As principais culturas observadas nesta região foram às bananeiras, o café, e a cana-de-açúcar, o chuchu e hortaliças. Estes dois últimos, principalmente na região do fundo dos vales e nas planícies alveolares.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente foi realizado um levantamento bibliográfico das principais informações geoambientais da área, existentes em anais, periódicos, livros, monografias, dissertações e teses, variando desde a escala regional até a escala de semidetalhe dando ênfase às informações geológicas mais recentes. O mapeamento ocorreu ao longo das estradas e caminhos existentes na área, a fim de identificar as principais unidades geológicas e identificar as unidades de relevo. Foi realizada coleta de amostras de solos para ensaios de laboratoriais (densidade real, umidade, granulometria, sedimentação, permeabilidade variável, teor de matéria orgânica) e ensaios de campo (densidade “in situ” e umidade). Utilizado as informações obtidas nesses ensaios para caracterizar os solos (textura, porosidade) e para aplicar o nomograma de Wishmeier (granulometria, matéria orgânica, estrutura e permeabilidade) a fim de identificar a erodibilidade dos solos.

Para o Fator de erosividade foi utilizado uma modificação da Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) por Bertoni e Lombardi Neto (1993). Neste trabalho, os domínios de declividade foram gerados por meio do *software* ARC GIS, tomando como base cartas topográficas digitais para criação de *shapefile* específico e posteriormente elaboradas a Carta de Declividade e o Mapa de Unidades de Relevo.

5. RESULTADOS

5.1 Mapa Geológico do Município

Os litotipos mapeados no município de Pacoti, em sua maioria são representados por gnaisses e xistos, intercalados por lentes de quartzitos e fazem parte da sequência Metavulcano-sedimentar de Acarape, datada por Arthaud (2007) e Arthaud et al. (2015) de idade Neoproterozóica. Entre os gnaisses predominam biotita gnaisses com maior ou menor ocorrência de granada e/ou sillimanita, gnaisses migmatíticos e mais raramente hornblenda gnaisses. Nos tipos que sofreram fusão parcial o bandamento composicional encontra-se obliterado, gerando feições e estruturas migmatíticas em metatexitos e porções diatexiticas de composição granítica. Os xistos, representados por biotita e muscovita xistos com ou sem granada e sillimanita ocorrem junto com faixas menores de quartzitos ao longo de duas faixas com espessura média inferior a dois quilômetros de orientação preferencial NW-SE, situadas nas porções central e sul do município. Os pegmatíticos ocorrem de maneira errática e são encontrados na forma de pequenos corpos na porção central e leste da área, em sua maioria possuindo composição granítica. As principais litologias mapeadas na área encontram-se listadas no tabela 1, com as respectivas coordenadas X, Y.

Litologias Mapeadas		
Coordenadas UTM - WGS 84		Dados de Campo
9532757	510112	Gnaisses
9532277	510225	Biotita Gnaisses
9530810	510584	Xísto
9530717	510789	Biotita Xísto com Granada
9530721	510950	Quartzo Mica Xísto
9530317	511378	Mica Xísto com Granada
9530145	511298	Hornblenda Gnaisse com Lentes de Quartzito
9534744	510345	Xísto com intercalação de Quartzito
9535000	510500	Gnaisse com filões de Quartzito
9533881	510510	Biotita Gnaisse
9535390	510226	Mica Xísto com Granada intercalado com Quartzito
9536713	5101171	Gnaisse Migmatito
9537257	510462	Mica Xísto
9537912	511003	Quartzito
9532849	516465	Pegmatito

Tabela 1. Relação dos pontos de ocorrência das litologias cadastrados durante o mapeamento geológico realizado, com suas respectivas coordenadas geográficas

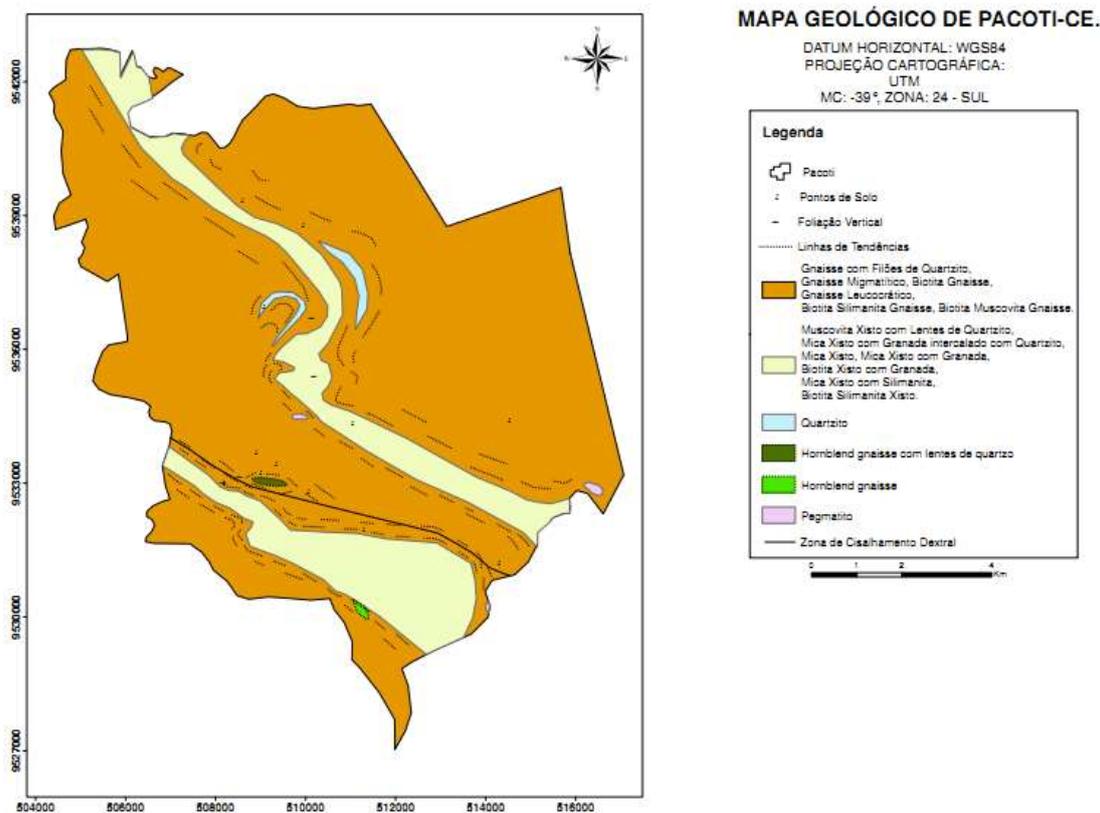


Figura 3: Mapa Geológico do Município de Pacoti-CE (Fonte: OLIVEIRA e MOTA, 2011).

5.2 Carta de Declividade e Unidades de Relevô

Para elaboração da Carta de Declividade foram aplicados os valores em porcentagens correspondentes a 0%, 5%, 15% e 30%, posteriormente agrupados em quatro intervalos de classes representados pelas cores: verde, amarelo, laranja e vermelho (Tabela 2). A classe I foi caracterizada pela a cor verde e declividade suave, inferior a 5%, a classe II pela cor amarela, predominando declividades de 5% a 15%, a classe III pela cor laranja, com declividade entre 15% e 30% e a classe IV indicada pela cor vermelha, correspondendo a maior parte da área do município, com declividade maior que 30%.

Classes de Declividade	Cores	Declividade Predominante (%)
I	VERDE	0 – 5
II	AMARELA	5 – 15
III	LARANJA	15 – 30
IV	VERMELHA	>30

Tabela 2. Classes de declividade da área estudada.

As Cartas confeccionadas neste trabalho tomaram como base a coleta e organização de cartas de topográficas digitas para retiradas dos *shapefile* e

padronização dos *layers* referentes a cada carta apresentada. Formatando assim geração da Carta de Declividade do município de Pacoti ilustrada na figura 5, essencial às ações de planejamento e uso e ocupação de acordo com as restrições relacionadas ao gradiente/inclinação do relevo. Na classe inferior a 5%, encontra-se a área principal de expansão urbana da cidade de Pacoti e o traçado das principais drenagens junto com os depósitos aluvionares associados. Entretanto, a grande maioria da área municipal possui intervalos de classes acima de 15% representado na Figura 4 pelas cores laranja e vermelho, o que potencializa o desenvolvimento de processos erosivos, de instabilização e movimentos de massa nos diversos setores, especialmente em taludes de corte gerados pela ação antrópica.

O cruzamento entre as classes de declividade e as amplitudes médias locais tomadas com auxílio do mapa hipsométrico levaram a delimitação das diferentes sistemas e respectivas unidades de relevo presentes no município de Pacoti aplicando a metodologia do IPT (1981) (Tabela 3 e Figura 4).

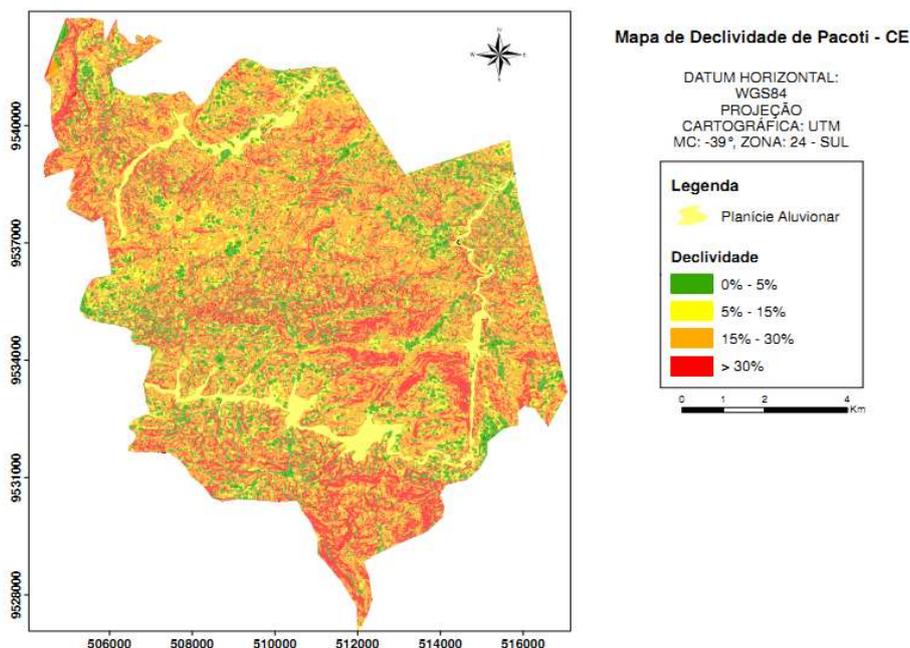


Figura 4: Carta de Declividade do município de Pacoti-Ce (Fonte: OLIVEIRA e MOTA, 2011).

Sistemas de Relevo		Amplitudes Médias	Declividade Predominante
Agradação	Planície Aluvionar	-	0% - 5%
	Planície Alveolar	-	0% - 15%
Dissecação	Colinas	75	5% - 15%
	Morros	130	15% - 30%
	Montanhas	550	> 30%

Tabela 3. Sistemas de relevo.

Dois sistemas principais de relevo incluindo relevos de Agradação, Dissecação foram reconhecidos na área e subdivididos em unidades de planícies, colinas, morros e montanhas (Figura 5). As planícies aluvionares são constituídas

por terrenos de baixas amplitudes mais ou menos planos, de declividade inferior a 5%, localizados junto às margens dos rios, essa unidade aparece predominantemente na porção sul da área ao longo do Rio Pacoti único rio caracterizado por ser de 4ª ordem (Figura 6). Nos setores noroeste e centro-sul do município de Pacoti, o relevo é montanhoso e caracterizado pelas declividades maiores que 30% e amplitudes médias acima de 550m (Figuras 5 e 9). Na maior parte do município predomina um relevo de morros com topos arredondados e colinoso de amplitudes variando 75 a 130m e declividades inferiores a 30% (Figuras 5, 7 e 8).

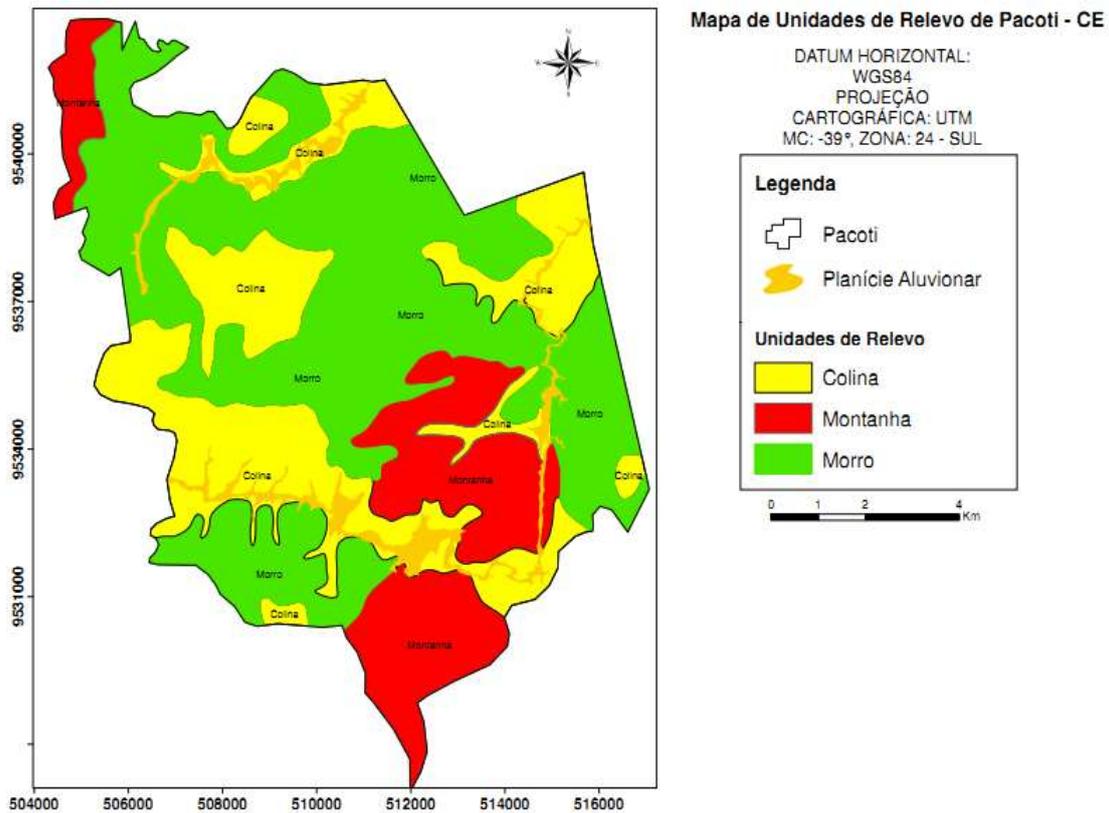


Figura 5. Unidades de relevo do município de Pacoti, CE (Fonte: OLIVEIRA e MOTA, 2011).



Figura 6 - Planície Aluvionar do Rio Pacoti localizado na margem direita da estrada que segue em direção a localidade de Jardim de Areias.



Figura 7 - Relevo Colinoso situado na porção central da área próximo a zona urbana de Pacoti



Figura 8 - Conjunto de morros situado na porção central do município de Pacoti.

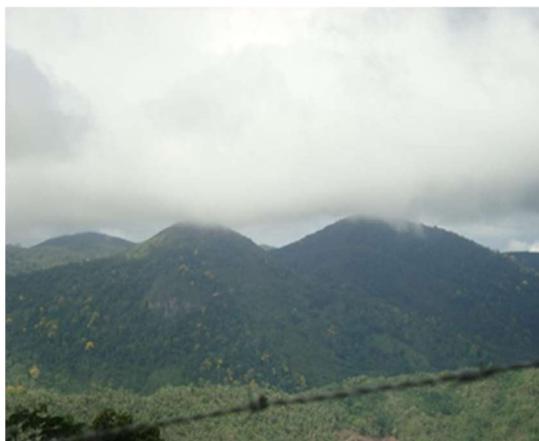


Figura 9 - Relevo montanhoso localizado no extremo sul da área.

5.3. Porosidade e Textura

A porosidade refere-se ao volume do solo ocupado pelo ar e pela água, sendo importante sua caracterização na investigação do armazenamento e movimento da água e de gases, e no estudo sobre resistência mecânica apresentada pelo solo por ocasião do seu manejo, é uma propriedade usada na agricultura e para fins geotécnicos, sendo expresso em porcentagem, através da fórmula: $P = (\delta g - \delta s) / \delta g$, onde δg = densidade real (laboratório) e δs = densidade aparente (campo). Podemos classificar a porosidade segundo IAEG (1992) e a textura (relacionada à composição granulométrica do solo) conforme Atterberg (1912) na Tabela 4.

Porosidade		Textura	
(%)	Classificação	Fração	Diâmetro (mm)
>50	Muito alta	Areia Grossa	2 - 0,2
50 - 45	Alta	Areia Fina	0,2 - 0,05
45 - 35	Média	Silte	0,05 - 0,002
35 - 30	Baixa	Argila	<0,002
<30	Muito baixa	-	-

Tabela 4. Classificação da porosidade dos solos (IAEG, 1992) e textura segundo Atterberg (1912).

Os solos identificados na área apresentam uma textura variando em sua maioria de franco-siltosa à franco-silto-argilosa e de franco-arenosa à franco-argiloso, com porosidades variando entre muito alta a alta, e médio a baixa (Tabela 5). Caracterizando assim uma estrutura granulométrica em solos mais argilosos e siltosos evidenciaram uma porosidade de média a alta, em solos arenosos uma porosidade uma alta (Tabela 5).

Amostras	Textura	Porosidade (%)	
		(%)	Classificação
PS-21	Franco Arenosa	42	Média
PS-25	Franco Arenosa	53	Muito alta
PS-28	Franco	59	Muito alta
PS-32	Franco Argilosa	19	Muito baixa
PS-33	Franco Siltoso	45	Média
PS-35	Franco Siltoso	42	Média
PS-36	Franco Siltoso	50	Alta
PS-37	Franco Arenosa	56	Muito alta
PS-39	Franco	50	Alta
PS-40	Franco Arenosa	44	Média
PS-43	Franco	42	Média
PS-44A	Franco Argiloso Siltoso	44	Média
PS-44B	Franco Siltoso	69	Muito alta

Tabela 5. Resultados de textura e porosidade dos solos analisados.

5.4. Suscetibilidade a erosão dos solos (erodibilidade - Fator K)

O potencial de erodibilidade de um solo (Fator K) representa a susceptibilidade do solo à erosão. Este fator está diretamente relacionado com a tipologia do solo, ou seja, propriedades físicas e químicas que determinam o grau de erosão dos diferentes tipos de solos quando submetidos às mesmas condições de chuva, declive e uso. O Fator K foi calculado aplicando o nomograma de Wischmeier et al., (1971) a partir dos parâmetros texturais do solo nas frações silte + areia muito fina (0,002 – 0,10 mm), areia (0,10 – 2,0 mm), teor de matéria orgânica, estrutura do solo e permeabilidade (Tabela 6). As amostras analisadas apresentaram resultados de erodibilidade em torno de 0,20 a 0,50 t/ha

($\text{tm}/\text{ha}\cdot\text{mm}/\text{h}$), sendo classificadas como de erodibilidade média a forte em comparação a classificação proposta de Carvalho (1994)

Amostras	granulometria		Matéria Organicas	Estrutura	Permeabilidade		Erodibilidade dos solos t/há($\text{tm}/\text{há}\cdot\text{mm}/\text{h}$)
	% Finos	% Areia			cm/s	Classe	
PS - 21	49	51	0,63	2	5,00E-05	5- Lenta	3 - Forte
PS - 25	59	25	2,94	1	1,60E-08	2-Moderado rápido	2 - Médio
PS - 28	43	60	0,97	2	3,70E-04	3-Moderada	3 - Forte
PS - 32	64	20	2,66	1	1,30E-03	2-Moderada a rápido	3 - Forte
PS - 33	85	5	3,18	1	9,80E-03	4-Lenta a moderada	3 - Forte
PS - 35	75	3	1,8	1	3,40E-04	3-Moderada	3 - Forte
PS - 36	85	5	3,22	1	5,10E-05	5- Lenta	3 - Forte
PS - 37	64	17	1,42	1	2,10E-03	1-Rápido	3 - Forte
PS - 39	51	32	3,23	1	1,80E-03	1-Rápido	3 - Forte
PS - 40	55	18	1,81	1	1,50E-03	2-Moderada a rápido	2 - Médio
PS - 43	45	65	1,96	2	9,60E-04	4-Lenta a rápido	3 - Forte
PS - 44A	66	20	4,26	1	3,30E-04	3-Moderada	2 - Médio
PS - 44B	86	15	0,45	1	1,30E-04	4-Lenta a moderada	2 - Médio

Tabela 6. Resumo dos resultados dos ensaios geotécnicos necessários para a obtenção do Fator K.

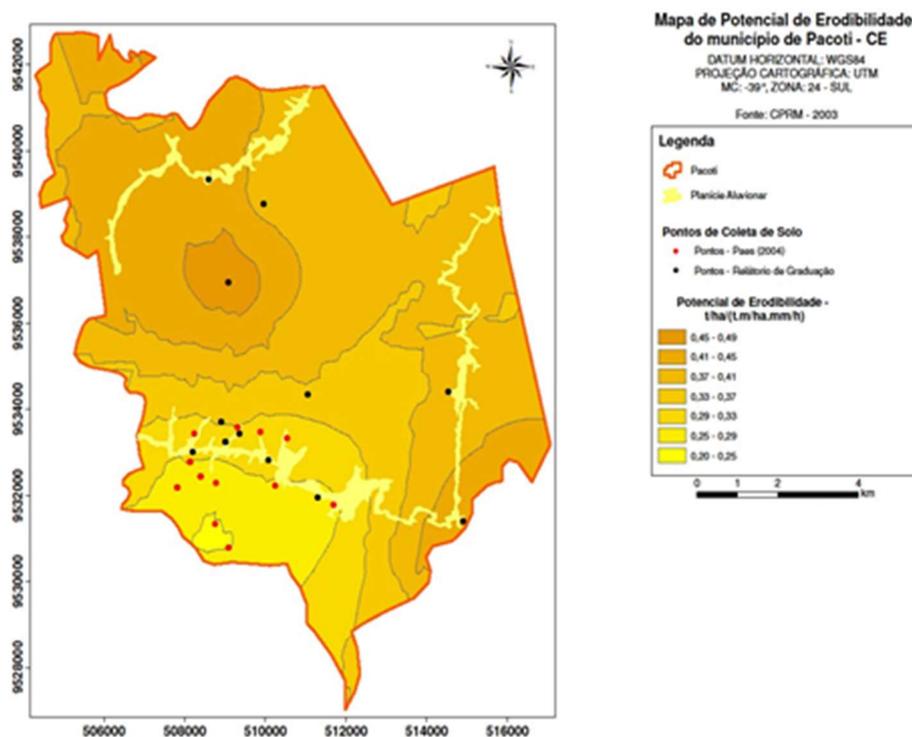


Figura 10. Mapa de erodibilidade do município de Pacoti, CE (Fonte: OLIVEIRA e MOTA, 2011) Cartografia /geotécnica e análise dos condicionantes de erosão, e estabilidade de encostas no município de Pacoti - CE.

5.5. Potencial erosivo da chuva (erosividade - Fator R)

O Fator R é representação numérica da capacidade da chuva de causar erosão laminar, que é determinada pela correlação de uma série contínua de registros pluviométricos em um determinado período. A erosividade foi calculada

através da formulação utilizando uma modificação da Equação Universal de Perda de Solo (USLE) de Bertoni & Lombardi Neto (1993). As condições pluviométricas registram precipitação média anual em torno de 1518 mm. Os resultados das erosividades e precipitações médias mensais do histórico dos anos de 1974 até de 2010 foram coletadas na estação pluviométrica no município de Pacoti, fornecida pela FUNCEME, figura 11.

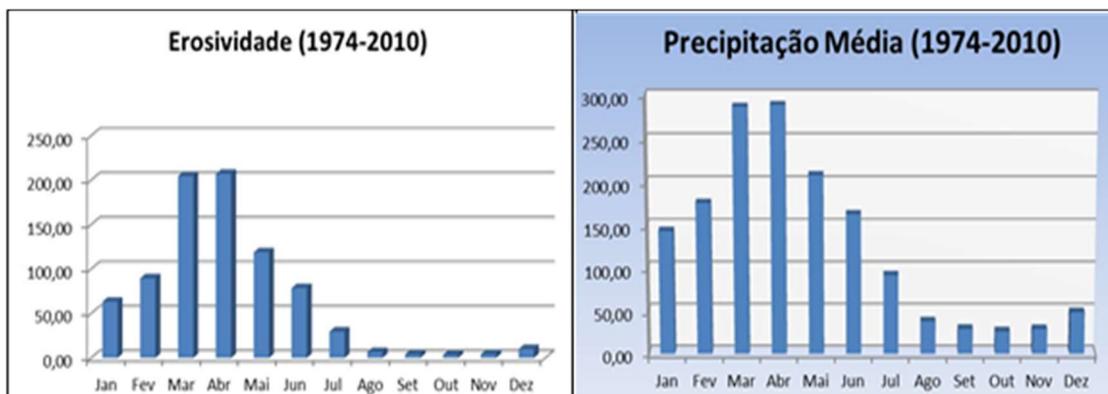


Figura 11. Erosividade mensal da chuva e precipitação média no período de 1974 a 2010.

De acordo com os resultados obtidos pode-se observar que no caso de Pacoti os maiores valores de erosividade estão diretamente associados aos meses de maior taxa pluviométrica como os meses de março, abril e maio.

6. DIAGNOSTICO AMBIENTAL

O diagnóstico ambiental é a caracterização da qualidade ambiental atual da área de abrangência do Estudo Ambiental, de modo a fornecer conhecimentos para embasar a identificação e a avaliação dos impactos nos meios físico, biológico e socioeconômico. Neste caso o diagnóstico limita-se ao meio físico, levando em consideração o uso e ocupação das áreas de entorno dos rios e encostas, o tipo de cultivo agrícola e a expansão urbana em relação meio físico. Os tipos de agricultura associadas a região é família e não familiar, porem em Pacoti ainda se predomina agricultura família segundo dados do (IPCE 2011). A ocupação de grande áreas na zona rural propicia diversões tipo de cultivo associados a agricultura em áreas de relevos como morros baixos e planícies.

Cultivos como os em curva de nível, que estão diretamente associados a unidades de relevo de morros de baixas amplitudes e com declividades menores que 30%, no setor observado a extremo SSW da área a uma erodibilidade com intervalo de 0,20 a 0,25 t/h(tm/há.mm/h). Avaliando esses resultados é uma saída para este setor, já que a cultura em curva de nível propicia uma diminuição da erosão do solo e lixiviação do mesmo, salientado também que a geometria em bermas proporciona um melhor acumulo dos nutrientes do solo. Em relevos de planície declividades menos que 5%, onde as áreas são mais regulares a

agricultura é melhor aproveitada com grandes plantações em áreas com mais acúmulo de umidade.



Figura 12 - Plantação em curva de nível, próximo a Fazenda Ramaso.



Figura 13 - Plantação de Chuchu em meio a relevo de planície e circundado por uma unidade colinosa na estrada que vai em direção da Localidade de Granja.

Na cidade de Pacoti o crescimento se deu primeiro na ocupação rural com poucas moradias em grandes áreas vivendo de agricultura. Porém aos poucos foram povoando a região mais central município com comércios e setores administrativos. Porém tudo isso foi consequência da migração de grandes centros urbanos que incharam.

O relevo em sua maioria acidentado (colinoso e de morros cortados por uma planície aluvionar). Essas unidades de relevo com declividades máximas de 30% e amplitudes média em torno de 130 m, foi sendo ocupado de forma desordenada em setores principalmente próximos de encostas e alúvios. Vendo a necessidade de organizar e urbanizar essa ocupação, o município está tentando minimizar com tratamentos urbanísticos básicos como calçar ruas e avenidas, colocar canaletas de drenagens superficiais e em pontos mias que são estratégicos a aplicação de técnicas de contenção. A figura 14 retrata essa ocupação desordenada nas encostas e em vertentes de rios de encostas.

O relevo em sua maioria acidentado (colinoso e de morros cortados por uma planície aluvionar) Essas unidades de relevo com declividades máximas de 30% e amplitudes medias em torno de 130 m, foi sendo ocupado de forma desordenada em setores principalmente próximos de encostas e alúvios. Vendo a necessidade de organizar e urbanizar esse ocupação o municio está tentando minimizar essa desorganização da ocupação com tratamentos urbanísticos básicos como calçar ruas e avenidas, colocar canaletas de drenagens superficiais e em pontos mias estratégicos a aplicação de técnicas de contenção.



Figura 14 - Ocupação desordenada em relevos de dissecação próximos da inclinação da vertente, bordejando as margens do Rio Pacoti. Degradação de suas vertentes com lixo e poluição acentuada e assoreamento em torno do Rio Pacoti.

Uma das técnicas de contenção de encosta utilizadas na cidade de Pacoti é a de gramas com telas e grampos para conterem os deslocamentos de massa dos solos das encostas, que pode ocorrer no período de chuva protegendo as encostas com fixação da vegetação nos solos, esta técnica foi utilizada em uma praça que fica localizada dentro da cidade. Foram também observadas técnicas como arrimagem - muro de arrimo (muros de alvenaria de pedra (Figura 15). Para exemplar drenagem superficiais como canaletas, foi observado canaletas paralelas e perpendiculares ao bordo das ruas mais íngremes na área urbana.



Figura 15 - Uso da técnica de contenção de encostas na área urbana de Pacoti.

7. CONCLUSÃO

O presente trabalho de diagnóstico ambiental superficial do Município de Pacoti-Ce buscou correlacionar alguns aspectos como a identificação de unidades de relevo associadas a declividade, erodibilidade e por fim erosividade das chuvas. As unidades de relevo distribuídas na maior porção da região foram colinas e morros, com amplitudes de 130m e declividade predominante entre 5% e 30% que são cortados por planícies aluvionares com declividades inferiores a 5%. Outra unidade de relevo encontrada são as montanhas que estão concentradas nas porções noroeste, centro-sudeste e extremo sul com amplitudes média de 500m. Porém na porção centro-sudeste encontra-se o Pico Alto com elevação altimétrica de 1.114m. Outros dois aspectos importantes são os fatores de erosividade e

erodibilidade. Observou-se que a erosividade excedeu patamares de valores 100 (tm.mm/ha.h.mês), principalmente nos meses de Janeiro a Junho. O potencial de erodibilidade avaliado com base na amostragens quantificaram de 0,20 a 0,50 t/ha(tm/ha.mm/h), ou seja, classe de erodibilidade forte. Pode-se ressaltar que a porção centro-sudoeste da área onde se teve maior número de amostragem, foi identificado um erodibilidade de 0,20 a 0,33 t/ha(tm/ha.mm/h), essa análise deve ser extrapolada a zonas urbanas.

Quanto ao assoreamento que é um fenômeno presente na periferia dos rios e na zona urbana de Pacoti, percebeu-se que o rio Pacoti em alguns setores encontra-se assoreado devido a ocupação de suas margens e conseqüentemente remoção da mata ciliar. O uso e ocupação foram relacionados em um segundo momento em duas situações, com ocupação em unidades de relevo e para o uso em um aspecto socioeconômico como a agricultura. Utiliza-se técnicas de cultivo em curvas de nível para minimizar a ação da lixiviação do solo e minimizar a perda de nutriente do mesmo devido a este tipo de plantio ser geometricamente em bermas. Para as áreas urbanas a preocupação sobre o uso e ocupação está associado às áreas de relevos mais acentuados e íngremes com suas vertentes das encostas expostas e em margens dos rios. A ocupação desordena desses relevos propicia eventuais problemas ambientais e geotécnicos. Por conta disto tentou minimizar esses problemas com técnicas estabilização de encostas como arrimação (muro de arrimo), aplicação de grampos com reforço de gramas e telas têxteis, e para drenagem superficial utilizou-se canaletas paralelas e perpendiculares ao bordo das ruas. É necessário mais estudos específicos com foco em uso e ocupação, associado a aspectos geoambientais na cidade de Pacoti-Ce.

REFERÊNCIAS

ABGE. **Geologia de Engenharia**. 1998. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia.

ARTHAUD, M.H.; VASCONCELOS, A.M.; NOGUEIRA NETO, J.A.; OLIVEIRA, F.V.C.; PARENTE, C.V; MONIÊ, P; LIÉRGEOIS, J.P.; CABY, R.; FETTER, A.H. 1998. **Main Structural Features of Precambrian Domains from Ceará (NE Brazil)**. In: DEGEO/UFOP – IBT A, *International Conference on Basement Tectonics*, 14^o, Ouro Preto, Abstracts, 84 – 85.

ARTHAUD, M.H., 2007. **Evolução Neoproterozoica do Grupo Ceara (Domínio Ceara Central, NE Brasil): da sedimentação a colisão continental brasileira**. Tese de doutorado. Universidade de Brasília, p. 132.

ARTHAUD, M.H., FUCK, R.A., DANTAS, E.L., SANTOS, T.J.S., CABY, R., ARMSTRONG, R., 2015. **The Neoproterozoic Ceara Group, Ceara Central domain, NE Brazil**:

depositional age and provenance of detrital material. New insights from UePb and Sm –Nd geochronology. J. South Am. Earth Sci. 58, 223-237.

BASTOS, F. H. 2012. **Movimentos de massa no Maciço de Baturité (CE) e contribuições para estratégias de planejamento ambiental.** Tese de Doutorado. Departamento de Geografia – UFC. 257p.

BATISTA, C.T. 2014. **Geoprocessamento aplicado ao mapeamento geotécnico em escala regional – o caso da Serra de Baturité, CE.** Tese de Doutorado. Departamento de Geologia – UFC. 217p.

BATISTA, C.T.; VERÍSSIMO, C.U.V.; WAGNER, S.A. 2014. **Levantamento de feições estruturais lineares a partir de sensoriamento remoto – uma contribuição para o mapeamento geotécnico na Serra de Baturité, Ceará.** Geol. USP, Sér. cient., São Paulo, v. 14, n. 2, p. 6-82.

BÉTARD, F., PEULVAST, J. P., SALES, V. C. 2007. **Caracterização morfopedológica de uma serra úmida no semi-árido do nordeste brasileiro: o caso do Maciço de Baturité-CE.** Mercator - Revista de Geografia da UFC, 6(12), 107-126.

BERTONI, J. & LOBARDI NETO, F. 1993. **Conservação do solo.** Ícone: São Paulo.

BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; GONÇALVES, J. H.; BEARS, F. J.; DELGADO, I. M.; ABRAM, M. B.; LEÃO NETO, R.; MATOS, R. M.M.; SANTOS, J. O. S. (coords), 2001. **Geologia Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Sistema de Informações Geográficas Escala 1:2.500.000.** CPRM, Brasília, 4 CD-ROM.

BRAGA, A. de P. G.; PASSOS, C. A. B.; SOUZA, E. M.de ; FRANÇA, J. B.de; MEDEIROS, M. de F.; ANDRADE, V. A. de 1977. **Projeto Fortaleza; Relatório final.** Recife, DNPM/CPRM. 10v. II.

BRÍGIDO, F.R.; FILHO, F.V.M. 1985. **Geologia da Região oeste de Guaramiranga-CE.** Relatório de Graduação, Departamento de Geologia – UFC.

CARVALHO, N.O. 1994. **Hidrosedimentologia Prática.** Rio de Janeiro. CPRM, 143p.

CAVALCANTE, J. C.; VASCONCELOS, A. M.; GOMES, F. E. M.; 2003. **Mapa Geológico do estado de Ceará.** In: Atlas digital de Geologia e recursos minearias do Ceará. Geologia, Recursos Minerais, Geoquímica, Geofísica, Geomorfologia, Sistema de Informações Geográficas – SIG. Edição 2003. Mapas na escala 1: 500.000. MME-CPRM.

CEARÁ. 1992. **Zoneamento Ambiental da APA da Serra de Baturité: Diagnósticos e Diretrizes.** Fortaleza: SEMACE, 100p.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2012. **Mapa Geológico da Folha SB.24 – X-A-I Baturité. Escala 1:100.000**, Fortaleza: CPRM.

EMBRAPA 1997. **Manual de Métodos de Análise do Solo**. 2ª Edição. Rio de Janeiro:

FETTER, A.H., 2000. **U-Pb and Sm-Nd geochronological constraints on the crustal framework and geologic history of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the assembly of Gondwana**. PhD thesis, Department of Geology, Kansas University, Lawrence, KS – USA, 164 pp.

FETTER, A.H.; DOS SANTOS, T.J.S.; VAN SCHMUS, W.R.; ARTHAUD, M.H.; NOGUEIRA NETO, J.A. **U/PB and Sm/Nd Geochronological Constraintson the Crustal Evolution and Basement Architecture of Ceará State, NWBorborema Province, NE Brazil: Implications for the Existence of the Paleoproterozoic Supercontinent “Atlântida”**. In: Revista Brasileira de Geociências, 30 (1) 2000.

FETTER, A.H.; SANTOS, T.J.S.; SCHMUS, W.R.V.; HACKSPACHER, P.C.; BRITO NEVES, B.B.; ARTHAUD, M.H.; NOGUEIRA NETO, J.A.; WERNICK, E. 2004. **Evidence for Neoproterozoic Continental Arc Magmatism in the Santana Quitéria Bartholith of Ceará State, NW Borborema Province, NE, Brazil: Implications for the Assembly of West Gondwana**. Revista Gondwana Research, vol6. 265-273p.

GARCIA, M.G.M.; ARTHAUD, M.H. 2004. **Caracterização de trajetórias P-T em nappes brasileiras: região de Boa Viagem/Madalena – Ceará Central (NE Brasil)**. Revista de Geologia, Vol. 17, nº 2, 173-191.

IAEG – International Association of Engineering Geology. 1992. **Statutes**. Newsletter, n.19, Paris, dez/92.

IPLANCE, 1995. **Atlas do Ceará**. Governo do Estado do Ceará.

IPT, **Manual Ocupação de Encostas** - São Paulo, 1991.
ISTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS
RENOVÁVEIS -IBAMA . 2002. **Planejamento Biorregional do Maciço de Baturité**.
Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza.

NASCIMENTO, F.R., NOGUEIRA, M. J. N., CRUZ, L.B.C. 2010. **Diagnóstico socioeconômico da área de Proteção Ambiental da Serra de Baturité – Ceará**. RAOEGA, Curitiba, n. 20, p. 19-33, 2010. Editora UFPR.

OLIVEIRA, J.M.P. 2011. **Cartografia Geotécnica dos condicionantes de erosão e estabilidade de encostas no município de Pacoti – CE**. Relatório de Graduação. Departamento de Geologia – UFC.

PAES, K.A.D. 2004. **Análise da vulnerabilidade à erosão na bacia hidrográfica do Rio Pacoti (Serra de Baturité)**. Dissertação de Mestrado. Fortaleza: Departamento de Geologia – UFC.

QUEIROZ, P.H.B. 2010. **Planejamento Ambiental aplicado a um setor do médio curso da Bacia Hidrográfica do rio Pacoti - Ce**. Dissertação (Mestrado). Fortaleza: Departamento de Geografia -UFC.

Souza, M. J. N., Oliveira, V. P. V. (2006). **Os enclaves úmidos e sub-úmidos do semi-árido do nordeste brasileiro**. Mercator - Revista de Geografia da UFC, 9, 85-102.

Souza, M. J. N. (2000). **Bases naturais e esboço do zoneamento geoambiental do estado do Ceará**. In: L. C. Lima, J. O. Moraes, M. J. N. Souza (Eds.), *Compartimentação Territorial e Gestão Regional do Ceará (05-102)*. Fortaleza: FUNECE.

TORRES, P. F. M. (2004). **Aspectos geológicos e geocronológicos da região de Redenção (CE) e adjacências – contexto regional e evolutivo: Sequência Acarape e Suíte Pacatuba**. Dissertação de Mestrado. Fortaleza: Departamento de Geologia – UFC.

TORRES, P. F. M., PARENTE, C. V., DANTAS, E. L., ARTHAUD, M. H., FUCK, R. A., NETO, J. A. N., CASTRO, D. L. 2006. **Seqüência metavulcano-sedimentar Acarape, CE: aspectos geológicos e isotópicos Sm/Nd**. Revista de Geologia da UFC, 2, 163-176.

WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D. 1978. **Predicting Rainfall Erosion Losses. A guide to Conservation Planning**. Supersedes Agriculture Handbook n. 282. Science and Education Administration United Statyes Departament of Agriculture.

ABSTRACT: This work presents the results of the study of an Environmental Diagnosis directed to the erosion and stability of slope in the Municipality of Pacoti, precisely in the Sierra de Baturité. Geologically the area is composed for a dominant set of biotite gneiss and mica schist with garnet of the Ceará Complex, and rocks like quartzites, hornblende gneiss, pegmatites. It has been carried through assays of permeability and granulometria, density “in situ”, studies of the relief and drainage net, calculation of the erosion of soil in the city of Pacoti. March, April and May are the months with period most critical relevant with precipitation and erosion. The calculations carried through of erosion index of soil, it has been considered between category 2 and 3 of factor K - average and strong erosion index. Considering as base the discussions presented about Environmental Diagnosis of the Pacoti city, it concludes that the region of Pacoti needs a careful evaluation with regard to occupation of its slopes.

KEYWORDS: Erosion, Factor K, Relief Unit

CAPÍTULO XI

MAPEAMENTO DE AMEAÇAS E DESASTRES NATURAIS NA ÁREA URBANA DE SANTARÉM - PA

**Fábio Ferreira Dourado
Milena Marília Nogueira de Andrade**

MAPEAMENTO DE AMEAÇAS E DESASTRES NATURAIS NA ÁREA URBANA DE SANTARÉM - PA

Fábio Ferreira Dourado

Universidade Federal do Paraná (UFPR), Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geologia (PPGG)
Curitiba – Paraná.

Milena Marília Nogueira de Andrade

Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Professora do Instituto Ciberespacial
Belém – Pará.

RESUMO: O presente trabalho mapeou a área afetada por ameaças naturais de inundação gradual, erosão e movimento gravitacional de massa em quatro bairros da área urbana de Santarém (Aldeia, Centro, Amparo e Santarenzinho), localizado a oeste do Estado do Pará. De início foi feito um levantamento bibliográfico, ao qual foi obtido informações hidrometeorológicas (dados pluviométrico e fluviométrico), e físicas (geomorfológico, geológico e topográfico) da área de estudo. Posteriormente foi feito um mapeamento *in loco* com o uso de um GPS e fichas de registros delimitando as áreas de ameaças e desastres constituídos por polígonos. Por fim, foi feito o cruzamento desses dados coletados *in loco* com imagens de alta resolução e assim espacializados os eventos nos diferentes bairros da cidade. A espacialização destas áreas afetadas possibilita o conhecimento da população local potencialmente afetada, e auxilia na tomada de decisões pelo poder público visando um planejamento urbano eficiente.

PALAVRAS-CHAVE: Ameaças Naturais, Desastres Naturais, Planejamento Urbano, Santarém.

1. INTRODUÇÃO

Os desastres naturais têm ocorrido com mais frequência no Brasil nos últimos anos. São originários a partir de uma ameaça natural que se convertem em fenômenos destrutivos ou impactantes para sociedade e podem ter sua origem na dinâmica natural ou antrópica (CERRI & AMARAL, 1998). No período entre 1991-2012 houveram 69.477 ocorrências de desastres naturais no país (CEPED; UFSC, 2011; 2013).

No estado do Pará até o ano de 2009 foram publicados 528 decretos de situação de emergência originados principalmente pela ocorrência de inundações, enchentes, erosões fluvial e pluvial, enxurradas, vendavais, fortes chuvas, estiagens e deslizamentos (FONSECA & SZLAFSZTEIN, 2013). Este trabalho enfatiza os desastres referentes às inundações graduais que representam cerca de 59% das ocorrências dos desastres naturais na região Amazônica (SILVA JÚNIOR & SZLAFSZTEIN, 2010), seguido pelas erosões e movimentos gravitacionais de massa

(FONSECA & SZLAFSZTEIN, 2013).

Para este estado, no período de 1991 a 2012, os danos para o evento de inundação gradual contabilizam 610.000 pessoas afetadas, 110.000 desalojadas, 38.000 desabrigadas, 30.000 enfermas, mais de 1.700 feridas e 29 mortas; para o evento de erosão cerca de 128.000 pessoas afetadas, 2.500 enfermas, 1.600 desalojadas, 420 feridas e 90 desabrigadas; e para o evento de movimentos gravitacionais de massa cerca de 5.000 pessoas afetadas, 230 desalojadas, 215 desabrigadas, 9 feridas e 4 mortas (BRASIL, 2013; CEPED; UFSC, 2011; 2013).

Cerca de 38% das inundações graduais ocorreram na mesorregião do Baixo Amazonas durante o primeiro semestre, sendo os meses de abril e março os detentores dos maiores números de ocorrências devido as altas taxas fluviométricas dos rios da região nesse período (FONSECA & SZLAFSZTEIN, 2013). Os eventos de erosão tiveram seus maiores registros no ano de 2013, seguindo dos anos de 2008 e 2010; e os movimentos gravitacionais de massa possuíram maiores registros no ano de 2009, nos meses de maio e fevereiro (BRASIL, 2013; CEPED; UFSC, 2011; 2013).

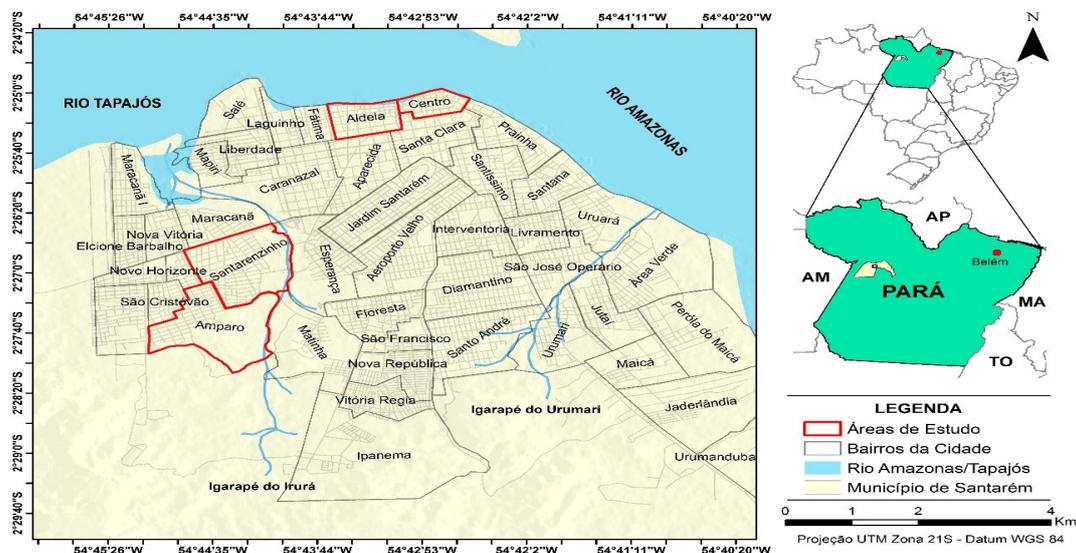
Situada nesta mesorregião a cidade de Santarém conta com estudos pretéritos de identificação e mapeamento desses três tipos de desastres (CPRM, 2012; ANDRADE & SZLAFSZTEIN, 2013; 2015; DOURADO & ANDRADE, 2014; 2015; 2016; DOURADO *et al.*, 2016). O mapeamento de ameaças e desastres naturais é um instrumento importante para o planejamento urbano, em especial sob cenários amazônicos (ANDRADE & SZLAFSZTEIN, 2013).

O objetivo do trabalho é realizar um mapeamento e análise em escala de detalhes das áreas afetadas pelos desastres naturais de inundação gradual, erosão e movimento gravitacional de massa, nos bairros Aldeia, Centro, Amparo e Santarenzinho no ano de 2014.

Área de estudo

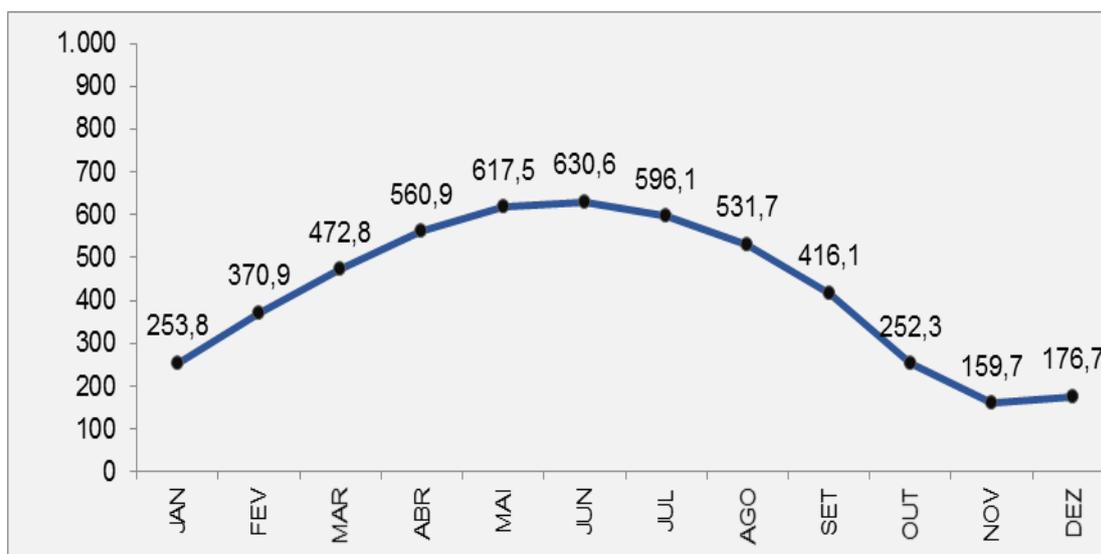
A área de estudo corresponde a sede urbana do município de Santarém (Pará), localizado na confluência dos rios Amazonas e Tapajós posicionado nas coordenadas geográficas 02°25'30"S e 54°42'50"W (Figura 1). A sede urbana possui uma área de 46 km² em um total de 48 bairros com uma população de aproximadamente 215 habitantes (73% da população total do município) (IBGE, 2014).

Figura 20: Mapa de localização da área urbana de Santarém – PA, em destaque em vermelho a localização dos bairros que correspondem às áreas de estudo.



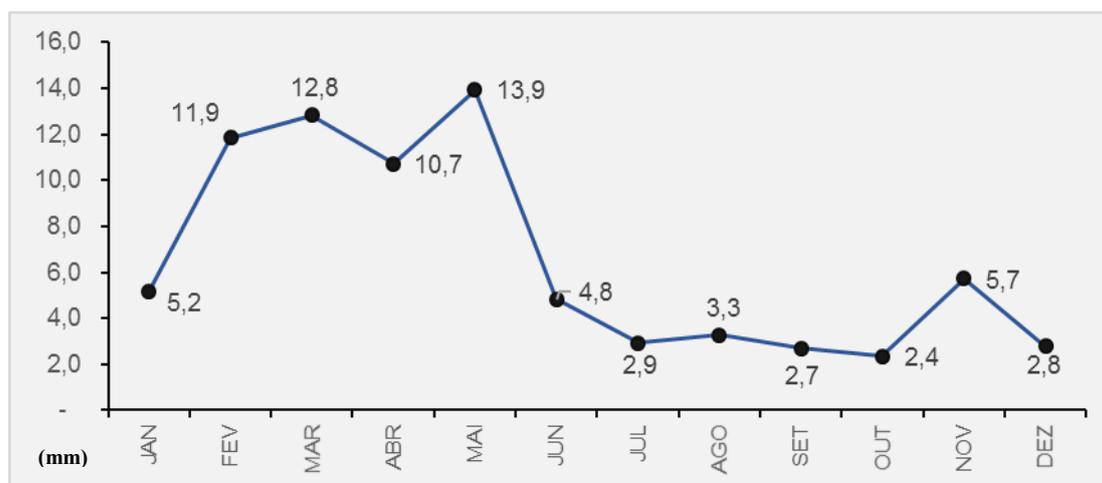
Todos os anos os rios Amazonas e Tapajós aumentam seu nível, causando assim inundações lentas nas regiões topograficamente baixas da cidade (ANDRADE & SZLAFSZTEIN, 2013; 2015). As maiores cotas fluviométricas mensais (Figura 2) registradas em Santarém se estendem do mês de abril até meados de julho. Nestes meses são caracterizados com as maiores elevações dos níveis dos rios, de acordo com a série histórica fluviométrica de 80 anos (ANA, 2014). No ano de 2009 ocorreu a maior cota fluviométrica com 831 cm no mês de maio, e desse modo foi registrada a maior inundação lenta no município (ANA, 2014; ANDRADE & SZLAFSZTEIN, 2015).

Figura 22: Série histórica fluviométrica do período de 1934 a 2014 da estação de Santarém – PA. Fonte: INMET, 2014



Com relação a precipitação, o período de chuvas intensas se inicia em janeiro e se estendem até o mês de maio, segundo a série histórica pluviométrica de 42 anos (Figura 3) (INMET, 2014). Essa alta precipitação no primeiro semestre propicia com que ocorram eventos do tipo erosões e movimento gravitacionais de massas em diversos pontos na região que são mais elevadas topograficamente, com declividade moderada e solos de fácil desintegração (ANDRADE & SZLAFSZTEIN, 2013). Estas compreendem principalmente as áreas periféricas da cidade, onde não se tem uma estrutura e planejamento urbano.

Figura 23: Série histórica pluviométrica do período de 1972 a 2014 da estação de Belterra - PA, cidade limítrofe de Santarém. Fonte: INMET, 2014.



A geologia da área de estudo constitui-se de arenitos da Formação Alter do Chão (Bacia Sedimentar do Amazonas) e depósitos aluvionares (cascalhos, areias e argila semi-consolidada e inconsolidada) ao longo das drenagens (CUNHA, 2000). Enquanto que o domínio geomorfológico corresponde aos Baixos Platôs da Amazônia Centro-Oriental (DANTAS & TEIXEIRA, 2013).

Em escala de detalhe a área de estudo apresenta três unidades de relevo, sendo elas: planícies de inundação, morros e colinas (ANDRADE, 2014). As planícies de inundação estão localizadas nas regiões de margem da área urbana, apresentando baixas altitudes e declividades. As colinas estão distribuídas por toda extensão da área, apresentando altitudes médias e declividades baixas a moderada. Por fim, os morros, de menores ocorrências, estão localizados nas regiões periféricas da cidade, com valores acentuados de altitude e declividade (ANDRADE & SZLAFSZTEIN, 2013; 2015).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia inclui quatro etapas principais que encadearam a sequência metodológica aplicada nesta pesquisa.

De início foi realizado um levantamento bibliográfico com dados:

pluviométrico (INMET, 2014), fluviométrico (ANA, 2014), geológico (KISTLER, 1954; CUNHA 2000) e geomorfológico (ANDRADE, 2014). Posteriormente foi confeccionada uma base cartográfica para ser utilizada em campo. Desse modo foi preciso obter o dado topográfico com curvas de nível no intervalo de 3 m gerados a partir de imagem SRTM InSAR, obtidas no site do EMBRAPA-RELEVO (MIRANDA, 2014)

A etapa de mapeamento foi realizada no período de março a junho de 2014 com a finalidade de:

(a) georreferenciar e demarcar os locais que ocorrem inundação gradual, erosão e movimento de massa com o uso do GPS *Garmin 76 CSx*;

(b) identificar e descrever os eventos feito através de preenchimento de fichas, modelo adaptado do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 1986) com os principais itens de descrição pautados na: localização, características da área, geometria da área afetadas pelos eventos, procedimentos estruturais para evitar ou amenizar os eventos, condicionantes e dados regionais;

(c) fazer o registro fotográfico; e

(d) realizar uma breve entrevista com os habitantes das áreas que são afetadas através de um questionário com três perguntas:

- Até qual localidade (rua) a inundação/erosão/movimento de massa do ano de 2014 alcançou?;

- Qual foi o nível médio que a água chegou a sua residência e por quanto tempo? (para o caso de inundação); e

- Quais foram os prejuízos/perdas ocasionadas pelo desastre?

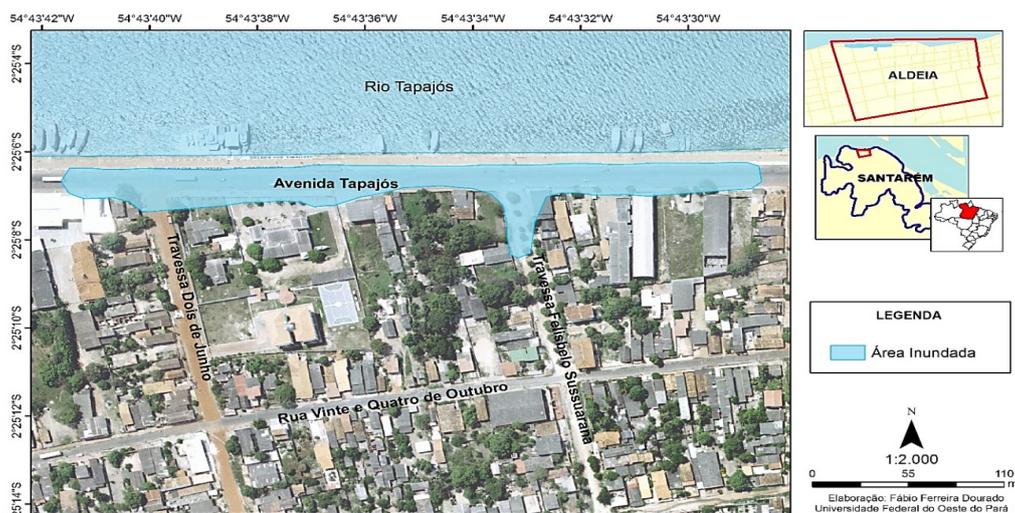
O georreferenciamento das áreas afetadas por inundação, erosão e movimento de massa foi plotado em um mosaico de ortofotos registradas no ano de 2001, de alta resolução (5m de resolução espacial), cedidas pela Companhia de Habitação do Pará (COHAB/PA). Os mapas finais foram confeccionados em uma escala de 1:2.000 a partir do cruzamento dos pontos de GPS e delimitação manual das áreas afetadas através de técnicas de sensoriamento remoto.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inundação Gradual

No ano de 2014, os bairros Aldeia e Centro foram os bairros mais afetados pelas inundações. Estes bairros apresentam baixa altitude (variando de 3 a 27 m de altitude em sua toda extensão), declividade (de aproximadamente 3°) e estão situados nas interfaces entre o relevo de colina e planície de inundação (ANDRADE & SZLAFSZTEIN, 2013). O bairro Aldeia (Figura 4) localizado na região norte da cidade, apresentou uma área inundada total de 0.94 hectare, onde foram afetadas 14 construções do tipo residencial e 3 do tipo comercial. A maior região inundada compreende a avenida Tapajós (Figura 6a), que é uma das principais avenidas de acesso na cidade.

Figura 24: Região do bairro Aldeia inundada no ano de 2014.



O bairro Centro (Figura 5), localizado adjacente ao bairro anteriormente descrito concentra as atividades comerciais de Santarém. Foi o bairro mais afetado com as inundações no ano de 2014, compreendendo uma área de 1.0 hectare, onde cerca 48 construções afetadas são do tipo comercial e 6 do tipo residencial.

Em ambos os bairros, foram instaladas bombas d'água para retirar a água da região alagada, e também foram construídas pontes de madeiras para acesso da população. Os prejuízos por parte dos moradores e comerciante (Imagem 6b) se resumem em perda de eletrodomésticos, móveis, mercadoria e prejuízos econômicos, já que o movimento do comercio diminuiu quantitativamente, segundo relatos feitos por comerciantes e empresários.

Figura 5: Região do bairro Centro inundada no ano de 2014.



Figura 6: Regiões inundadas no ano de 2014. (A) avenida Tapajós inundada na região do bairro Aldeia e (B) lojas no bairro Centro.



Erosão

As erosões foram mapeadas em dois bairros: Santarenzinho e Amparo - ao quais estes apresentam relevo de colinas com topos suaves, variando de 5 a 48 metros de altitude e com declividades baixas à relativas (ANDRADE, 2014; ANDRADE & SZLAFSZTEIN, 2013; 2015).

O bairro Amparo está situado na região sudoeste de Santarém. Nesta localidade se encontra o morro do Índio, conhecido pela população local como “serra do Índio”. Nesse morro foram mapeadas erosões do tipo ravinas e sulcos (Figura 7).

Os principais causadores e desencadeadores dessas erosões são partes ocorridas pelos fatores naturais (solo de fácil desintegração e quantidade elevada de chuva) quanto por fatores antrópicos (desmatamento e movimento de terra). Cerca de 40% das erosões mapeadas (com média de 0,3 m de profundidade, 2,5 m de comprimento e 0,5 m de largura) são do tipo sulcos e 60% das erosões (com média de 1,8 m de profundidade, 6,0 m de comprimento e 0,8 m de largura) são do tipo ravinas.

Figura 7: Erosões dos anos de 2001 (em amarelo) e 2014 (em azul) mapeadas no morro do Índio no bairro Amparo. Em vermelho as direções das erosões.



O bairro Santarenzinho (Figura 8) apresenta dois tipos de erosões: sulco e ravinas. A erosão do tipo sulco, com cerca de 0,4 m de profundidade, está localizada no cruzamento da travessa Tomé de Souza com a rua Cruzeiro do Norte (Figura 9a). A segunda erosão do tipo ravina está situada na travessa Umberto Alves com a rua Cruzeiro do Norte (Figura 9b), esta possui profundidade com cerca de 0,8 m, comprimento de 30 m e largura de 5, tornando assim a via intransitável. No entorno deste processo erosivo estão situadas cerca de 20 residências. Observa-se também uma grande quantidade de lixo acumulado pela água da chuva e um sistema de drenagem pluvial ineficiente ou obstruído.

Figura 8: Erosões mapeadas no bairro do Santarenzinho no ano de 2014.

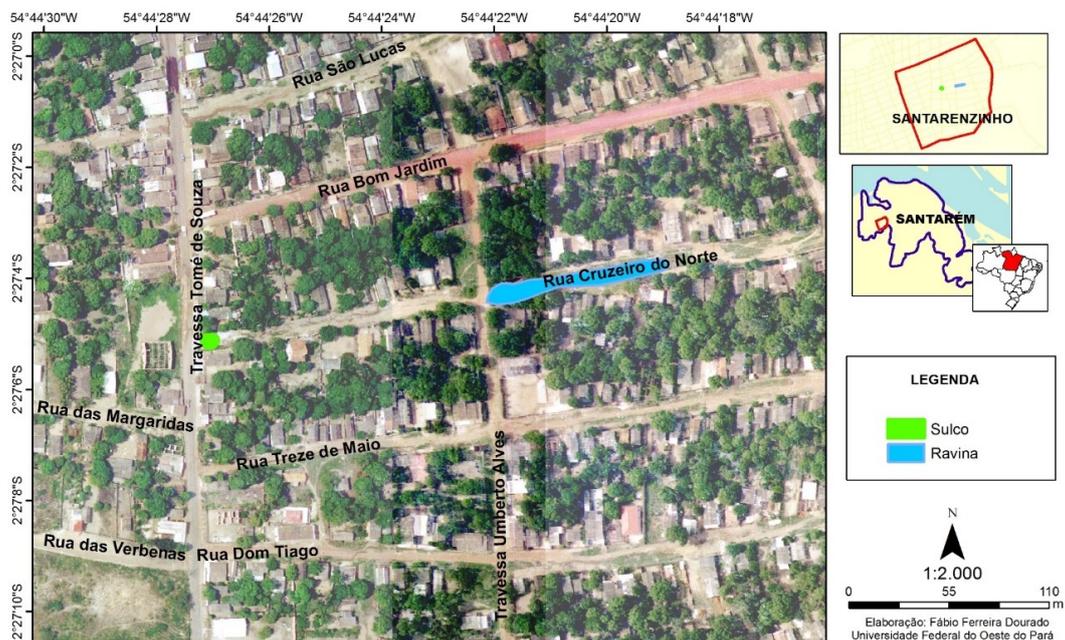
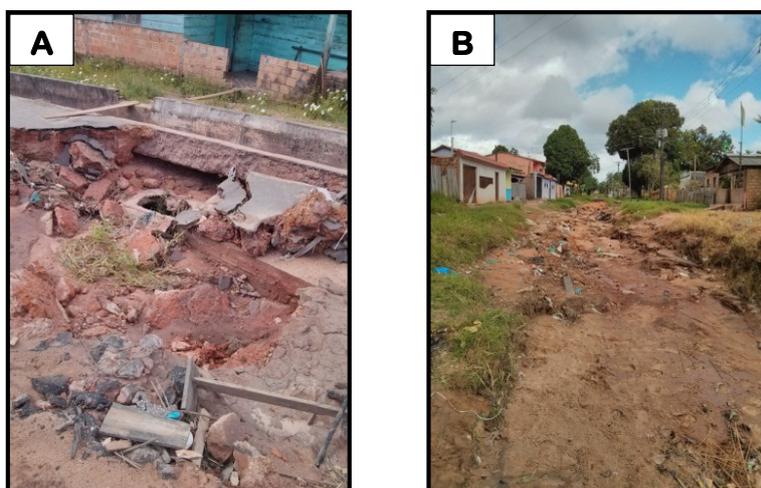


Figura 9: (A) Sulco no cruzamento da travessa Tomé de Souza com a rua Cruzeiro do Norte no bairro Santarenzinho e (B) ravina na rua Cruzeiro do Norte com a travessa Umberto Alves.



Movimento de Massa

O mapeamento do perigo natural de movimento de massa foi feito no morro do Índio (Figura 10). Este morro apresenta topo plano (com sua máxima altitude em 98 m) e escarpas de declividade moderada a íngremes. As construções mais próximas estão situadas aproximadamente 17 m de distância da base do morro, não sendo descrito nenhum dano direto por tal evento. O morro é constituído basicamente de rochas sedimentares de fácil desintegração da Formação Alter do Chão, tais como: arenito avermelhados, siltitos, conglomerados e brechas (DAEMON, 1975).

Três diferentes tipos de movimentos foram identificados nesta região: corrida de massa, escorregamento e queda de bloco.

A base do morro compreende uma área total de 11.2 hectares e apresenta uma suave inclinação na encosta de 30°. Na base do morro foram identificados escorregamento e corrida de massa devido à grande quantidade de material de granulometria fina transportado do topo do morro para a sua base. Foi possível identificar os escorregamentos através das “cicatrices” causadas pelo deslocamento de material para a base do morro.

As corridas de massas também foram descritas (Figura 11a), com uma grande quantidade de material de granulometria fina e viscosa que desceu da parte superior para a região inferior do morro, devido à supersaturação do solo ocasionado pelas chuvas e o acúmulo das mesmas. Esses sedimentos também se deslocaram e foram transportados para as regiões dentro dos bairros adjacentes, assim ocasionando o acúmulo em determinadas regiões e a obstrução de vias de transporte e escoamento de água.

A região superior do morro apresenta uma rampa de declive com inclinação de 55°, representando uma área total de 3.3 hectares. Neste local foi identificada a ocorrência de queda de blocos e corrida de massa.

A queda de blocos foi o mais presente na região da encosta e topo do morro com blocos rolados com cerca de 1,5 m de altura (Figura 11b), ocasionados principalmente por conta da rampa escarpada.

As corridas de massa, assim como descrito na base do morro, ocorrem no topo e se deslocam em grande volume para a base do morro.

Figura 10: Área da base e do topo do morro do Índio em que ocorrem os movimentos de massa descritos no ano de 2014.

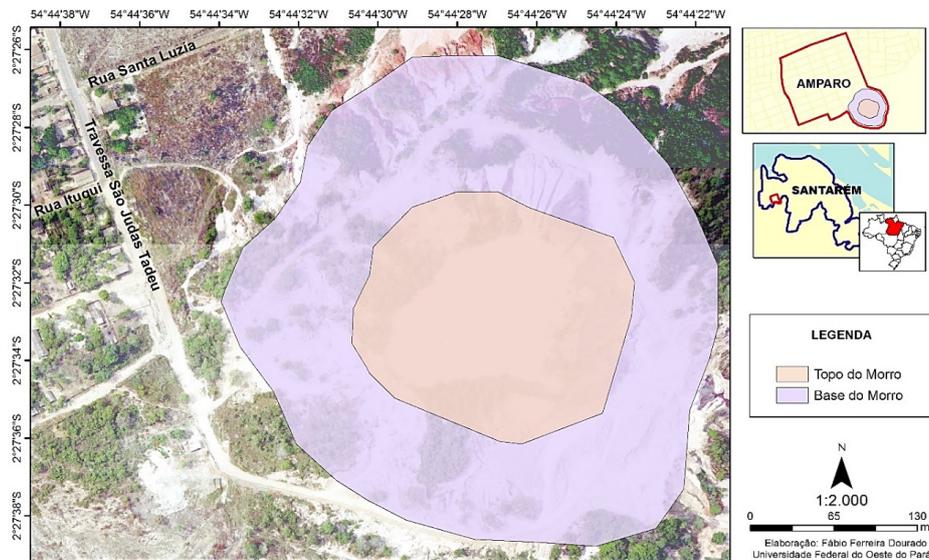
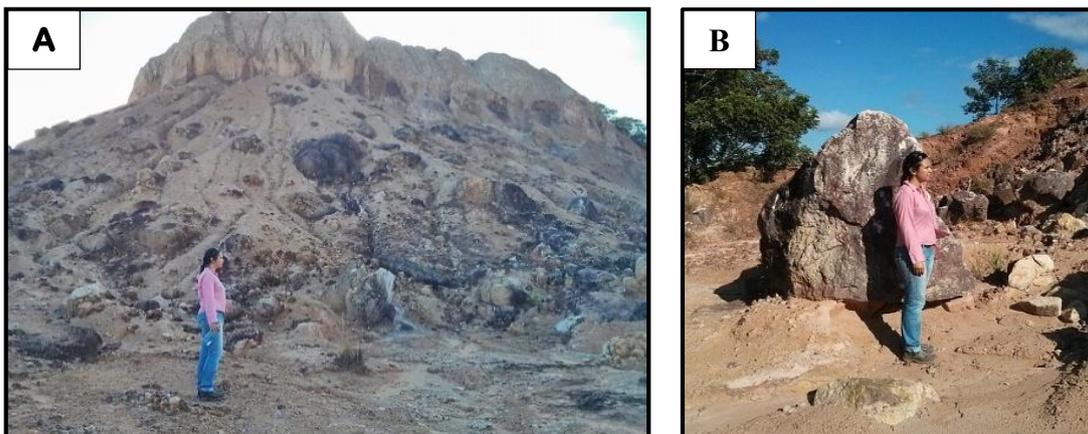


Figura 11: (A) Material fino transportado do topo do morro e (B) regiões do morro com os blocos rolados.



4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As ocorrências dos eventos de inundação, erosão e movimento de massa estão distribuídas nas suas mais frequentes ocorrências nas extremidades da área urbana de Santarém (regiões norte e sudoeste). O desastre de inundação está diretamente associado a elevação gradativa dos níveis do rio Amazonas em confluência com o rio Tapajós, aliados a falta de estrutura suficiente para impedir o alagamento dessas áreas situadas nas margens desses rios. A erosão é comum em regiões periféricas da cidade, onde se tem solos expostos, com rochas de fácil desintegração, e sistemas de drenagens ineficientes, propiciando assim o desencadeamento dessas erosões, ocasionadas pelo escoamento superficial da água da chuva. Por fim, o movimento de massa ocorre em região com influência

antrópica, aliado a condicionantes topográficos, hidrometeorológico e físicos.

O mapeamento e o estudo dos perigos naturais em escala de detalhes têm um papel importante para o conhecimento da população que está vulnerável, e também pelo poder público, haja vista que sob um bom planejamento urbano os perigos naturais e até mesmo os desastres poderiam ser evitados ou amenizados de forma com que a população impactada com esses fenômenos passa a ter uma vida melhor com mais segurança e menos transtornos e perdas.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece à Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas do Pará (FAPESPA) pela bolsa de iniciação científica PIBIC/FAPESPA e também a Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA) pela estrutura oferecida para o desenvolvimento desse trabalho durante a graduação do aluno.

REFERÊNCIAS

ANA, Agência Nacional das Águas. 2013. **Dados fluviométricos dos anos de 1934 a 2014**. Disponível em: <<http://mapas-hidro.ana.gov.br/Usuario/DadoPesquisar.aspx?est=22454440>>. Acesso em: 10 ago. 2014.

ANDRADE, M. M. N.; SZLAFSZTEIN, C. F. **Mapa de inundação como instrumento de planejamento urbano – estudo de caso na sede urbana de Santarém**. Simpósio de Geologia da Amazônia. SBG, Belém. 2013.

ANDRADE, M. M. N. **Capacidade adaptativa: uma proposição metodológica de avaliação da vulnerabilidade social às inundações**. Tese de Doutorado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido - Núcleo de Altos Estudos Amazônicos - Universidade Federal do Pará. Belém. 2014.

ANDRADE, M. M. N.; SZLAFSZTEIN, C. F. **Community participation in flood mapping in the Amazon through interdisciplinary methods**. Natural Hazards. ISSN: 0921-030X. doi:10.1007/s11069-015-1782-y. 2015.

BRASIL. 2013. **Banco de dados de registros de desastres: sistema integrado de informações sobre desastres - S2ID**. Disponível em: <http://s2id.integracao.gov.br>. Acesso em: 20Fev2016.

CEPED; UFSC. 2011. **Atlas brasileiro de desastres naturais (1991-2010). Volume Pará**. Florianópolis: UFSC. Disponível em: <http://150.162.127.14:8080/atlas/Atlas%20Para%202.pdf>. Acessado em:

15Ago2013.

CEPED; UFSC. 2013. **Atlas brasileiro de desastres naturais (1991-2012). Volume Pará.** Florianópolis: UFSC. Disponível em: <http://150.162.127.14:8080/atlas/Atlas%20Para.pdf>. Acessado em: 15Ago2013. 2013.

CERRI, L. E. S.; AMARAL, C. P. **Riscos Geológicos.** In: BRITO, S.N.A.; OLIVEIRA, A.M.S. (Org.). **Geologia de Engenharia.** ABGE, São Paulo, 302p. 1998.

CPRM, Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais. 2012. **Relatório de ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco à enchentes e movimentos de massa.** 15p.

CUNHA, P. R. C. **Análise estratigráfica dos sedimentos eo-mesodevonianos da porção ocidental da Bacia do Amazonas sob a ótica da estratigrafia de sequências no interior cratônico.** Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 263p. 2000.

DAEMON, R. F. **Contribuição à datação da Formação Alter do Chão, bacia do Amazonas.** Revista Brasileira de Geologia. p. 58-84. 1975.

DANTAS, M. E.; TEIXEIRA, S. G. **Origens das Paisagens.** In: JORGE, X.S.J.; TEIXEIRA, S.G.; FONSECA, D.D.F. (Org.). **Geodiversidade do Estado do Pará.** Belém: CPRM. p. 23-52. 2013.

DOURADO, F. F.; ANDRADE, M. M. **Comparação entre o mapa de ameaça à inundação lenta em Santarém (PA) e o conteúdo jornalístico virtual publicado.** 47^a Congresso Brasileiro de Geologia. Anais... Salvador. 2014.

DOURADO, F. F.; ANDRADE, M. M. **Mapeamento dos perigos naturais na sede urbana de Santarém - PA.** 15^o Congresso Brasileiro de Geologia e Engenharia. Anais... Bento Gonçalves. 2015.

DOURADO, F. F.; ANDRADE, M. M. **Atualização da base de dados do atlas brasileiro de desastres naturais na mesorregião do Baixo Amazonas Paraense nos últimos 4 anos (2011 a 2014).** 48^a Congresso Brasileiro de Geologia. Anais... Porto Alegre. 2016.

DOURADO, F. F.; ANDRADE, M. M. N.; CARNEIRO, C. C. **Interpretação de mapa de risco à inundação gradual gerado a partir da técnica *fuzzy* em imagem GDEM na sede urbana de Santarém - PA.** 48^a Congresso Brasileiro de Geologia. Anais... Porto Alegre. 2016.

FONSECA, D. D. F.; SZLAFSZTEIN, C. F. **Risco Geológico**. In: JORGE, X.S.J.; TEIXEIRA, S.G.; FONSECA, D.D.F. (Org.). **Geodiversidade do Estado do Pará**. Belém: CPRM. p. 119-130. 2013.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2014. **Sinopse do censo demográfico**. Rio de Janeiro, 201p.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. 2014. **Dados pluviométricos dos anos de 1972 a 2014**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>>. Acesso em: 12 out. 2013.

IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 1986. **Orientação para o combate à erosão no Estado de São Paulo**. São Paulo. (IPT. Relatório, 24 739).

KISTLER, P. **Historical resume of the Amazon Basin**. Belém, PETROBRAS/RENOR, Relatório interno 104p. 1954.

MIRANDA, E. E. 2014. **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 23 Jun. 2017.

SILVA JÚNIOR, O. M.; SZLAFSZTEIN, C. F. **Análise de risco como critério a gestão do território: um estudo do plano diretor do município de Alenquer (PA)**. Olam: Ciência & Tecnologia. v. 10, p. 1-29, 2010.

ABSTRACT: This study has mapped three types of natural hazards (floods, erosion and landslides) in four different districts of the urban center of Santarém (Aldeia Centro, Amparo and Santarenzinho), located in west from Pará state. Initially a literature survey was made, which was obtained hydrometeorological data (pluviometric and fluviometric), and physical aspects (geomorphological, geological and topographical), from the study area. The mapping process was done using a GPS, local interviews and field delimitation of risk areas represented by polygons. Finally, the field data collection was displayed over high-resolution images. The spatial affected areas from natural hazards allows the knowledge of locally affected population, and helps the decision making process in an efficient urban planning.

KEYWORDS: Natural Hazards, Natural Disasters, Urban Planning, Santarém.

CAPÍTULO XII

MELHORAMENTO FLUVIAL DO RIO URUSSANGA PERTENCENTE À BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO URUSSANGA, SUL DE SANTA CATARINA

**Sérgio Luciano Galatto
Gustavo Simão
Jader Lima Pereira
Nadja Zim Alexandre
Wilson Paganini Belletini**

MELHORAMENTO FLUVIAL DO RIO URUSSANGA PERTENCENTE À BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO URUSSANGA, SUL DE SANTA CATARINA

Sérgio Luciano Galatto

Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC
Criciúma-Santa Catarina

Gustavo Simão

Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC
Criciúma-Santa Catarina

Jader Lima Pereira

Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC
Criciúma-Santa Catarina

Nadja Zim Alexandre

Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC
Criciúma-Santa Catarina

Vilson Paganini Belletini

Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC
Criciúma-Santa Catarina

RESUMO: No melhoramento fluvial do rio Urussanga, objetivando a redução dos impactos associados às chuvas intensas, com conseqüente inundação de áreas mais suscetíveis aos efeitos da inundação, estão previstas uma série de atividades relacionadas ao seu desassoreamento, sendo este executado de forma seletiva numa extensão de 43,05 km. As análises químicas da água e sedimento, caracterização/classificação, bem como a disposição final do material dragado estão em consonância às Resoluções CONAMA 344/2004, 357/2005, 420/2009, 430/2011 e 454/2012. Com a recuperação dos distintos trechos do rio Urussanga, prevê-se, além das melhorias ambientais e incremento na arrecadação de tributos municipais, a revitalização econômica de toda a macrorregião, notadamente no que se refere às atividades industriais, mineração e agrossilvipastoris, além de benefícios sociais às comunidades que utilizam ou vivem nas proximidades do corpo hídrico.

PALAVRAS-CHAVE: Desassoreamento; inundação; sedimento; recuperação ambiental.

1. INTRODUÇÃO

O Sul de Santa Catarina situa-se entre as escarpas da Serra Geral, onde se encontram localizadas as nascentes dos seus principais rios e o Oceano Atlântico, limites esses paralelos e separados por uma distância aproximada de 50 km. O regime torrencial dos seus principais rios faz com que os conflitos gerados pelo uso das águas atinjam os diversos setores econômicos (ALEXANDRE, 2000). A exploração do carvão, que aos poucos substituiu a base agropecuária na região

que ficou conhecida como Bacia Carbonífera de Santa Catarina (BCSC), trouxe consigo severos impactos ambientais, entre os quais o mais grave é o elevado grau de poluição dos recursos hídricos de três das cinco bacias que drenam a região sul catarinense.

A BCSC ocupa uma faixa de 60 km de extensão por 20 km de largura drenada por formadores das bacias hidrográficas dos rios Tubarão, Araranguá e Urussanga (JICA, 1998). Integrante da 10ª região hidrográfica do estado (SANTA CATARINA, 1997),

A Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga (BHRU), ocupa uma área de 675,75 km² e corresponde a 0,70% do território catarinense. Esta bacia drena em superfície a totalidade dos municípios de Cocal do Sul e Morro da Fumaça. Os municípios de Urussanga e Içara tem grande parte das suas áreas na bacia do rio Urussanga, enquanto que parcialmente inseridos estão os municípios de Balneário Rincão, Criciúma, Jaguaruna, Pedras Grandes, Sangão e Treze de Maio.

A diversificação de atividades econômicas (mineração de carvão, argila e areia; agricultura e pecuária) aliado à ocupação territorial (ocupação urbana irregular, supressão de matas ciliares), despejo de efluentes líquidos (degradação da qualidade das águas) e carreamento de sedimentos, tem contribuído ao assoreamento dos rios que integram esta bacia. Nos últimos anos os problemas enfrentados pelas comunidades situadas nas proximidades do rio Urussanga têm se intensificado em função do assoreamento da calha do rio. Em período de precipitação pluviométrica intensa, contribui com alagamentos nas áreas dos municípios localizados na planície, ocasionando bloqueio de rodovias pavimentadas e não pavimentadas, inundações em pastagens e atividades agrícolas, além de danos em residências e indústrias.

Em função destes agravos, o desassoreamento da calha do rio Urussanga é um projeto de grande porte a ser executado em diferentes trechos do rio visando o seu melhoramento fluvial. É uma ação de extrema importância e necessidade tanto para minimizar os problemas das enchentes e inundações quanto para promover melhorias no desenvolvimento econômico da região.

O Projeto de Desassoreamento do Rio Urussanga originou-se de um consórcio entre oito prefeituras que integram os municípios drenados pela BHRU, inseridos nas microrregiões da Associação dos Municípios da Região Carbonífera (AMREC) e Associação dos Municípios da Região de Laguna (AMUREL), e à Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS) através da Secretaria de Desenvolvimento Regional de Criciúma (SDR Criciúma).

Neste trabalho serão apresentados os resultados de obras projetadas para desassoreamento da calha do rio e a recuperação ambiental das áreas de intervenção.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

2.1. Localização

A BHRU localiza-se entre as coordenadas 28° 48' 72" e 28° 26' 19" de Latitude sul e 49° 02' 67" e 49° 24' 94" de longitude oeste, tem como limites geográficos o Compartimento da Serra do Leste Catarinense e os Contrafortes da Serra Geral. A área de estudo do rio Urussanga ocupa uma extensão de 43,05 km, a partir da confluência dos rios Carvão e Maior, município de Urussanga, até a foz na localidade de Barra do Torneiro, localizada na Praia da Esplanada, em Jaguaruna, SC. A Figura 1 ilustra a localização da BHRU.

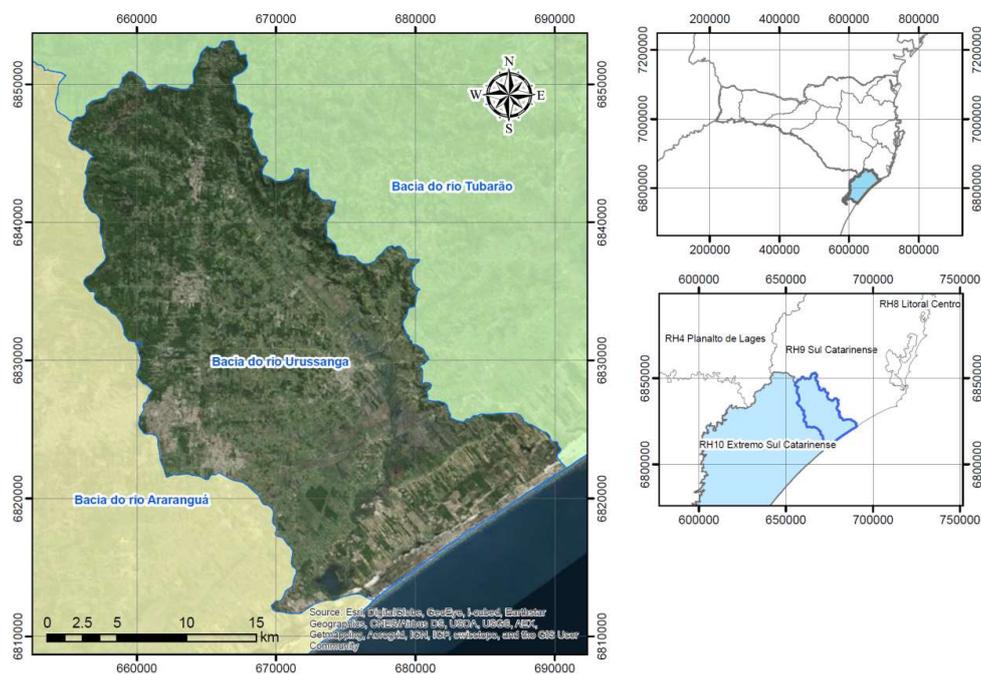


Figura 1. Localização espacial da Bacia Hidrográfica do rio Urussanga.

2.2. Contexto ambiental

Para subsidiar o projeto de desassoreamento do rio Urussanga, foi realizado um diagnóstico ambiental, parte integrante do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) para atender à legislação ambiental em vigor, tanto ao nível da dimensão normativa da legislação federal, quanto das exigências específicas da legislação estadual do estado de Santa Catarina.

A elaboração do EIA exigiu a delimitação das áreas de influência, requisito legal (Resolução CONAMA n. 01/86) para avaliação de impactos ambientais. Foram consideradas três áreas: i) Área de Influência Indireta (AII) - Bacia Hidrográfica do rio Urussanga e a região costeira próxima, situada na desembocadura do rio; ii) Área de Influência Direta (AID) - planície de inundação do rio; iii) Área Diretamente

Afetada (ADA) - calha do rio Urussanga acrescida de sua área de preservação permanente (50 metros).

As principais informações registradas do diagnóstico ambiental permitem mostrar que na bacia do rio Urussanga existe três compartimentos geomorfológicos: Planície Costeira; Serras do Leste Catarinense e Contrafortes da Serra Geral. A planície costeira é representada pela extensa planície aluvionar que preenche a fossa do rio Urussanga, adentrando pelos seus tributários (Figura 2A). Foram identificados diferentes focos de erosão (Figura 2B), que em geral são gerados ou acelerados pela ação do homem sobre as áreas rurais e urbanas. A atividade agrícola demonstrou ser um importante foco de geração de sedimentos, sendo também a principal usuária da malha viária rural. A agricultura é a atividade mais importante sob o ponto de vista do uso do solo e da produção de sedimentos, seja pela falta de práticas conservacionistas (Figura 2C) ou pela erosão provocada por estradas vicinais e extração de argilas (Figura 2D).

Os aspectos vegetacionais permitiram concluir que existe uma intensa descaracterização sob o ponto de vista vegetacional, sendo observados ao longo de toda a extensão da bacia, fragmentos isolados de Floresta Ombrófila Densa. Este isolamento se agrava significativamente nas porções mais baixas da bacia na AID e ADA, onde se observa os terrenos com menor declividade e mais propícios para os usos antrópico (e.g. mineração, pastagens, agroecossistemas).

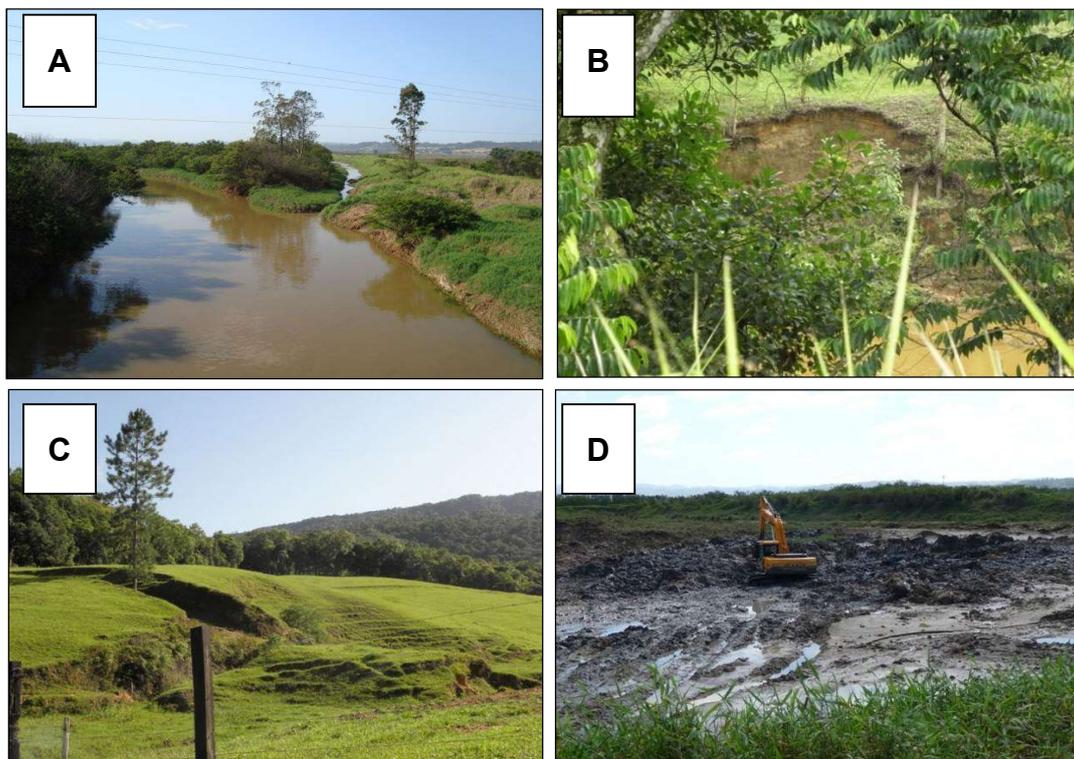


Figura 2. A: Encontro de um contribuinte no rio Urussanga; B: Supressão das matas ciliares para implantação de culturas ou pastagens; C: Plantio com ausência de práticas conservacionistas; D: Lavra de argilas.

No que concerne à fauna foram desenvolvidas atividades que tem como escopo levantar informações sobre as comunidades bióticas presentes nas áreas sob intervenção, sendo que os trabalhos correspondentes contemplaram os ecossistemas aquático e terrestre. Nesse contexto, considerando-se a fauna aquática realizaram-se abordagens pertinentes aos macroinvertebrados bentônicos (insetos aquáticos), conforme preconizados por González (2006) e Kuhlmann *et al.* (2012), sendo que para a ictiofauna (peixes) seguiram-se as indicações propostas por Hayes; Ferreri; Taylor (1983), Hubert; Pope; Dettmers (1983), Malabarba e Reis (1987) e Uieda e Castro (1999). Cabe destacar que as comunidades de macroinvertebrados bentônicos são constituídas por populações de hábitat e hábitos alimentares diversificados, atuando ainda, devido a sua elevada sensibilidade, como excelentes indicadores da qualidade ecológica para toda a biota aquática por viver em situação extrema (KUHLMANN *et al.*, 2012).

Os procedimentos prospectivos concernentes à fauna terrestre estavam em consonância com Cullen Jr. e Rudran (2003), tendo sido contemplados os grupos pertencentes à ornitofauna (aves), mastofauna (mamíferos) e herpetofauna (répteis e anfíbios) com a aplicação do método dos transectos lineares. Em função das especificidades de cada grupo faunístico foram utilizados métodos adicionais à detecção e registros das distintas espécies.

Com relação ao ecossistema aquático, o rio Urussanga caracteriza-se por encontrar-se fortemente afetado pelas atividades antrópicas pretéritas que além de poluir o corpo hídrico, promovem também o seu assoreamento. A ação sinérgica dos diferentes elementos afeta diretamente a biota aquática e sua produtividade. Nesse contexto, percebe-se interferências na composição e no número de indivíduos dos produtores primários e secundários, sendo que tal aspecto pode vir a afetar a produção pesqueira da região.

O sedimento dragado foi caracterizado conforme determina a Resolução n. 344/2004, levando-se em conta as alterações propostas na Resolução n. 454/2012. Estes instrumentos referenciais determinam que o sedimento composto por areia grossa, cascalho ou seixo, em fração igual ou superior a 50% não necessita de estudos complementares para sua caracterização e disposição em água. Para disposição em solo foram consideradas as diretrizes da Resolução n. 420/2009.

Preliminarmente, foram realizadas duas campanhas de amostragem, em quatro trechos ao longo do rio, sendo realizada a caracterização física, química e toxicológica. Os resultados da caracterização física mostraram que o material a ser removido na porção superior (trecho 1) do rio é constituído de areia grossa (84,6%), podendo ser disposto submerso em água e/ou disposição em solo. Nas porções intermediárias (trechos 2 e 3), a classificação granulométrica foi 67,3% de areia grossa (trecho 2), enquanto que no trecho 3 apresentou 28,9% (areia grossa), 34,54% (areia média) e 26,9% (areia fina). Na porção baixa do rio a granulometria do sedimento foi de 77% de silte e argila. A disposição dos sedimentos dos trechos 2, 3 e 4 poderá ser realizada sob o solo, porém apresentam restrição para disposição em água, uma vez que estes podem apresentar toxicidade aos

organismos aquáticos.

Nos últimos anos os problemas enfrentados pelas comunidades situadas nas proximidades do rio Urussanga têm se intensificado em função do acúmulo de sedimentos (assoreamento) na calha do rio. Dentre os principais problemas identificados no levantamento socioeconômico estão às enchentes (67%) - Figuras 3A e B, seguidas da contaminação das águas (33%). No caso das enchentes, os principais danos são: i) inundação de pastagens; ii) bloqueio de rodovias (pavimentadas e não pavimentadas); iii) residências e atividades agrícolas atingidas pelas enchentes.



Figura 3. A: Inundação no rio Urussanga na localidade de São Pedro, Urussanga; B: Inundação ocorrida em Estação Cocal, Morro da Fumaça, verão de 2010.

3. PROJETO DE DESASSOREAMENTO DA CALHA DO RIO URUSSANGA

3.1. Levantamentos geodésico, topográfico e batimétrico

Foi realizado o levantamento geodésico e topográfico (planialtimétrico cadastral) no rio e margens (50 metros), totalizando uma área de 140 ha. Foram implantados doze marcos geodésicos nas margens do rio, locados estrategicamente para servirem de base nos levantamentos topográfico e batimétrico, sendo distribuídos aproximadamente a cada 4 km.

O transporte de coordenadas geodésicas partiu da Rede de Referência do IBGE, tendo como ponto base de saída a Estação Geodésica SAT-91855, localizado na sede da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), município de Criciúma, SC. Os equipamentos utilizados consistiram em: i) um par de receptores GPS Trimble, modelo R6 RTK (Precisão: GPS estático - horizontal 5mm + 0,5ppm, vertical 5mm + 1ppm; Levantamento cinemático horizontal 10mm + 1ppm, vertical 20mm + 1ppm); ii) um par de bastões com tripés; iii) uma câmera fotográfica digital Panasonic FZ 35, modelo Lumix. Adicionalmente, para o pós-processamento, foi utilizado o software Topcon Tools (versão 8.0) ou Trimble Business Center (versão 2.70), e para cálculo da altitude ortométrica o programa MAPGEO 2010 do IBGE (versão 1.0 de junho de 2010). O levantamento topográfico (planialtimétrico e cadastral) e batimétrico estão em consonância às normas da ABNT - NBR

13.133/1994 (ABNT, 1994), tendo como referencial os marcos geodésicos implantados.

3.2. Concepção do projeto de desassoreamento

Em função das características físicas e morfométricas da bacia hidrográfica, aliada a granulometria dos sedimentos, a extensão do rio (43,05 km) foi compartimentada em quatro segmentos onde constam a extensão (em quilômetros) dos trechos que transitarão por processo de intervenção (Figura 4).

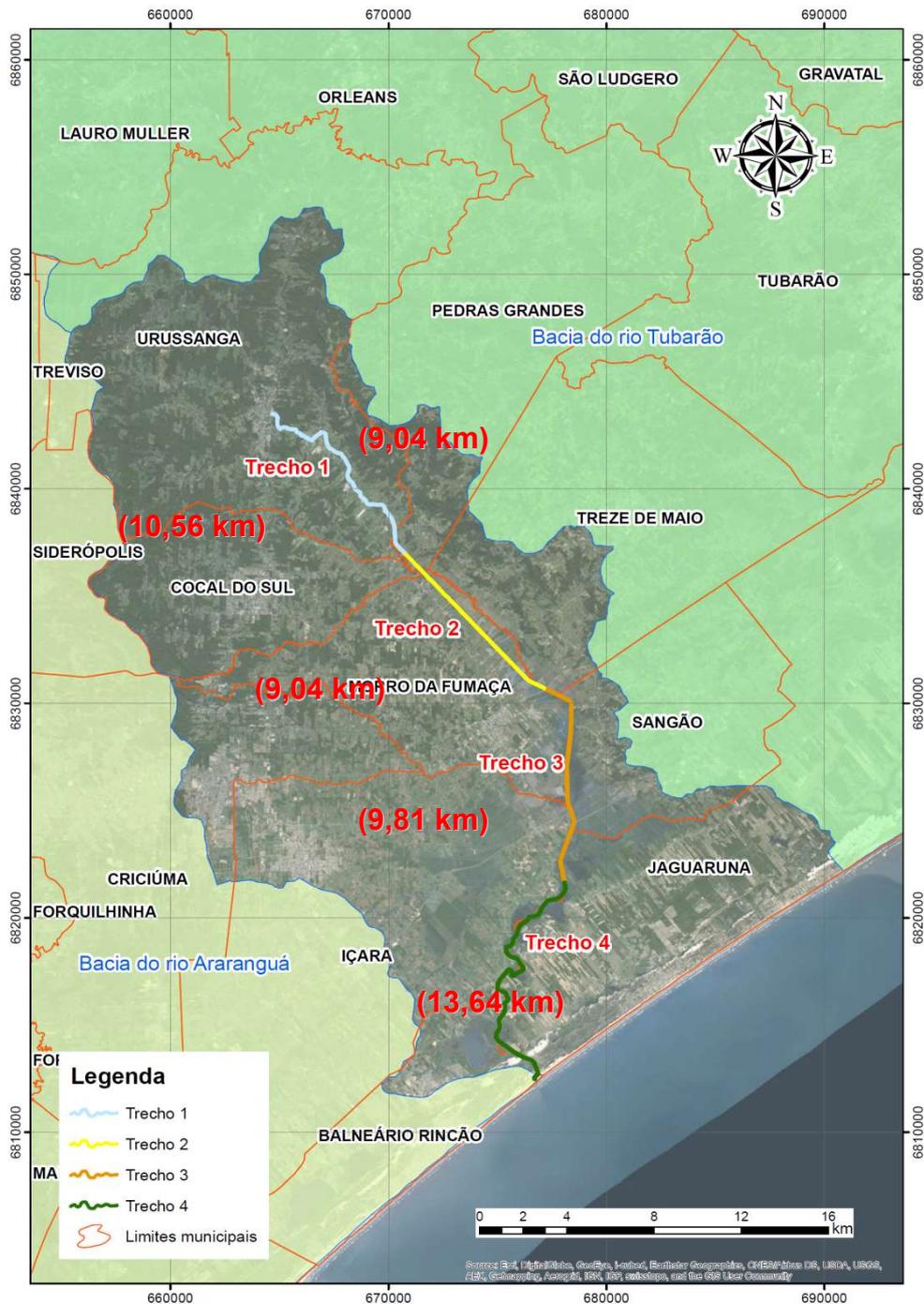


Figura 4. Compartimentação da área de projeto.

Para o detalhamento executivo do projeto foi realizado estudo hidrológico da bacia de contribuição numa área de 631,10 km², utilizando simulações de períodos de retorno de 10, 20 e 50 anos, de modo a avaliar a capacidade de descarga, as características físico-topográficas atuais e o remodelamento das seções para limpeza da calha do rio e melhoria do escoamento superficial. As vazões máximas de projeto em cada trecho foram determinadas pelo Método do Hidrograma Unitário e a distribuição da chuva efetiva pelo Método dos Blocos Alternados (MENEZES-FILHO; COSTA, 2007).

As dimensões mínimas e adotadas das seções transversais com geometria trapezoidal foram dimensionadas em regime permanente uniforme pela equação de Manning, com coeficiente de rugosidade de 0,03 e declividade dos taludes $Z=1,5$ (relação altura/largura de 1/1,5). Também foram verificadas as seções das pontes existentes, e apesar de algumas, não atender exatamente a seção máxima de projeto, não devem apresentar problemas com relação a cheias. A Figura 5 ilustra as cotas atuais do fundo do rio e de projeto dos trechos 1 e 3.

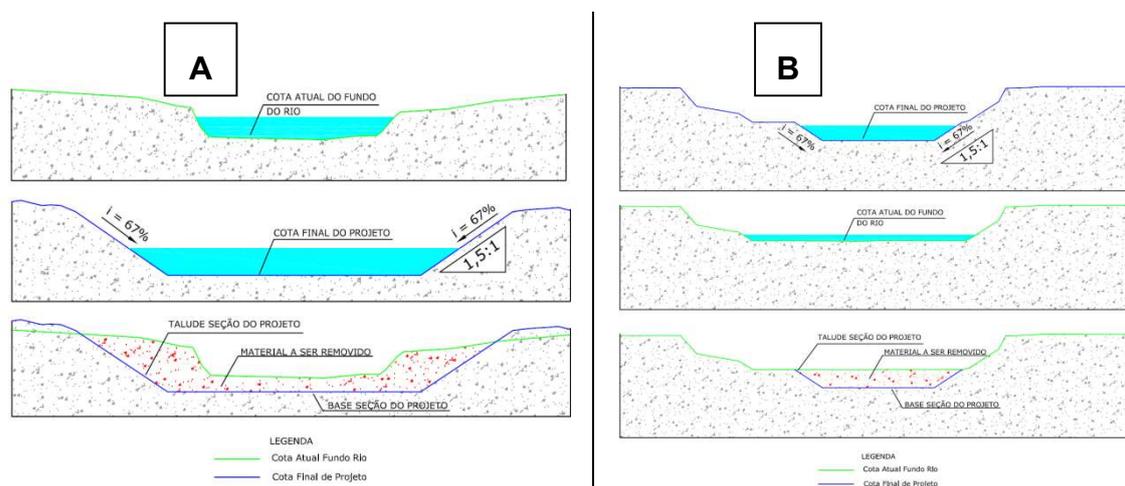


Figura 5. Representação das cotas de fundo e de projeto e seção final (A) Trecho 1 e (B) Trecho 3.

De modo geral, a concepção do projeto de desassoreamento considerou ações a serem desenvolvidas nas etapas de mobilização, operação e desmobilização das obras. Durante a mobilização e operação serão realizadas as seguintes atividades: i) preparação do canteiro de obras; ii) construção de acessos (entrada e saída de maquinários as margens do rio); iii) construção de depósitos temporários (bacias de decantação e utilização de geotubes); iv) remoção dos sedimentos, com a utilização de escavadeira hidráulica, draga de arraste (dragline) e draga de sucção e recalque; v) transporte e disposição dos sedimentos. Nesta etapa os sedimentos dragados com escavadeira hidráulica serão transportados com a utilização de veículos (caminhões) adequados ao transporte deste material, sendo posteriormente depositados às margens do rio Urussanga ou em áreas de bota fora previamente selecionadas. Os sedimentos dragados com a utilização de dragline serão dispostos temporariamente em bacias de decantação para perda de umidade seguida da disposição final nas margens do rio. Os sedimentos dragados com draga de sucção e recalque serão depositados temporariamente em sistema geotube, seguido da disposição final em áreas de bota fora. A etapa de desmobilização implica na adoção de medidas de recuperação ambiental nos sítios utilizados na disposição temporária do material dragado (áreas das bacias de decantação e geotubes) e de deposição permanente (margens do rio e bota fora) dos sedimentos, além do desmonte das vias de acessos construídas.

A definição dos volumes pertinentes ao material dragado considerou no

trecho 1, a profundidade dos bancos de sedimentos, obtida por medição *in loco*, através do próprio levantamento topográfico na parte onde a rocha se encontra exposta no fundo e margem do rio, sendo que nos trechos 2, 3 e 4, as informações correspondentes foram obtidas com a utilização de sonda rotativa instalada nas margens do rio e apoiada ao levantamento topográfico.

Os volumes de sedimentos dragados nos quatro trechos totalizam 2.436.414,41 m³, conforme pode ser verificado na Tabela 1.

Tabela 1. Volume de sedimentos por trecho.

Trecho	Equipamento	Volume (m ³)
1	Escavadeira Hidráulica	100.653,47
2	Dragline	399.541,67
3	Dragline	621.911,70
4	Dragline	1.123.209,82
	Sucção e Recalque	191.097,75
Total		2.436.414,41

3.3. Medidas de recuperação ambiental

A recuperação dos acessos e bacias de decantação (depósitos temporários), das áreas de depósitos definitivos (bota fora) e junto às margens do rio, correspondem às medidas para minimizar a magnitude dos impactos negativos gerados em função da obra de desassoreamento. Considerando os resultados obtidos, estão previstos a recuperação de 206,01 ha, sendo 5,63 ha em áreas de bota fora, 14,86 ha de acessos e 185,52 ha nas margens do rio, pertinente a Área de Preservação Permanente (APP).

A construção de solos em projetos de reabilitação de áreas degradadas depende das características de degradação presentes na área; das características dos solos no entorno da área degradada, que servem de parâmetro para a recomposição do uso futuro pretendido e da vegetação a ser introduzida. Por definição o solo construído corresponde à camada de materiais argilosos não compactados, depositados na superfície de toda área a ser reabilitada, à qual são adicionados insumos para a correção da acidez e melhoria dos níveis de fertilidade. Tem por função dar sustentação física e química à vegetação a ser implantada.

Os locais definidos no projeto de desassoreamento para disposição final dos sedimentos (depósitos definitivos e temporários e margens do rio) dragados servirão como base para correção do sedimento *in situ* visando à implantação da cobertura vegetal (e.g. espécies herbáceas e arbóreas). A correção do sedimento consiste na aplicação de insumos agrícolas (e.g. calcário, cama de aviário e fertilizante químico - NPK) servindo como base à introdução de espécies herbáceas (e.g. gramíneas e leguminosas). No que concerne às espécies arbóreas estas serão distribuídas diretamente em covas, onde previamente deverão ser adicionados materiais argilosos não compactados provenientes das camadas subsuperficiais

dos solos, horizontes B (HB) oriundas de jazidas de empréstimo, adicionando-se ainda insumos para a correção de acidez e melhoria dos níveis de fertilidade química e física do solo.

Nas áreas de acessos construídos, estes deverão ser recuperados através de procedimentos de descompactação do solo, incorporação de insumos e introdução de cobertura vegetal.

A implantação de cobertura vegetal para recomposição da mata ciliar junto às áreas de deposição permanente dos sedimentos dragados no rio Urussanga considerou a utilização de espécies herbáceas (e.g. gramíneas e leguminosas) associadas a espécies arbóreas (e.g. pioneiras, secundárias iniciais, tardias e climácicas). Foi indicada ainda a instalação de poleiros artificiais (Figura 6) que tem como objetivo atrair a avifauna presente nos remanescentes florestais dispostos nas áreas adjacentes. Tal procedimento possibilitará a dispersão de propágulos (e.g. frutos, sementes) nos trechos que transitaram por intervenções (e.g. construção de vias de acesso; alargamento das margens do rio), intensificando assim os processos relacionados à introdução de espécies vegetais nos sítios recuperados.

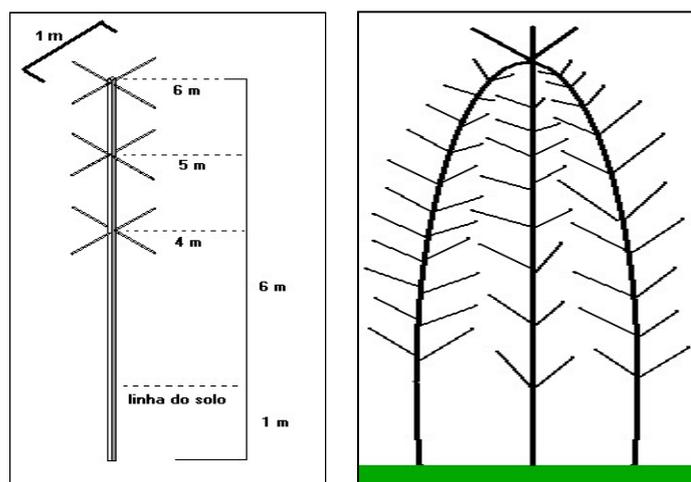


Figura 6. Exemplos de poleiros artificiais a serem utilizados nas áreas marginais do rio Urussanga, adaptado de Melo (1997).

Tendo em vista a ocorrência de prejuízos a evolução da cobertura vegetal implantada, faz-se necessário o isolamento das áreas de intervenção. É importante salientar que a recuperação ambiental é um processo lento que necessita de muitos anos para que a comunidade possa estabelecer novamente o equilíbrio ambiental. A Figura 7A mostra um modelo construtivo do processo de dragagem e disposição dos sedimentos em depósitos temporários (bacias de decantação) junto as margens do rio Urussanga, enquanto a Figura 7B a recuperação ambiental da mata ciliar.

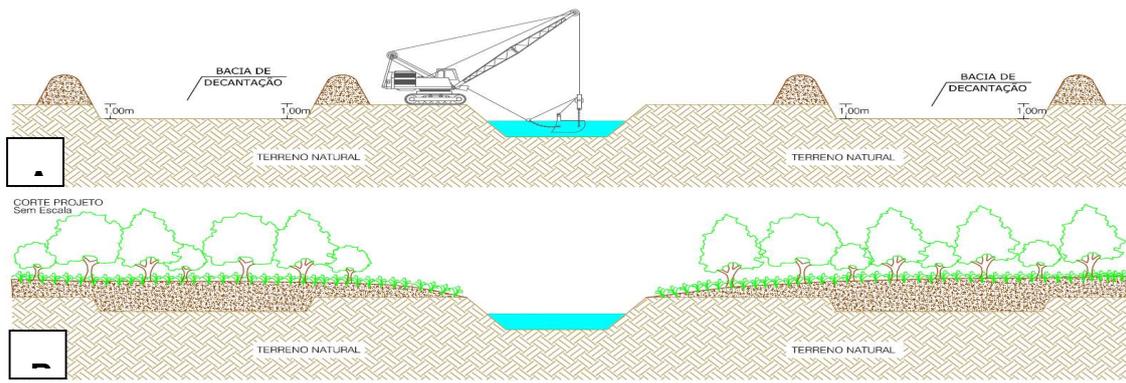


Figura 7. Modelo construtivo. A) processo de dragagem de sedimentos com equipamento dragline; B) recuperação ambiental das margens do rio.

4. CONCLUSÕES

A execução da obra de desassoreamento do rio Urussanga, faz prever uma dinamização da economia municipal. As melhorias serão percebidas principalmente nos segmentos agropastoril (rizicultura, pastagem), industrial (cerâmica vermelha), mineração (extração argilas e areia) e atividades ribeirinhas, com reflexo no aumento da receita dos proprietários e dos municípios da região (arrecadação de impostos). Em termos de aspectos econômicos e sociais, o panorama tendencial, representa mudanças positivas, havendo redução dos problemas relacionados às inundações.

Embora o desassoreamento atenua a elevação das cotas de cheias, não resolve a totalidade dos alagamentos, uma vez que o fundo do rio apresenta cotas (altitude) negativas a partir das proximidades da BR 101, se comparado ao nível médio dos mares. Mesmo assim, o projeto trará benefícios como: i) redução dos problemas relacionados às cheias e enchentes; ii) recuperação das áreas de preservação permanente ao longo das áreas de intervenção; iii) melhoria da qualidade ambiental do rio e suas margens; entre outros. Por outro lado, mesmo que o desassoreamento traga benefícios sociais e econômicos à região, proporcionando uma sensível melhora na qualidade ambiental, não exime os demais setores econômicos da sociedade da obrigação e responsabilidade no que se refere à gestão das águas e do território da bacia.

Este projeto corresponde aos resultados de campo e escritório, envolvendo uma equipe multidisciplinar, nas áreas de engenharia, geologia, biologia, hidrologia, química, entre outras áreas do conhecimento. Foram realizados levantamentos topográficos e batimétricos, cubagem de sedimentos, análises químicas da água superficial e de sedimentos, flora, fauna, arqueologia, levantamentos geológico, geomorfológico, hidrológico, climatológico e solos, além de entrevistas com os moradores e avaliação dos impactos ambientais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao consórcio das prefeituras municipais que integram a bacia do rio Urussanga pelo custeio de recursos e à Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS) através da Secretaria de Desenvolvimento Regional de Criciúma (SDR Criciúma) pelo suporte oferecido.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDRE, N. Z. **Análise integrada da qualidade das águas da Bacia do rio Araranguá**. 2000. 300 f. Dissertação (Mestrado Curso de Geografia) Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/78362>>. Acesso em: 26 jun. 2017.
- BRASIL. Resolução nº 344, de 25 de março de 2004. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 07 maio 2004. n. 87, p. 56-57. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=445>>. Acesso em: 26 jun. 2017.
- BRASIL. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 18 mar. 2005. n. 53, p. 58-63. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2017.
- BRASIL. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 30 dez. 2009. n. 249, p. 81-84. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em: 26 jun. 2017.
- BRASIL. Resolução nº 454, de 1 de novembro de 2012. Estabelece diretrizes gerais os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 8 nov. 2012. n. 216, Seção 1, p. 66-66. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=693>>. Acesso em:

26 jun. 2017.

CULLEN-JR., L.; RUDRAN, R. 2003. Transectos lineares na estimativa de densidade de mamíferos e aves de médio e grande porte, p.169-179. In: CULLEN-JR., L.; RUDRAN, R.; VALLADARES-PADUA, C. (Eds.). **Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre**. Curitiba, Editora UFPR e Fundação o Boticário de Proteção à Natureza, 667p.

GONZÁLEZ, A. R. **Ecología: métodos de muestreo y análisis de poblaciones y comunidades**. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2006. 271 p.

HAYES, D. B.; FERRERI, C. P.; TAYLOR, W. W. Active fish capture methods. In: NIELSEN, L. A.; JOHNSON, D. L. (Eds.). **Fisheries techniques**. Maryland: American Fisheries Society, 1983. Cap. 7. p. 123-145.

HUBERT, W. A.; POPE, K. L.; DETTMERS, J. M. Passive Capture Techniques. In: NIELSEN, L. A.; JOHNSON, D. L. (Ed.). **Fisheries Techniques**. Maryland: American Fisheries Society, 1983. Cap. 6. p. 95-122.

KUHLMANN, M. L. et al. **Protocolo para o biomonitoramento com as comunidades bentônicas de rios e reservatórios do estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2012. 113 p. Disponível em: <<http://laboratorios.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/47/2015/01/protocolo-biomonitoramento-2012.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2017.

MALABARBA, L. R.; REIS, R. E. **Manual de técnicas para a preparação de coleções zoológicas: 36. Peixes**. Campinas: Sociedade Brasileira de Zoologia, 1987. 14 p.

MENEZES-FILHO, F. C. M.; COSTA, A. R. **Aplicação do método dos blocos alternados e da Convolução de hidrogramas para determinação de Escoamento superficial direto - ESD**. I Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Centro-Oeste. Cuiabá, 2007.

MELO, V. A. **Poleiros artificiais e dispersão de sementes por aves em uma área de reflorestamento, no estado de Minas Gerais**. 1997. 39 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997. Disponível em: <<http://www.ipef.br/servicos/teses/arquivos/melo,va.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2017.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. **Bacias hidrográficas de Santa Catarina: Diagnóstico Geral**. Florianópolis, 1997. 169p.

UEIDA, V. S.; CASTRO, R. M. C. Coleta e fixação de peixes de riachos. **Oecologia**

Brasiliensis, Rio de Janeiro, v. 6, n. 1, p.1-22, 1999. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2885941.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2017.

ABSTRACT: In the river improvement of Urussanga river, aiming to reduce the impacts associated with heavy rains and consequent flooding of areas more susceptible to the effects of flooding, are planned a series of activities related to its dredging, which is performed selectively to an extent of 43,5 km. The chemical analysis of water and sediment, characterization/classification and the disposal of dredged material are in line with Resolutions CONAMA 344/2004, 357/2005, 420/2009, 430/2011 and 454/2012. With the recovery of the different stretches of the river Urussanga, it is expected, in addition to environmental improvements and increase in the collection of municipal taxes, the economic revitalization of the entire macro-region, notably with regard to industrial activities, mining and agroforestry, as well social benefits to the communities that using or living near to the water body.

KEYWORDS: Dredging; Inundation; Sediment; Environmental recovery.

CAPÍTULO XIII

METODOLOGIA DE AMOSTRAGEM E CARACTERIZAÇÃO DO SEDIMENTO DO RIO URUSSANGA-SC PARA FINS DE DEPOSIÇÃO

**Nadja Zim Alexandre
Carlyle Torres Bezerra de Menezes
Gustavo Simão
Jader Lima Pereira
Sérgio Luciano Galatto**

METODOLOGIA DE AMOSTRAGEM E CARACTERIZAÇÃO DO SEDIMENTO DO RIO URUSSANGA-SC PARA FINS DE DEPOSIÇÃO

Nadja Zim Alexandre

Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC
Criciúma-Santa Catarina

Carlyle Torres Bezerra de Menezes

Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC
Criciúma-Santa Catarina

Gustavo Simão

Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC
Criciúma-Santa Catarina

Jader Lima Pereira

Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC
Criciúma-Santa Catarina

Sérgio Luciano Galatto

Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC
Criciúma-Santa Catarina

RESUMO: Nos processos relacionados ao desassoreamento do rio Urussanga - SC., foi realizada a caracterização do sedimento em consonância à Resolução CONAMA nº. 454/2012, determinando-se assim, as ações necessárias à sua disposição final. Nesse contexto, o material a ser removido nos trechos superiores, constituídos de areia com granulometria mais grossa não necessitariam de maiores detalhamentos para definição de sua destinação, uma vez que a interação deste material com o ambiente é reduzida. Por sua vez, o sedimento removido no trecho intermediário e do baixo rio Urussanga inspiram cuidados adicionais, caso se tenha a opção de depositá-los em água, uma vez que estes apresentam toxicidade à biota aquática. Para conhecimento e utilização de estratégias posteriores, procedeu-se a caracterização química do material com o escopo de identificar a melhor alternativa de disposição final. O material a ser dragado foi amostrado utilizando-se draga Birge-Ekman. Os resultados das amostras compostas foram comparados com a Tabela III da Resolução CONAMA nº 454/2012 objetivando determinar se o material é compatível com a disposição em águas (submerso) e com a Resolução CONAMA nº. 420/2009 para avaliar a possibilidade de disposição em solo. Os demais indicadores de qualidade ambiental, incluindo os resultados dos HPAs (Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos) estão posicionados abaixo dos limites estabelecidos como Nível 1. A única exceção está relacionada à amostra obtida no segmento amostral localizado no município de Morro da Fumaça, cuja concentração de cromo no sedimento acusou 38 mg.kg⁻¹, quando o limite estabelecido para Nível 1 (água doce) é de 37,3 mg.kg⁻¹.

PALAVRAS-CHAVE: Sedimentos, Deposição Subaquática, CONAMA nº 454/2012.

1. INTRODUÇÃO

O material que se deposita no fundo de um corpo hídrico, seja ele um rio ou um lago, possui a capacidade de acumular compostos, fazendo deste compartimento ambiental um dos mais importantes na avaliação do nível de contaminação dos ecossistemas aquáticos. A importância das abordagens integradas de análises físicas, químicas e biológicas reflete em dados mais adequados sobre a toxicidade do ambiente. Além disso, os sedimentos podem agir como possíveis fontes de poluição, como exemplo, elementos-traço, os quais não são permanentemente fixados nos sedimentos, podendo ser novamente disponibilizados para a coluna de água, através de variações nas condições ambientais tais como mudanças de pH e de potencial redox. Para se ter uma correta interpretação das quantidades de elementos-traço presentes nos sedimentos de fundo de um corpo d'água devem-se distinguir os processos de origem natural, como geológicos, biológicos ou hidrológicos, daqueles de ação antrópica (WETZEL *et al.*, 1983 *apud* RESTREPO, 2007).

Wetzel *et al.*, (1983) utiliza o compartimento de fundo para mostrar a qualidade corrente do sistema aquático, utilizando o sedimento para detectar a presença de contaminantes que não permanecem solúveis após seu lançamento em águas superficiais. Além disso, o autor afirma que o sedimento age como um carreador e provável fonte de poluentes, uma vez que os metais não são permanentemente fixados por ele, e podem ser ressolubilizados para a água por mudanças nas condições ambientais e/ou antrópicas.

Este autor ainda esclarece que o sedimento constitui uma fase mineralógica com partículas de tamanhos, formas e composição química distinta. Esses materiais, em sua maioria, são depositados nos rios, lagos e reservatórios durante muitos anos. Processos biogeoquímicos controlam o acúmulo e a redistribuição das espécies químicas. Outro fator que influencia a absorção e a retenção de contaminantes na superfície das partículas são o tamanho da partícula. A tendência observada é a de que quando a granulometria do sedimento diminui, as concentrações de nutrientes e contaminantes aumentam. Esta tendência é derivada do fato de que pequenas partículas tem grandes áreas de superfície para a absorção por contaminantes (BEVILACQUA, 1996).

As propriedades de acúmulo e de redistribuição de espécies no sedimento o qualifica como um compartimento importante nos estudos de impacto ambiental, pois registram em caráter mais permanente, os efeitos da contaminação (BEVILACQUA, 1996).

No Brasil a regulamentação sobre caracterização e disposição de sedimento de dragagem é ditada pela Resolução CONAMA nº. 454/2012 (BRASIL, 2012), que estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras. Os critérios e limites estabelecidos pela resolução basearam-se nos valores do Guia Canadense de Qualidade de Sedimentos para Proteção da Vida Aquática, elaborado pelo Conselho de Ministros de Meio Ambiente do Canadá (CCME, 1999, atualizado em 2002). O

critério canadense utiliza TEL e PEL, enquanto que a Resolução CONAMA n.º. 454/2012, referencia esses critérios como Nível 1 e Nível 2, respectivamente.

Este documento trata da disposição de sedimentos que sofrerão processo de dragagem, e estabelece as concentrações de contaminantes a partir das quais se prevê baixa (Nível 1) ou alta (Nível 2) probabilidade de efeitos tóxicos à biota quando se trata de ambientes de água doce, assim como baixa (Nível 3) ou alta (Nível 4) probabilidade de efeitos tóxicos à biota de ambientes estuarinos ou marinhos.

Segundo Castilhos *et. al.*, (2010) e orientação da Environmental Canada (CCME, 2002) para teores de metais pesados em sedimentos é baseada na toxicidade destes contaminantes para a biota bentônica. Ainda de acordo com legislação canadense, em decorrência da complexa composição química e mineralógica dos sedimentos fluviais e das suas inter-relações com o substrato aquoso, o mais prudente para efeitos de diagnóstico ambiental é a associação de aspectos sedimentológicos e geoquímicos e bioindicadores aquáticos. Sendo assim, as concentrações de referência de Environmental Canada (2002) e da Resolução CONAMA n.º. 454/2012 foram determinadas de acordo com ensaios ecotoxicológicos em sedimentos de água doce enriquecidos de substâncias-teste, utilizando organismos bentônicos.

O artigo 10 da Resolução CONAMA n.º. 454/2012, após a caracterização química do material a ser dragado, deverá ser realizada a sua classificação química objetivando a possibilidade de disposição do material em solo ou em águas de jurisdição nacional (AJN). Para os casos de disposição em solo, os resultados analíticos são comparados com o que estabelece a Resolução CONAMA n.º 420/2009; enquanto que para deposição em AJN utiliza-se como referência os valores orientadores da Tabela III da Resolução CONAMA n.º. 454/2012.

O Projeto de Desassoreamento do Rio Urussanga originou-se de um consórcio entre oito prefeituras que integram os municípios drenados pela Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga (BHRU), inseridos nas microrregiões da Associação dos Municípios da Região Carbonífera (AMREC) e Associação dos Municípios da Região de Laguna (AMUREL), e à Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS) através da Secretaria de Desenvolvimento Regional de Criciúma (SDR Criciúma). Com objetivo de assegurar que o transporte e disposição dos sedimentos provenientes do desassoreamento do rio Urussanga ocorram de maneira segura no aspecto ambiental foi realizada a amostragem e caracterização do material dragado. Neste trabalho são apresentadas as metodologias de amostragem e de classificação do sedimento realizado para o projeto e em conformidade com o Conama n.º 454/2012.

A BHRU localiza-se entre as coordenadas 28° 48' 72" e 28° 26' 19" de Latitude sul e 49° 02' 67" e 49° 24' 94" de longitude oeste, tem como limites geográficos o Compartimento da Serra do Leste Catarinense e os Contrafortes da Serra Geral. Ocupa uma extensão de 43,5 km, a partir da confluência dos rios Carvão e Maior, município de Urussanga, até a foz na localidade de Barra do Torneiro, localizada na Praia da Esplanada, em Jaguaruna, SC. A Figura 1 ilustra a

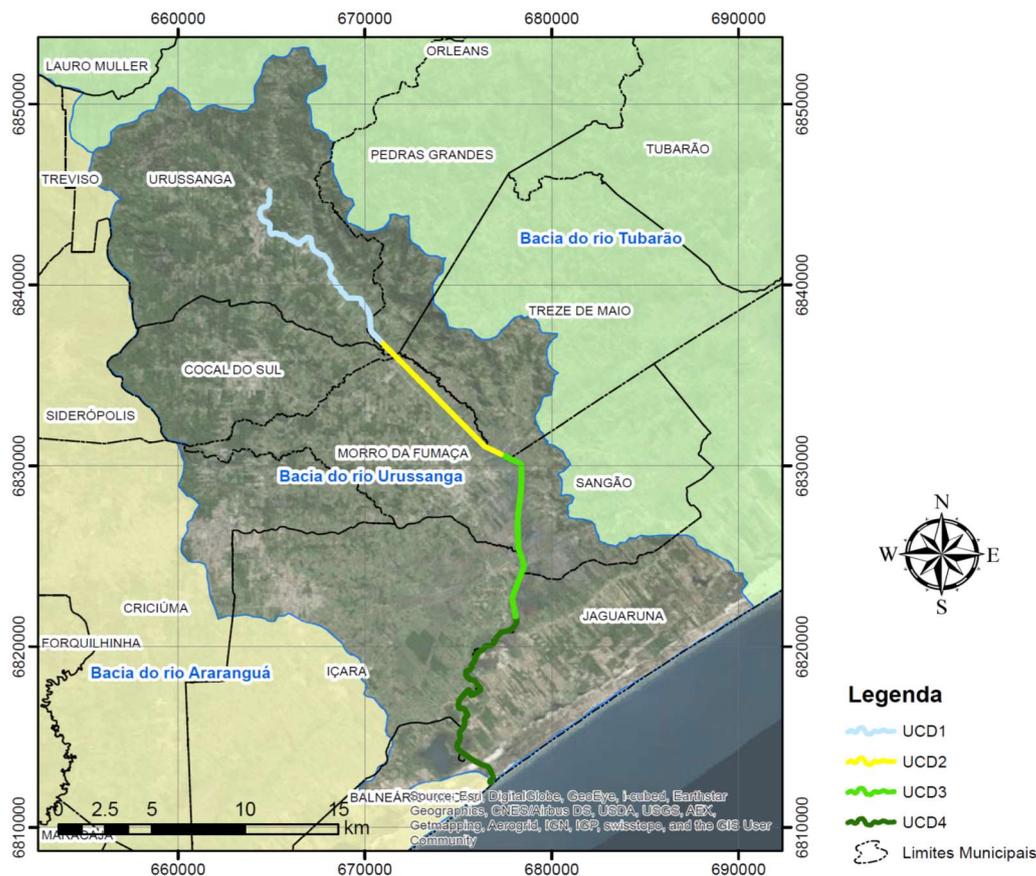


Figura 26. Distribuição das Unidades de Caracterização de Dragagem (UCD) no canal principal do rio Urussanga, SC. Fonte: IPAT/UNESC, 2014.

No primeiro trecho do canal principal (UCD1) a amostra foi composta por 17 alíquotas obtidas ao longo de 12 km. Na UCD2 obteve-se 11 alíquotas num trecho de 7 km; enquanto que na UCD3 foram obtidas 11 alíquotas; enquanto que no trecho inferior do canal (UCD4) obteve-se 12 alíquotas numa extensão de aproximadamente 6,5 km. No laboratório as várias alíquotas que compõe as amostras compostas das quatro UCDs, foram homogêneas e quarteadas até se obter uma quantidade suficiente para as análises gravimétricas e laboratoriais representativas do sedimento a ser dragado em cada UCD. A homogeneização foi realizada de forma a evitar a descaracterização da granulometria da amostra, ou seja, distribuindo-se o total de alíquotas de cada UCD sobre uma lona e homogeneizando-se o material com auxílio de pás e enxadas (cuidadosamente, para não alterar a granulometria original), descartando-se $\frac{3}{4}$ do volume original. As amostras compostas de cada UCD foram secas a 65°C em estufa com tiragem forçada de ar.

2.2. Metodologia de Classificação

As amostras compostas foram caracterizadas de acordo com a Resolução CONAMA n°. 454/2012. Este instrumento determina que o sedimento composto por areia grossa, cascalho ou seixo em fração igual ou superior a 50% não necessita de estudos complementares para sua caracterização quando se tem por objetivo a deposição submersa. Para avaliar a possibilidade de disposição em solo, utilizou-se a resolução CONAMA n°. 420/2009.

Realizou-se o ensaio granulométrico via úmido nas amostras compostas (Tabela II da Resolução CONAMA n° 454/2012) e independentemente do resultado, procedeu-se a caracterização química e ecotoxicológica. A análise química foi realizada na fração total da amostra. A metodologia analítica para a extração dos metais das amostras consistiu no ataque com ácido nítrico concentrado e aquecimento por microondas, conforme descrito em SW 846-3050. Os resultados foram expressos em base seca a 65°C, com exceção do pH e potencial redox que foram medidos na amostra “in natura” e no campo. O Oxigênio Dissolvido (OD) foi mensurado na água intersticial da amostra também em campo. A Tabela 1 indica os parâmetros analisados bem como o método analítico utilizado pelo laboratório.

Tabela 1. Parâmetros analisados nos sedimentos e seus respectivos métodos analíticos.

Parâmetro	Método Analítico
As, Cd e Ni	Espectrofotometria Absorção Atômica (Forno de Grafite)
Pb, Cu, Cr, Mn, Zn, Al e Fe	Espectrofotometria Absorção Atômica (Chama)
Mercúrio (Hg)	Espectrofotometria Absorção Atômica (Vapor Frio)
Nitrogênio Total (%)	Titulométrica Kjeldahl
Matéria Orgânica (%)	Titulométrica K ₂ Cr ₂ O ₇
Fósforo Total (P)	Gravimétrico Quimociac
HPA	EPA 8310:LC/FU
PCB Total	EPA 8082 ^a - CG/EM
Organoclorados	8081 ^a - CG/EM

Os resultados laboratoriais foram comparados aos valores de referência listados nas Tabelas III e IV da Resolução CONAMA n°. 454/2012. Esta resolução determina que a avaliação ecotoxicológica seja realizada em complementação à caracterização física e química nas amostras que apresentarem algum parâmetro fora dos padrões apresentados pela legislação. Optou-se pela realização de análises ecotoxicológicas em todas as estações amostrais.

Os ensaios ecotoxicológicos foram realizados na fração solubilizada obtida de acordo com a NBR-12713 (ABNT, 2009), que consiste em expor indivíduos neonatos (2 a 26 horas) do microcrustáceo dulcícola *Daphnia magna* a diferentes diluições do agente-teste por um período de 48 horas, onde o efeito agudo é determinado através da imobilidade dos organismos. Cada solução teste recebeu 10 indivíduos, em duplicata, totalizando 20 indivíduos e mais o grupo controle com

água de diluição. Para este teste optou-se pela utilização de balões de 50 mL no preparo das diluições. O resultado da análise é dado em FT - Fator de Toxicidade, que indica quantas vezes a amostra foi diluída com água controle.

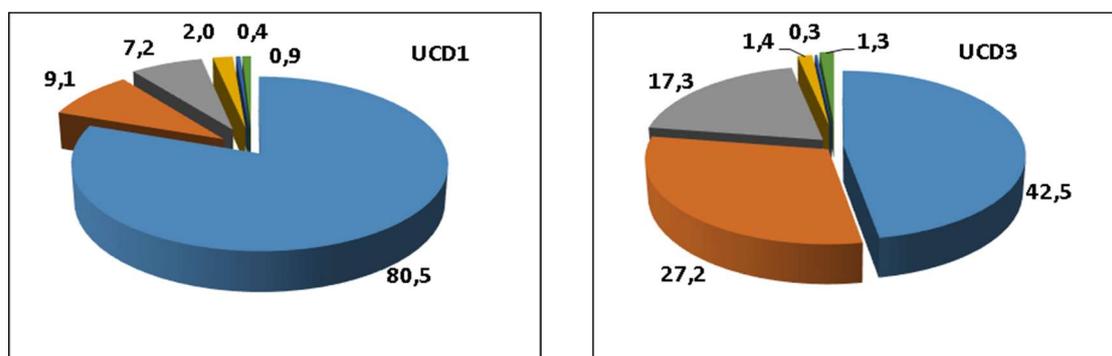
3. CARACTERÍSTICAS DO SEDIMENTO DA CALHA DO RIO URUSSANGA

Os resultados do ensaio granulométrico para as amostras compostas, obtidas nas quatro UCD do rio Urussanga são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados do ensaio granulométrico por UCD do rio Urussanga.

Peneiras		% Retido por Ponto de Amostragem			
(mm)	(Mesh)	UCD1	UCD2	UCD3	UCD4
2,00	10	42,43	29,33	10,10	2,21
1,00	16	23,77	25,27	6,37	7,42
0,50	32	14,25	32,18	26,05	19,83
0,25	60	9,07	9,45	27,22	47,42
0,125	115	7,18	2,71	17,33	17,42
0,062	250	1,99	0,66	1,35	0,85
0,025	500	0,44	0,11	0,26	0,55
Fundo		0,87	0,29	1,32	0,43

A análise granulométrica da UCD3 demonstra que o sedimento do rio Urussanga neste trecho é composto de 80,4% de areia, sendo que 42,5% se constituem de areia grossa. Diferente das amostras obtidas na UCD1 e UCD2, localizadas a montante, o sedimento obtido na UCD3 é composto por material mais fino e necessita de estudos complementares para sua caracterização, caso se deseje realizar a deposição subaquática do material. Na UCD4 que caracteriza o baixo rio Urussanga, na localidade de Urussanga Velha, o material é composto por 95,2% de areia, sendo que 65,7% se constituem de areia média a muito fina. Desta forma, o sedimento nesta área mais baixa do rio necessita de estudos complementares para fins de caracterização. A Figura 3 mostra a distribuição granulométrica nas estações amostrais localizadas ao longo do canal do rio Urussanga.



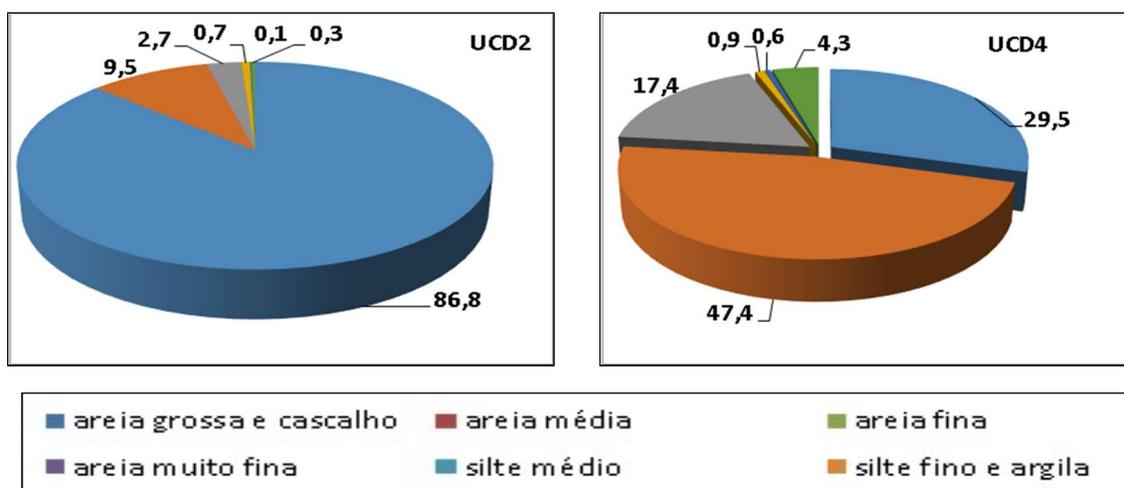


Figura 3. Distribuição granulométrica do sedimento nas Unidades de Caracterização de Dragagem (UCD) no canal principal do rio Urussanga, SC.

A caracterização físico-química e ecotoxicológica do sedimento do rio Urussanga foi realizada no material coletado nas quatro estações amostrais. No instante da coleta foram avaliadas algumas características da água intersticial do sedimento referente ao último ponto de amostragem simples da região amostral.

Os resultados apontaram valores de pH variando entre 5,01 a 6,13; potencial de oxi-redução entre -218,6 a 425,8 mV; oxigênio dissolvido entre 1,4 e 5,7 mg.L⁻¹ e salinidade entre 0,1 a 0,6 partes por mil. Os trechos compreendidos pela UCD1 e UCD2 registraram ambiente com maior potencial de oxidação. A medida de salinidade do trecho compreendido entre UCD1 e UCD3 caracteriza água doce; enquanto que na UCD4 (baixo rio Urussanga) é de condição estuarina (superior a 5‰). Desta forma, na UCD4 os resultados dos ensaios físico-químicos foram comparados aos limites fixados para sedimento de água salobra. A Tabela 3 apresenta as características físico-químicas do sedimento nas quatro UCDs do rio Urussanga.

Tabela 3. Características físico-químicas do sedimento do rio Urussanga.

Indicadores de Qualidade	Estação Amostral			
	UCD1 (mg.kg ⁻¹)	UCD2 (mg.kg ⁻¹)	UCD3 (mg.kg ⁻¹)	UCD4 (mg.kg ⁻¹)
Alumínio	2,82	2,25	2,26	3,46
Ferro	39,83	33,70	38,64	36,81
Arsênio	6,0	3,8	2,7	4,3
Cádmio	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Chumbo	9,0	5,0	6,0	7,0
Cobre	16	12	12	11
Cromo	35	35	38	34
Manganês	38	37	42	17
Mercúrio	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Níquel	4,2	4,1	4,7	2,6
Zinco	19	14	9	19
Nitrogênio	3500	800	500	600
Fósforo	nd	nd	nd	2700

Indicadores de Qualidade	Estação Amostral			
	UCD1 (mg.kg ⁻¹)	UCD2 (mg.kg ⁻¹)	UCD3 (mg.kg ⁻¹)	UCD4 (mg.kg ⁻¹)
Matéria Orgânica	58000	11000	36000	7200
Carbono Orgânico	34000	6000	21000	42000

Comparando-se os resultados obtidos com os valores fixados pela resolução CONAMA n°. 454/2012 que avalia a possibilidade de deposição subaquática do sedimento, verifica-se que o trecho inicial do rio Urussanga (UCD1) apresenta concentração de arsênio acima do limite estabelecido para sedimento de água doce nível 1 (limiar abaixo do qual se prevê baixa probabilidade de efeitos adversos à biota); e abaixo do estabelecido pelo nível 2 que representa o limiar acima do qual se prevê um provável efeito adverso à biota.

Na amostra do trecho intermediário UCD3 (município de Morro da Fumaça), a concentração de cromo no sedimento acusou 38 mg.kg⁻¹ quando o limite estabelecido para Nível 1 (água doce) é de 37,3 mg.kg⁻¹. Em todo o canal do rio, os demais indicadores de qualidade incluindo os HPAs (Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos) se encontram abaixo dos limites estabelecidos como Nível 1.

No que se refere à concentração de matéria orgânica e nutrientes observou-se concentração acima do valor de alerta para fósforo na amostra da UCD4, que representa as condições do sedimento no estuário do rio Urussanga. O valor de alerta é o valor acima do qual representa possibilidade de causar prejuízos ao ambiente na área de disposição. Segundo o CONAMA n° 454/2012, ficam excluídos de comparação com a presente caracterização, os valores oriundos de ambientes naturalmente enriquecidos por matéria orgânica e nutrientes, como manguezais. Neste caso, ressalta-se que esta amostra representa o estuário do rio Urussanga, ambiente naturalmente enriquecido por matéria orgânica e nutriente.

Neste sentido, o art. 4º esclarece que a determinação da concentração de matéria orgânica e de nutrientes serve para subsidiar o acompanhamento do processo de eutrofização em áreas de disposição sujeitas a esse processo, sendo que os valores de alerta estabelecidos na Tabela IV da Resolução CONAMA não são utilizados para classificação do material a ser dragado, mas tão somente como fator contribuinte para o gerenciamento da área de disposição.

As amostras de sedimento também foram submetidas ao ensaio de ecotoxicidade aguda utilizando como bioindicador *Daphnia magna*. O CONAMA estabelece que a caracterização ecotoxicológica deve ser realizada em complementação à caracterização física e química, com a finalidade de avaliar os impactos potenciais à vida aquática, no local proposto para a disposição do material dragado. A análise foi realizada no elutriato do sedimento. Para a interpretação dos resultados, os ensaios ecotoxicológicos deverão ser acompanhados da determinação de nitrogênio, na fração aquosa, bem como dos dados referentes ao pH, temperatura, salinidade e oxigênio dissolvido.

Os resultados apontam um Fator de Toxicidade (FT) de 3 para a estação UCD1; 2 para as estações UCD2 e UCD3; e 12 para a estação UCD4. Este último provavelmente deve estar relacionado à biodisponibilidade dos contaminantes

residuais no sedimento ocorrer em função dos processos de oxi-redução (Eh), variação no pH, presença de organismos aquáticos e por fatores físico-químicos. Dentre os fatores físicos a granulometria encontrada nesse ponto pode ter colaborado para a maior disponibilidade de contaminantes e a consequente toxicidade do sedimento. O fato dos metais chegarem aos sedimentos adsorvidos no material em suspensão não significa necessariamente a sua imobilização.

4. CONCLUSÕES

Os processos dinâmicos de adsorção e dessorção no sedimento são influenciados pelas mudanças físicas e químicas, podendo ser mobilizados e voltar à coluna de água. Na cabeceira do rio Urussanga, logo após receber a descarga dos seus primeiros afluentes, rio Maior e rio Carvão, em declividades maiores, o leito é constituído predominantemente por seixos e cascalhos, resultado da alta energia potencial hídrica que carrega partículas de granulometria maiores. À medida que o rio amadurece, os relevos vão ficando mais planos e a energia potencial menor, a granulometria do material depositado no fundo é cada vez mais fina, como no caso UCD4. Ao atingir a região costeira, no seu estuário, a baixa energia hidrodinâmica faz com que haja a presença de material muito fino. Com a energia das ondas, a tendência do material é se dispersar e atingir grandes profundidades mar adentro. A mistura entre a água doce e salgada gera processos químicos de sedimentação, que são a floculação em partículas maiores, e a coagulação para coloides.

Como os estuários são formações costeiras que permitem a sedimentação de material muito fino, esta relação com a erosão permite a acumulação deste material. Essa acumulação de material fino tem implicações significativas com relação à retenção de poluentes, devido à elevada superfície específica apresentada por este material. Os sedimentos mais finos em suspensão têm a superfície altamente reativa, que é capaz de imobilizar e interagir com as superfícies de outras partículas e de substâncias dissolvidas.

O sedimento do rio Urussanga foi caracterizado conforme determina a Resolução CONAMA nº. 454/2012 que determina que o sedimento composto por areia grossa, cascalho ou seixo em fração igual ou superior a 50% não necessita de estudos complementares para sua caracterização. Desta forma, o material a ser removido nos trechos compreendido entre UCD1 e UCD2, por constituírem-se de areia com granulometria mais grossa não necessitariam maiores detalhamentos do estudo para sua avaliação, uma vez que a interação deste material com o ambiente é reduzida.

O material removido no trecho intermediário (UCD3) e baixo rio Urussanga (UCD4) inspiram mais cuidados caso se tenha a opção de depositá-los em água, uma vez que estes apresentam toxicidade aos organismos aquáticos, conforme resultados dos ensaios ecotoxicológicos.

Os demais indicadores de qualidade do sedimento do rio Urussanga, incluindo os resultados dos HPAs (Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos) nas

quatro amostras se encontram abaixo dos limites estabelecidos como Nível 1, que representa o limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos à biota. A única exceção está relacionada à amostra UCD3, trecho amostral localizado no município de Morro da Fumaça, cuja concentração de cromo no sedimento acusou 38 mg.kg⁻¹ quando o limite estabelecido para Nível 1 (água doce) é de 37,3 mg.kg⁻¹.

Para deposição do sedimento em solo os resultados das quatro UCDs foram menores que os valores de prevenção estabelecidos pela resolução do CONAMA nº. 420/2009 que representa o limite de determinada substância para que o solo seja capaz de sustentar suas funções.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao consórcio das prefeituras municipais que integram a bacia do rio Urussanga pelo custeio de recursos e à Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS) através da Secretaria de Desenvolvimento Regional de Criciúma (SDR Criciúma) pelo suporte oferecido.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12713**: Ecotoxicologia aquática: toxicidade aguda: método de ensaio com *Daphnia* spp. (Crustacea, Cladocera). Rio de Janeiro, ABNT: 2009.

BEVILACQUA, J. E. **Estudos Sobre a Caracterização e a Estabilidade de amostras de Sedimento do Rio Tietê, SP**. 1996. 171 f. Tese (Doutorado em Química Analítica) - Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/46/46133/tde-13012017-122443/en.php>>. Acesso em: 26 jun. 2017.

BRASIL. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 30 dez. 2009. n. 249, p. 81-84. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em: 26 jun. 2017

BRASIL. Resolução nº 454, de 1 de novembro de 2012. Estabelece diretrizes gerais os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 8 nov. 2012. n. 216, Seção 1, p. 66-66. Disponível em:

<<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=693>>. Acesso em: 26 jun. 2017.

CASTILHOS, Z. C. et al. **Metodologia para o monitoramento da qualidade das águas da Bacia Carbonífera Sul Catarinense: ferramenta para gestão em poluição ambiental**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. 116 p. (Série Gestão e Planejamento Ambiental, 13). Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/294/1/sgpa-13.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2017.

CCME. CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENTAL. **Canadian Environmental Quality Guidelines (CEQG) Summary Table**. 2002. Disponível em: <http://www.ccme.ca/en/resources/canadian_environmental_quality_guidelines/>. Acesso em: 26 jun. 2017.

IPAT/UNESC. Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - Universidade do Extremo Sul Catarinense. **Estudo de Impacto Ambiental (EIA) para o Projeto de Desassoreamento do Rio Urussanga**. Criciúma: IPAT/UNESC, 2014. 526 f.

WETZEL, R. G. **Limnology**. 2. ed. San Diego: Elsevier, 1983. 783 p.

RESTREPO, J. J. B. **Avaliação de elementos-traço em amostras de sedimento marinho ao longo do litoral catarinense**. 2017. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/89915?show=full>>. Acesso em: 26 jun. 2017.

ABSTRACT: In the process to the dredging of the river Urussanga - SC., was carried out to characterize the sediment in line with Resolution CONAMA. 454/2012, determining thus the actions necessary for its final disposal. In this context, the material to be removed in the upper reaches, made up of more coarse sand require no further elaboration of the determination, since the interaction of this material with the environment is reduced. In turn, the sediment removed the intermediate section and the lower Rio Urussanga inspire additional care if it has the option to deposit them in water, as these present toxicity to aquatic biota. For knowledge and need for other strategies, we proceeded to the chemical characterization of the material with the aim of identifying the best alternative for final disposal. The material to be dredged was sampled using dredge Ekman-Birge. The results were compared with Table III of CONAMA Resolution nº 454/2012 aiming to determine if the material is compatible with the provision in water (submerged) and CONAMA Resolution nº 420/2009 to evaluate the possibility of disposal at landfills. Other indicators of environmental quality, including the results of PAHs (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) are positioned below the limits established as Level 1. The only exception is related to the sample obtained in the sample segment located in

the Morro da Fumaça municipality, whose chromium concentration sediment accused 38 mg.kg⁻¹, when the limit for Level 1 (freshwater) is 37.3 mg.kg⁻¹.
KEYWORDS: Sediment, Underwater Deposition, CONAMA n° 454/2012.

CAPÍTULO XIV

POTENCIALIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS NA BACIA DO CÓRREGO GUARIROBA, MUNICÍPIO DE CAMPO GRANDE-MS

**Giancarlo Lastoria
Sandra Garcia Gabas
Guilherme Henrique Cavazzana
Juliana Casadei
Tamiris Azoia de Souza**

**POTENCIALIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS NA BACIA DO CÓRREGO GUARIROBA,
MUNICÍPIO DE CAMPO GRANDE-MS**

Giancarlo Lastoria

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, FAENG/PGTA
Campo Grande - MS

Sandra Garcia Gabas

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, FAENG/PGTA
Campo Grande - MS

Guilherme Henrique Cavazzana

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, FAENG/PGTA
Campo Grande - MS

Juliana Casadei

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, FAENG/PGTA
Campo Grande - MS

Tamiris Azoia de Souza

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, FAENG/PGTA
Campo Grande - MS

RESUMO: A bacia hidrográfica do córrego Guariroba, localizada no extremo nordeste do município de Campo Grande-MS possui área de 370 km². Em 1982 foi construída uma barragem no seu exutório, formando um reservatório com 100 ha, de onde é retirada uma vazão de 1,4 m³/s, responsável por cerca de 50% do sistema de abastecimento da Capital, com população superior a 800.000 habitantes. Mais de 90% da sua superfície é recoberta por sedimentos cretáceos do Grupo Bauru, com estreita faixa de afloramento dos basaltos da Formação Serra Geral, notadamente ao longo da drenagem principal da bacia. Houve, nos últimos anos, uma importante mudança no uso e ocupação do solo da bacia, com a crescente substituição da predominante atividade pecuária, pela silvicultura de eucaliptos. As vazões medidas no reservatório variaram entre 4,8 e 7,5 m³/s, mas com números de descarga sólida total da ordem de 22 ton/dia a montante do reservatório. Apresentam-se os dados preliminares referentes à hidrogeologia desta bacia, decorrentes de estudo que tem por objetivo a avaliação da interação, quantitativa e qualitativa, das águas subterrâneas com suas águas superficiais. O mapa potenciométrico da bacia, elaborado com dados de mais de uma dezena de poços tubulares perfurados no Bauru, aponta para a contribuição deste aquífero livre na manutenção da vazão de base das drenagens. Embora já venham sendo implementadas ações no sentido de reduzir o aporte de sedimentos para as drenagens e o reservatório, contando inclusive com o apoio da Agência Nacional de Águas, o conhecimento da dinâmica de interação das águas subterrâneas e superficiais da bacia contribui para o gerenciamento eficaz e sustentável de seus recursos hídricos.

PALAVRAS-CHAVE: Aquífero Bauru; balanço hídrico; sistema de abastecimento de água.

1. INTRODUÇÃO

A Lei 9433/97, conhecida como “Lei das Águas”, regulamenta a política nacional de recursos hídricos e estabelece a bacia hidrográfica como unidade de gestão. Além desta delimitação, fica definido também que o estudo dos recursos hídricos deve ser feito de maneira integrada entre os mananciais superficiais e subterrâneos. Com relação ao Estado de Mato Grosso do Sul, o Plano Estadual de Recursos Hídricos-PERH/MS (SEMAC, 2010), divide o Estado em Unidades de Planejamento e Gestão-UPGs, definidas de acordo com cada uma das sub-bacias hidrográficas tributárias do Rio Paraguai e do Rio Paraná. Do ponto de vista dos recursos hídricos subterrâneos, foram definidos oito sistemas aquíferos, com base no mapa geológico, em escala ao milionésimo. O cálculo das reservas renováveis e exploráveis levou em consideração os dados de precipitação e apenas as áreas de afloramento de cada um dos aquíferos nas respectivas UPGs.

Analisando-se as disponibilidades hídricas e os principais consumos (dessedentação de animais, abastecimento urbano, irrigação, indústria e abastecimento rural, em ordem decrescente de retirada de água), apresentados no PERH/MS (*op. cit.*), verifica-se que o Estado como um todo, isto é, em todas as UPGs, não se enquadra em uma condição de falta d’água, conforme os cenários futuros propostos.

Entretanto, ao se planejar sistemas de abastecimento urbano, escalas muito regionais de estudos não são adequadas, tendo em vista o adensamento das retiradas de água em áreas restritas das UPGs.

No caso de Campo Grande, a cidade conta hoje com mais de 800.000 habitantes e possui captação de água principalmente a partir do córrego Guariroba, complementada em volume aproximadamente igual pelos Sistemas Aquíferos Serra Geral, Guarani e Bauru.

Embora localizada totalmente na área rural do município, o divisor da bacia hidrográfica inicia-se a cerca de 15 km do limite da zona urbana de Campo Grande e, devido às características da cobertura litológica, geomorfologia, uso e ocupação do solo da região, os processos de erosão e conseqüente assoreamento do reservatório são relevantes. Lastoria *et al.* (1998) já haviam alertado para o problema do reservatório ter sua vida útil socioeconômica menor que o previsto em projeto, determinando valores de descarga sólida total a montante do reservatório de mais de 22 ton/dia.

Devido à importância desta bacia para o sistema de abastecimento de água da capital, a Prefeitura Municipal de Campo Grande instituiu-a como uma Área de Proteção Ambiental – APA Guariroba, por meio do Decreto Nº 7.183, de 21 de setembro de 1995 (PMCG, 2008). Medidas conservacionistas e de recuperação das margens das drenagens estão sendo implementadas, com o apoio da agência Nacional de Águas – ANA, inclusive incentivando os proprietários rurais com o Pagamento de Serviços Ambientais – PSA.

Adicionalmente a estas características superficiais da bacia, justifica-se o

estudo do seu principal aquífero livre, constituído por sedimentos do Grupo Bauru, tendo em vista dois aspectos principais: em primeiro lugar o desconhecimento detalhado da potencialidade deste recurso hídrico subterrâneo e a certeza de que ele é o mantenedor da vazão de base das drenagens superficiais que formam o córrego Guariroba e, paralelamente, conhecer também a qualidade da água e a vulnerabilidade deste aquífero.

Integrar a potencialidade dos recursos hídricos superficial e subterrâneo desta bacia fica ainda mais evidente quando se inclui o uso e a ocupação do solo, cuja principal atividade é a pecuária extensiva (mais de 80% da área é ocupada por pastagens artificiais), vem sendo substituída pela silvicultura de eucaliptos. Neste sentido o Programa de Pós-graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - PGTA/UFMS, em parceria com a Prefeitura Municipal de Campo Grande e a Empresa Águas Guariroba está desenvolvendo atividade de pesquisa nesta unidade de conservação, abordando neste trabalho o subprojeto onde é priorizado o enfoque hidrogeológico.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

A bacia hidrográfica do córrego Guariroba está localizada no extremo nordeste do município de Campo Grande-MS e possui uma superfície de 370 km² (Figura 1). Está inserida na UPG do Rio Pardo, afluente da margem direita do Rio Paraná (SEMAC, 2010).

Geomorfologicamente a bacia possui um domínio de colinas muito amplas, cujas altitudes variam entre 460 a 630 m, ocorrendo subordinadamente pequenas planícies aluviais. As classes de declividade predominantes variam de 0 a 5% e subordinadamente são encontradas parcelas variando de 5 a 10% (PMCG, 2008).

Do ponto de vista geológico, mais de 90% da superfície da bacia é recoberta por sedimentos cretáceos da Formação Caiuá, base da sequência do Grupo Bauru. Embora existam poços tubulares que exploram esta unidade hidroestratigráfica, não se dispõe de descrições precisas da litologia de subsuperfície. Informações verbais de proprietários rurais localizados nas cotas mais altas da bacia indicam espessura superior a 120 m de sedimentos, cuja composição predominante é de areias quartzosas, granulometria fina, pouco compactados, coloração creme a rosada. Junto ao leito da drenagem principal e nas ombreiras da barragem afloram basaltos da Formação Serra Geral.

De acordo com o Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental dos Mananciais do Córrego Guariroba – APA Guariroba (PMCG, 2008), os solos desta unidade de conservação são representados por alternância de Neossolo Quartzarênico (areia quartzosa) e Latossolo Vermelho, de textura média a muito argilosa, restrito a porção inferior das vertentes, associado a áreas de ocorrência das rochas basálticas. Nas pequenas planícies aluviais, os solos dominantes são Neossolo Quartzarênico hidromórfico em função do maior grau de saturação de água e eventualmente Neossolo Flúvicos (Solos Aluviais), todos

predominantemente de textura arenosa. Nessas porções, são comuns os buritis, vegetação tipicamente freatófita.

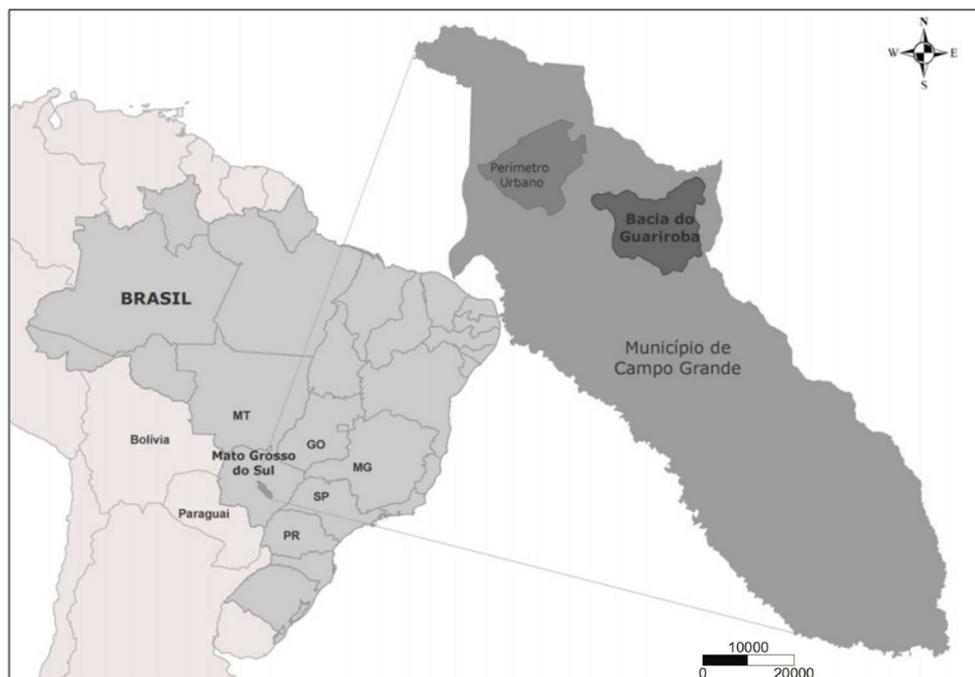


Figura 1: Localização da área de estudo no município de Campo Grande-MS.

Referente à cobertura vegetal, ressalta-se a predominante cobertura por pastagens artificiais e a pequena vegetação remanescente do cerrado local indica uma fisionomia de porte médio a alto (8-10 m), com a respectiva biomassa do estrato inferior. Avaliações preliminares (PMCG, 2008) apontam para uma demanda hídrica do cerrado original, comparável com a biomassa e área foliar das florestas de eucalipto, sem, a princípio, resultar em alterações na produção de água das microbacias. Todavia, o incremento no plantio destas últimas deve ser levado em consideração na elaboração do balanço hídrico.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

No desenvolvimento deste subprojeto do PGTA/UFMS, está vinculada uma tese de doutorado e duas dissertações, todas associadas e complementares. A proximidade da área estudada em relação à cidade e a profusão de estradas vicinais que atendem as propriedades rurais facilitam as atividades de campo.

A delimitação da bacia hidrográfica do córrego Guariroba é a mesma adotada na instituição da APA homônima, cujo traçado foi amplamente discutido por Torres *et al.* (2005). A base cartográfica para o desenvolvimento dos estudos são imagens IKONOS, cedidas pela Prefeitura Municipal de Campo Grande, devidamente georreferenciadas.

Em primeiro plano ficará quantificada a potencialidade do Aquífero Bauru na área da APA Guariroba, onde a espessura da camada sedimentar sobre os basaltos

da Formação Serra Geral será determinada através de caminhamento geofísico 3D e sondagens elétricas verticais. Esta atividade será realizada em convênio com a UNESP/Rio Claro. Os métodos de eletrorresistividade permitem também a determinação do nível freático, confirmado por medida no campo com sonda elétrica em poços tubulares existentes nas propriedades rurais. Está prevista a instalação de quatro piezômetros que permitirão o monitoramento da variação temporal do nível d'água do aquífero livre. Características de condutividade hidráulica do aquífero serão também determinadas através dos piezômetros, com utilização do *slug test*.

Todos os poços tubulares cadastrados foram georreferenciados, com utilização de GPS diferencial, bem como pontos de surgência natural de água (nascentes). Estas informações permitiram traçar o mapa potenciométrico da área, utilizando o software SURFER 9.0, gerando um primeiro modelo conceitual do aquífero na área de estudo. Com base neste mapa, complementado pelos dados da geofísica será feita a locação e instalação dos quatro piezômetros de monitoramento.

Medições mensais de escoamento superficial, evaporação e pluviosidade serão complementadas para a aplicação da equação geral do balanço hídrico na bacia do Guariroba.

Para a determinação da vulnerabilidade do aquífero livre serão utilizados os métodos amplamente difundidos GOD (FOSTER, 1987) e EKv (AUGE, 2004). Para o emprego deste último método é necessário o cálculo da condutividade hidráulica na zona não saturada, o que será feito utilizando a metodologia do “poço invertido”, com profundidade até 2 m.

Na caracterização hidroquímica do Aquífero Bauru na APA Guariroba serão coletadas amostras em duplicata tanto da água subterrânea como em pontos de água superficial. Estão previstas duas coletas anuais, em período de seca e de chuvas. Além dos principais cátions e ânions que permitem a classificação das águas utilizando diagramas como os de PIPER e de STIFF, metais também serão analisados. Serão determinadas características de corrosão/incrustação da água deste aquífero, por meio do cálculo dos índices de estabilidade (pHe), bem como sua qualidade para a irrigação.

4. RESULTADOS PARCIAIS

A revisão bibliográfica prévia, complementada por mais de uma dezena de idas ao campo, permitiu a caracterização prévia da bacia do Guariroba. Foram identificados 19 poços tubulares, nos quais os proprietários permitiram a instalação de tubo guia em PVC soldável, com diâmetro de 1/2 polegada. Estes tubos são empregados para a descida do medidor elétrico do nível de água. A Figura 2 mostra a distribuição dos poços e nascentes já identificadas na área de estudo.

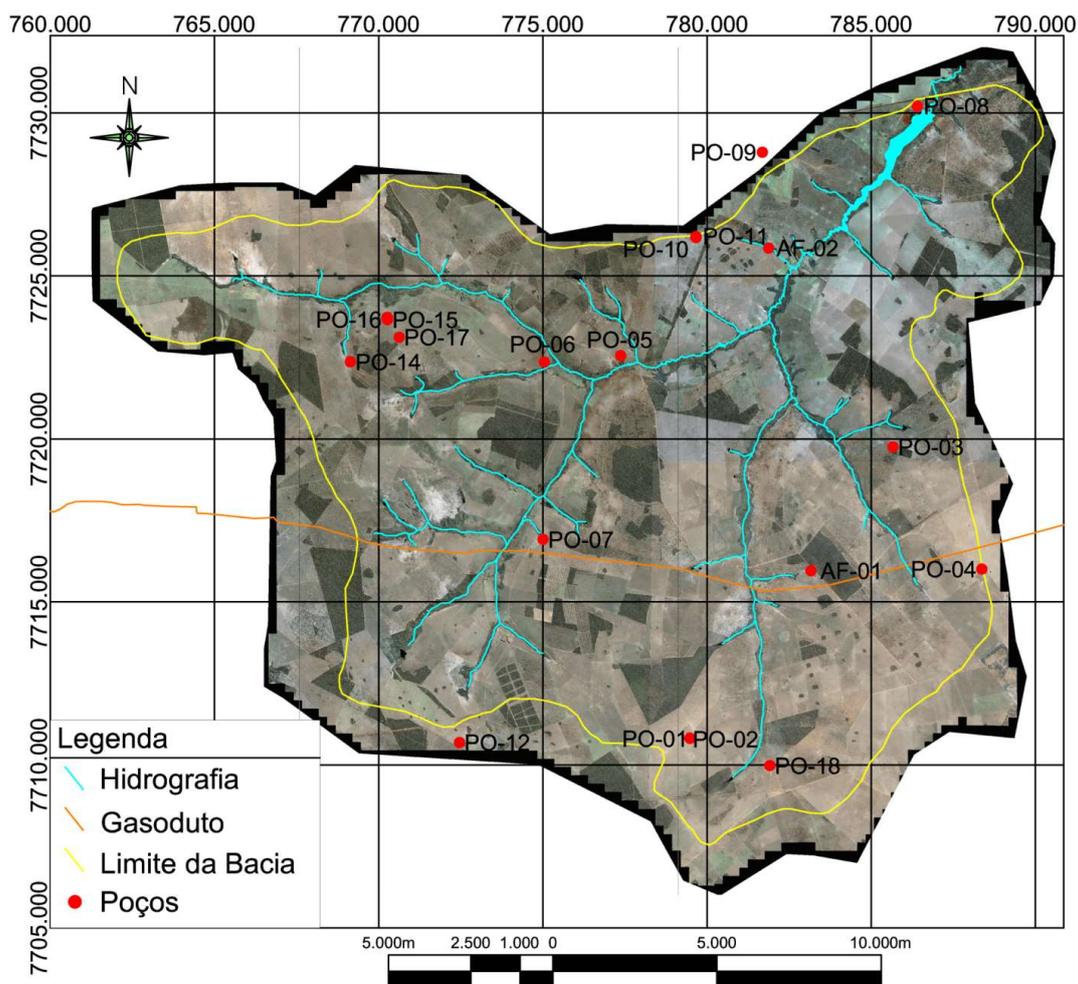


Figura 2: Distribuição dos pontos de observação do nível d'água (poços e nascentes) na bacia do córrego Guariroba.

A Tabela 1 apresenta os dados georreferenciados dos pontos de medição do nível d'água, bem como o valor da piezometria relativa à campanha de janeiro de 2015.

Os dados de cota do NE (m) da Tabela 1 foram plotados no programa SURFER 9.0, gerando a piezometria do Aquífero Bauru na bacia em janeiro de 2015, apresentado na Figura 3.

Tabela 1: Coordenadas geográficas em UTM, Datum SIRGAS200, fuso 22; nível estático e a cota do NE.

Ponto	Long E (m)	Lat N (m)	Cota terreno (m)	NE* (m)	Cota NE (m)
PO-01	779462	7710826	629,15	63,26	565,89
PO-02	779471	7710815	628,71	62,30	566,41
PO-03	785672	7719681	530,01	20,30	509,71
PO-04	788362	7716011	604,22	64,80	539,42
PO-05	777369	7722558	499,65	4,09	495,56
PO-06	775043	7722359	501,41	7,08	494,33
PO-07	775005	7716921	534,95	27,12	507,83

PO-08	786404	7730206	463,02	6,34	456,68
PO-09	781682	7728795	529,58	10,60	518,98
PO-10	779660	7726204	569,70	32,39	537,31
PO-11	779669	7726178	569,31	32,32	536,99
PO-14	769141	7722366	579,61	10,13	569,48
PO-15	770264	7723731	556,39	2,50	553,89
PO-16	770270	7723658	558,70	3,18	555,52
PO-17	770623	7723120	580,37	19,44	560,93
PO-18	781915	7709978	568,02	7,29	560,73
PO-19	777590	7722753	498,95	5,16	493,79
AF-01	783117	7715933	524,70	0,00	524,70
AF-02	781875	7725857	493,48	0,00	493,48

* Dados obtidos em 12/01/2015.

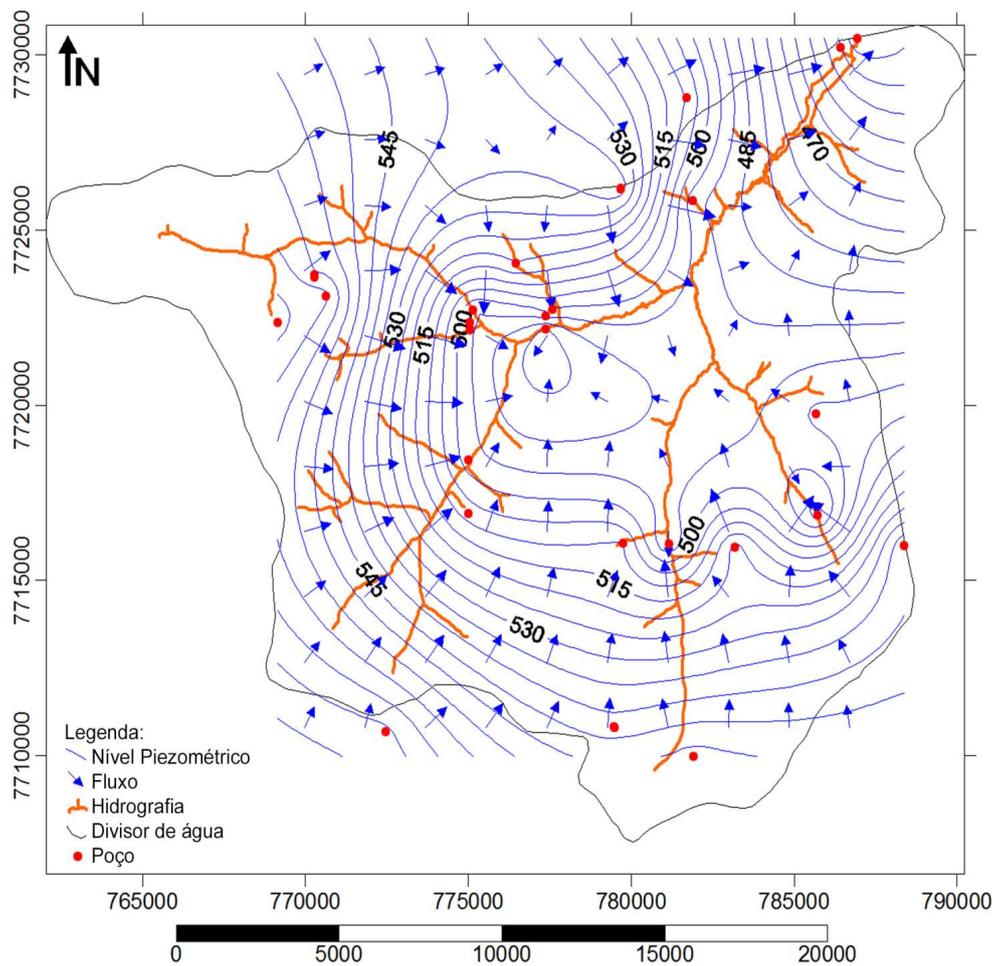


Figura 3: Piezometria do Aquífero Bauru na bacia do Guararioba, com base nas medições dos níveis d'água de janeiro/2015.

5. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES PRELIMINARES

Os trabalhos iniciais de campo permitiram identificar quase duas dezenas de poços tubulares na área de estudo, muito embora tenha sido constatada a

existência de um número maior, sem, contudo ser autorizada a instalação de tubo guia para a determinação do nível d'água. Entretanto em nenhum dos poços tubulares obteve-se perfil hidrogeológico, com descrição da litologia de subsuperfície. Ao mesmo tempo, a topografia da área não proporciona exposição dos níveis mais inferiores da cobertura sedimentar, o que torna imprescindível a realização da geofísica.

A análise do mapa potenciométrico mostra claramente o sentido dos fluxos hídricos subterrâneos em direção às drenagens superficiais, o que evidencia a contribuição do Aquífero Livre Bauru na manutenção do nível de base da bacia do Guariroba e indica um alto gradiente para o fluxo subterrâneo na área estudada, com mais de 100 m (560 a 450 m). Esta constatação reforça a necessidade da determinação da vulnerabilidade do Aquífero, estudando mais detalhadamente sua permo-porosidade, uma vez que contaminações superficiais poderão rapidamente alcançar o reservatório.

Mesmo que ainda não tenha sido implementada a perfuração de poços tubulares na área da bacia para o sistema de abastecimento de água de Campo Grande, esta hipótese não deve ser descartada, uma vez caracterizada a sua potencialidade. Dados de vazão do córrego Guariroba obtidos por Lastoria *et al.* (1998) indicam valores entre 4,8 e 7,5 m³/s e, considerando que os valores medidos representam uma breve série histórica de seis meses, o valor de vazão mínima poderá ser menor que o determinado. Assim, a vazão de captação existente de 1,4 m³/s não fica na mesma situação de conforto para cenários futuros, como verificado na UPG Rio Pardo como um todo (SEMAC, 2010).

O conhecimento integrado da potencialidade hídrica da bacia do Guariroba poderá contribuir não só na melhor gestão do Plano de Manejo da APA, como também apontar para uma reserva estratégica de água subterrânea a ser utilizada no sistema de abastecimento de Campo Grande, uma vez que, atualmente, o Aquífero Bauru é o menos explorado no sistema existente.

REFERÊNCIAS

- AUGE, M. (2004). *Vulnerabilidade de Aquíferos*. *Revista Latino-Americana de Hidrogeologia*, n. 4, p. 85-103. UFPR, Curitiba.
- FOSTER, S. (1987). *Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution, risk and protection strategy*. TNO Comm. on Hydrog. Research. Proceed. and Information. n. 38, p. 69-86. The Hague.
- LASTORIA, G.; RONDON, M.A.C.; CARVALHO, N.O. (1998). *Estimativa de assoreamento do reservatório do Guariroba, Campo Grande-MS*. Anais III Encontro de Engenharia de Sedimentos. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, p. 145-151.

MATO GROSSO DO SUL (2010). Secretaria de Estado de Meio Ambiente, do Planejamento, da Ciência e Tecnologia. Instituto de Meio Ambiente - SEMAC. **Plano estadual de recursos hídricos de Mato Grosso do Sul**. Campo Grande: Editora UEMS.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPO GRANDE (2008). *Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental dos Mananciais do Córrego Guariroba – APA do Guariroba*. v. 1, 179 p. Campo Grande.

TORRES, T.G.; PARANHOS FILHO, A.C.; RONDON, M.A. da C.; LASTORIA, G.; SOUZA, A. (2005). *Comparação do divisor de bacia obtido de diferentes modos: o caso de estudo da bacia do córrego Guariroba, MS*. *Revista de Estudos Ambientais*, v.7, n.1, p.39-56. FURB, Blumenau.

ABSTRACT: Guariroba watershed is located in the extreme northeast of the Campo Grande city and has an area of 370 km². In 1982 a dam was built in its outflow forming a reservoir 100 ha, from which a flow rate of 1.4 m³ / s is taken, accounting for about 50% of the capital supply system, approximately for 800,000 inhabitants. Cretaceous sediments from Bauru Group covers about more than 90% of the watershed surface, with a narrow outcrop range of basalts from the Serra Geral Formation, especially along the main drainage basin. Recently, there has been an important change in the use and occupation of the soil of the basin, with the increasing substitution of predominant livestock activity by eucalyptus forestry. Flow rates in the reservoir ranged between 4.8 and 7.5 m³/s. Preliminary hydrogeology data are presented, resulting from a study that aims to evaluate the quantitative and qualitative interaction of groundwater with its surface waters. The potentiometric map of the basin, elaborated from data of more than a dozen tubular wells drilled in Bauru Aquifer, points to the aquifer discharge in the maintenance of the drainage base flow. Although actions have being implemented to reduce the contribution of sediments to the drainage and reservoir, supported by the National Water Agency, the knowledge of the interaction dynamics of groundwater and surface waters of the basin contributes to the effective management and sustainable use of its water resources.

KEYWORDS: Bauru Aquifer; hydric balance; water supply system.

CAPÍTULO XV

ASPECTOS PRINCIPAIS SOBRE O USO DE TECNOLOGIAS ALTERNATIVAS PARA AUXILIAR NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO

**Bruna Ricci Bicudo
Ligia Belieiro Malvezzi
Edilaine Regina Pereira**

ASPECTOS PRINCIPAIS SOBRE O USO DE TECNOLOGIAS ALTERNATIVAS PARA AUXILIAR NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO

Bruna Ricci Bicudo

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Londrina – Paraná

Ligia Belieiro Malvezzi

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Londrina – Paraná

Edilaine Regina Pereira

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Londrina – Paraná

RESUMO: Os tratamentos de águas residuais existentes, em sua grande maioria, são caros e sofisticados, necessitando de um grande investimento para serem aplicadas, tornando-se inviáveis para pequenas cidades e comunidades presentes no Brasil. Em vista desta situação, o tratamento da água por leitos cultivados tornou-se uma solução de baixo custo e simples manutenção e instalação, que pode ser adaptável a qualquer efluente para um uso mais abrangente. O trabalho tem como objetivo apresentar uma revisão bibliográfica acerca da temática de reuso da água por meio de leitos cultivados (constructed wetlands). Como resultados da pesquisa sobre os leitos cultivados, tem-se que Calijuri et al. (2009), obtiveram uma remoção elevada e estável com eficiências médias de 70, 80 e 60% para SST, DBO5 e DQO, respectivamente e a remoção de nitrogênio e fósforo se mostrou muito instável, aparentemente influenciada pelas mudanças de temperaturas. Além disso, Watanabe (2012) apresentou uma eficiência de 82% na remoção de DQO, e Monteiro (2009) obteve uma eficácia de 44%. Pretendesse montar em pequena escala um sistema de wetlands e utilizar o efluente do Restaurante Universitário da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina, como “alimentador” deste sistema. Para verificar sua eficiência, serão analisados parâmetros químicos, físicos e biológicos (mais precisamente pH, turbidez, cor aparente, condutividade elétrica, DQO, série de sólidos, Nitrogênio e Fósforo) do efluente na entrada e saída das wetlands.

PALAVRAS-CHAVE: Leitos cultivados, tratamento de efluente, tecnologias.

1. INTRODUÇÃO

O saneamento básico no Brasil ainda não atinge a maioria da população. Estudos e investimento tem sido feito nessa área, mas ainda há muito o que melhorar. Valentim (2003) discorre sobre a situação apresentada em relatório de auditoria realizada em 2001 pelo IBAMA, Agencia Nacional das Águas (ANA) e Ministério do Meio Ambiente. Os dados apresentados indicam que apenas 68% das pessoas que recebem até dois salários mínimos mensais tem abastecimento público de água e 41% dispõem de rede de esgoto.

Além disso, Carlos (2012) discorre sobre o atual cenário do tratamento sanitário que se encontra o Brasil. Segundo ele, em 2011, as 100 maiores cidades do país geraram mais de 5,1 bilhões de m³ de esgoto. Desses, mais de 3,2 bilhões de m³ não receberam tratamento. Significa que as 100 maiores cidades jogaram cerca de 3.500 piscinas olímpicas de esgoto por dia na natureza. Esse esgoto é lançado de em córregos, rios e lagos, a céu aberto ou em fossas rústicas que, se não cuidadas, geram contaminação nos lençóis freáticos.

O mesmo autor informa ainda que nas 100 cidades monitoradas, 92,2% da população tem acesso à água tratada, bem acima da média nacional – que é de 82,4%. Em relação à coleta de esgotos, os dados são mais precários. “Chega a 61,40% da população nas 100 maiores cidades e a 48,1% no país. Significa que mais de 100 milhões de brasileiros ainda não possuem esse serviço.

Com essas informações e juntamente com a realidade encontrada nos municípios brasileiros mostram que não há solução única para o problema, porém todas devem levar em conta a escassez de recursos, a realidade social da população e as possibilidades de integração dos sistemas de tratamento ao meio ambiente (VALENTIN, 2003).

Dentre as alternativas para buscar solucionar os problemas, encontram-se os sistemas naturais de tratamento de águas residuais. Estes tratamentos são simples, na sua maioria não mecanizados, tem baixo custo de implantação e manutenção, são de fácil gerenciamento e podem ser incorporados à paisagem local.

Um dos sistemas naturais destacado neste trabalho são os Leitos Cultivados (Constructed Wetlands) composto por macrófitas e tanques. Este sistema apresenta vantagens de remoção de nutrientes, mínima geração de bio-sólidos, remoção de nitrogênio e fósforo, e ainda a possibilidade da utilização da macrófita como matéria prima para uma atividade econômica e reutilização do efluente final para usos domésticos e agrícolas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Reuso da água residual

No Brasil, antes da Constituição Federal de 1988, a água era considerada como um bem inesgotável, passível de utilização farta e abundante, entretanto, após a mesma entrar em vigor, foi instituído a política Nacional dos Recursos Hídricos, onde a Lei nº 9.433/97 estabelece que os recursos hídricos têm fim e encontram-se em escassez. Dentro dessa ótica passou-se a se pensar numa forma de minimizar a perda desses recursos e uma delas foi o reuso da água.

De acordo com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), a reutilização de água pode ser direta ou indireta, decorrentes de ações planejadas ou não. O reuso indireto não planejado da água ocorre quando a água utilizada em alguma atividade humana é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada

a jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada. Caminhando até o ponto de captação para o novo usuário, a mesma está sujeita às ações naturais do ciclo hidrológico (diluição, autodepuração).

O Reuso indireto planejado da água ocorre quando os efluentes, depois de tratados, são descarregados de forma planejada nos corpos de águas superficiais ou subterrâneas, para serem utilizadas a jusante, de maneira controlada, no atendimento de algum uso benéfico. O reuso indireto planejado da água pressupõe que exista também um controle sobre as eventuais novas descargas de efluentes no caminho, garantindo assim que o efluente tratado estará sujeito apenas a misturas com outros efluentes que também atendam ao requisito de qualidade do reuso objetivado.

O Reuso direto planejado da água ocorre quando os efluentes, após tratados, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local do reuso, não sendo descarregados no meio ambiente. É o caso com maior ocorrência, destinando-se a uso em indústria ou irrigação.

Segundo a Norma ABNT 13.969/97 para que possa ser feita a reutilização de águas residuais deverá ser seguido uma série de instruções. E acordo com a norma, o esgoto de origem essencialmente doméstica ou com características similares, o esgoto tratado deve ser reutilizado para fins que exigem qualidade de água não potável, mas sanitariamente segura, tais como, irrigação dos jardins, lavagem de pisos e dos veículos automotivos, na descarga dos vasos sanitários e etc. Este item também admite-se também que o esgoto tratado em condições de reuso possa ser exportado para além do limite do sistema local para atender à demanda industrial ou outra demanda da área próxima.

A norma também fornece uma classificação para o reuso baseado na qualidade, dividindo as águas residuais em: água residual doméstica, provenientes de efluentes residenciais; água residual industrial, resultante de processos de fabricação; água de infiltração, resultam da infiltração nos coletores de água existente nos terrenos e águas urbanas, resulta de chuvas, lavagem de pavimentos, entre outros.

A Resolução CONAMA Nº 430/2011, na secção II, prevê quais são as condições e padrões para o lançamento de efluentes. Estas são citadas no artigo 16 como sendo: pH entre 5 a 9; temperatura: inferior a 40 °C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3 °C no limite da zona de mistura; materiais sedimentáveis: até 1 mL L⁻¹.

Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes; o regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente; óleos e graxas: óleos minerais: até 20 mg L⁻¹; óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg L⁻¹; ausência de materiais flutuantes e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20 °C): remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove

atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor. Os demais parâmetros inorgânicos e orgânicos estão citados na Tabela 1 e Tabela 2 respectivamente.

Tabela 1. Parâmetros inorgânicos para o reuso da água.

Parâmetros inorgânicos	Valores máximos
Arsênio total	0,5 mg L ⁻¹ As
Bário total	5,0 mg L ⁻¹ Ba
Boro total (Não se aplica para o lançamento em águas salinas)	5,0 mg L ⁻¹ Ba
Cádmio total	0,2 mg L ⁻¹ Cd
Chumbo total	0,5 mg L ⁻¹ Pb
Cianeto total	1,0 mg L ⁻¹ CN
Cianeto livre (destilável por ácidos fracos)	0,2 mg L ⁻¹ CN
Cobre dissolvido	1,0 mg L ⁻¹ Cu
Cromo hexavalente	0,1 mg L ⁻¹ Cr+6
Cromo trivalente	1,0 mg L ⁻¹ Cr+3
Estanho total	4,0 mg L ⁻¹ Sn
Ferro dissolvido	15,0 mg L ⁻¹ Fe
Fluoreto total	10,0 mg L ⁻¹ F
Manganês dissolvido	1,0 mg L ⁻¹ Mn
Mercúrio total	0,01 mg L ⁻¹ Hg
Níquel total	2,0 mg L ⁻¹ Ni
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L N
Prata total	0,1 mg/L Ag
Selênio total	0,30 mg/L Se
Sulfeto	1,0 mg L ⁻¹ S
Zinco total	5,0 mg L ⁻¹ Zn

Tabela 2. Parâmetros orgânicos para o reuso da água.

Parâmetros Orgânicos	Valores máximos
Benzeno	1,2 mg L ⁻¹
Clorofórmio	1,0 mg L ⁻¹
Dicloroeteno (somatório de 1,1 + 1,2cis + 1,2 trans)	1,0 mg L ⁻¹
Estireno	0,07 mg L ⁻¹
Etilbenzeno	0,84 mg L ⁻¹
fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,5 mg L ⁻¹ C ₆ H ₅ OH
Tetracloroeto de carbono	1,0 mg L ⁻¹
Tricloroeteno	1,0 mg L ⁻¹
Tolueno	1,2 mg L ⁻¹
Xileno	1,6 mg L ⁻¹

Apesar dos parâmetros exigidos por lei, a realidade é que todos os dias um grande montante de água é depositado na rede hídrica sem tratamento adequado causando a deterioração de corpos hídricos e fazendo com que os mesmos não apresentem os padrões qualitativos necessários para o consumo humano,

principalmente devido à presença de partículas coloidais e de matéria orgânica.

2.2. Tecnologias Aplicadas as águas residuais

Para o tratamento de águas residuais foram desenvolvidas diversas tecnologias ao longo dos anos, porém essas tecnologias na grande maioria são demasiadamente caras e sofisticadas, necessitando de grande investimento para serem aplicadas, tornando-se inviável para pequenas cidades e comunidades presentes no Brasil. Em vista dessa situação, torna-se necessário o emprego de uma tecnologia de baixo custo, simples manutenção e instalação e que adeque os efluentes para um uso mais abrangente como os sistemas de Leitos Cultivados (constructed wetland).

Segundo Harbel (1997), as wetlands construídas são tipos de sistemas artificiais manejáveis, que tem despertado acentuado interesse mundial nestas últimas décadas. Estes sistemas têm sido matéria de muitas discussões, as quais apresentam um ponto positivo: o desenvolvimento de pesquisas e experimentos conduzindo para um maior conhecimento e experiências nessa linha de pesquisa.

As técnicas de wetlands podem ser utilizadas em sistemas isolados ou em combinação com sistemas convencionais de tratamento de efluentes. As principais vantagens desses sistemas são: baixo custo de implantação; alta eficiência de melhoria dos parâmetros que caracterizam os recursos hídricos; alta produção de biomassa que pode ser utilizada na produção de ração animal, energia e biofertilizantes (Sallati, 2003).

Do ponto de vista prático, wetlands construídas oferecem melhores oportunidades para o tratamento de águas poluídas do que áreas alagadas naturais, pois podem ser idealizadas para maximizar sua eficiência quanto à diminuição de DBO, DQO e processos de remoção de nutrientes, e máximo controle sobre o sistema hidráulico e a vegetação da área alagada (Verhoeven e Meuleman, 1999).

Nas últimas décadas foram desenvolvidas várias técnicas de wetlands construídas, as quais variam de acordo com as características do efluente a ser tratado. Esses sistemas podem ser classificados como:

- Sistemas de wetlands com plantas flutuantes: onde podem ser utilizadas macrófitas flutuantes de diversas espécies, são mais utilizados em canais rasos e a espécie mais utilizada é a *Eichornia crassipes*. Esses sistemas são utilizados para o tratamento terciário para a remoção de fósforo e nitrogênio e em sistemas integrando o secundário e o terciário, onde além da remoção de nutrientes também há a redução de DQO e DBO.
- Sistemas de wetlands com macrófitas fixas submersas: nesses sistemas as plantas ficam submersas e não são expostas diretamente ao sol, as mais utilizadas são *Isoetes Lacustris*, *Lobelia Dortmanna*, *Egéria sp* e a *Elodea Canadensis*. São utilizados em maior parte para o polimento de

águas após o tratamento secundário, aumento o nível de oxigênio presente por conta da fotossíntese realizada pelas macrófitas.

- Sistemas de wetlands com solos filtrantes (sistema DHS): As wetlands com solos filtrantes são sistemas constituídos por camadas superpostas de brita, pedrisco e solo cultivado com arroz. As dimensões dos módulos de solos filtrantes, bem como a espessura da camada do solo, variam de acordo com o efluente a ser tratado e da eficiência que se deseja atingir (Salatti, 2003).
- Sistemas de wetlands com plantas emergentes: nesse caso as plantas então fixas em um substrato e com parte de seu caule e folhas submerso, as espécies mais utilizadas são *Phragmites australis*, a *Typha latifolia* e a *Scirpus lacustres*. Esse sistema permite que seja explorado um número maior de sedimento e pode ser subdividido em três tipos:
 - Sistemas com fluxo superficial;
 - Sistemas com fluxo subsuperficial;

Os sistemas de wetlands baseiam-se em processos bióticos e abióticos, os processos bióticos estão relacionados com os microrganismos que crescem aderidos os substratos, mineralizando o material orgânico em nutrientes para a absorção por parte das plantas.

Uma grande variedade de macrófitas aquáticas pode ser usada no tratamento de águas residuais em sistemas alagados construído com fluxo subsuperficial. As macrófitas aquáticas devem remover nutrientes (N e P, principalmente) e micronutrientes presentes no efluente; facilitar a transferência de gases (O_2 , CH_4 , CO_2 , N_2O e H_2S) e estabilizar a superfície do leito.

A concentração dos elementos presentes no efluente influencia na eficiência da remoção dos poluentes, de acordo com Burgoon (1991) a remoção de nitrogênio e fósforo aumentou, linearmente, com a carga de nitrogênio presente na água residuária, que teve variação $0,6$ a $4,4 \text{ g m}^{-2}\text{d}^{-1}$ e de fósforo, que variou de $0,14$ a $0,92 \text{ g m}^{-2}\text{d}^{-1}$. Já Tunçsiper et al. (2004) observou a remoção de SST e DBO_5 com uma variação de $0,1$ a $4,7 \text{ g m}^{-2}\text{d}^{-1}$ e de $0,06$ a $3,28 \text{ g.m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, respectivamente. Porém a concentração de nutrientes não deve ser muito elevada, pois podem causar dano a vegetação, como Hussar (2001) que relacionou a morte de plantas *Typha latifolia* com a concentração de nutrientes presentes na água residuária da suinocultura.

Segundo Vymazal (2009), a utilização de wetlands construídos têm sido feita para o tratamento de águas residuais municipais ou nacionais, onde são utilizados para uma grande variedade de poluição, incluindo efluentes agrícolas e industriais, várias águas de escoamento superficial e chorume.

Para Bordin (2010), as unidades do tipo wetlands podem ser uma solução alternativa eficaz para o tratamento do lixiviado, atuando de forma complementar à de outros sistemas prévios de tratamentos, tanto aeróbios quanto anaeróbios, possuindo como principal objetivo reduzir a concentração de nutrientes que seriam descartados no meio ambiente.

Para a escolha da espécie de planta que irá ser utilizada no sistema, a

Typha, ou Taboa, vem apresentando bons resultados inclusive na absorção de metais pesados, incluindo o Cobre, podendo contribuir para o saneamento ambiental. De acordo com Agevap (2007), a utilização dessas macrófitas em margens dos rios provoca a retirada do excesso de substâncias tóxicas na água, promove a heterogeneidade espacial e temporal no corpo hídrico que favorece a biodiversidade biológica e de outros organismos aquáticos, além de proteger as margens do corpo hídrico contra o processo erosivo.

Segundo Beltrão (2006) a Typha, é morfológicamente adaptada para se desenvolver em sedimento inundados e sua contribuição engloba a remoção de contaminantes degradados por meio da biomassa aderida ao biofilme; absorção de poluentes pelas raízes ou degradação dos mesmo por bactérias que nelas se alojam, sendo armazenados ou transportados e acumulados nas partes aéreas das plantas.

Calijuri *et al.* (2009), obteve uma remoção elevada e estável com eficiências médias de 70, 80 e 60% para SST, DBO₅ e DQO, respectivamente. A remoção de nitrogênio e fósforo se mostrou muito instável, aparentemente influenciada pelas mudanças de temperaturas. Wood *et al.* (2007) em um wetland construído horizontal durante 2 anos de monitoramento, relataram variações significativas de remoção de fósforo (13 a 86%).

Watanabe (2012) apresentou uma eficiência de 82% na remoção de DQO com a utilização da planta *Pontederia parviflora* e 83% com a *Enchnodorus sp.* Monteiro (2009) teve uma remoção média de 60%, ao passo que Galbiati (2009) apresentou uma eficácia de 44%. Newman *et al.* (2000) constataram uma média de remoção de 85% de DQO5 de um wetland construído horizontal para o tratamento de efluente de laticínios empregando uma carga de 7,3 g.m⁻².dia⁻¹.

Stefanakis e Tsihrintzis (2012) obtiveram baixas remoção de fósforo em wetland de fluxo vertical, comparado às obtidas com a wetland de fluxo horizontal, segundo os autores, esses dados estão relacionados as características hidráulicas de cada filtro, já que no fluxo horizontal o efluente permanece e muito mais tempo em contato com o maciço filtrante do que o de fluxo vertical.

3. CONCLUSÃO

Com os resultados apresentado até agora sobre o tratamento alternativo do efluente, pode-se concluir que a utilização de leitos cultivados é eficaz na redução de nitrogênio, fósforo, DQO, DBO. Portanto, pela sua facilidade e baixo custo de montagem e manutenção esse sistema vem se mostrando vantajoso para ser aplicado como uma forma alternativa ao tratamento de água residuais, aos tratamentos químicos utilizados atualmente. O estudo torna-se relevante e maiores discussões devem ser realizadas a respeito das tecnologias alternativas. De acordo com os resultados apresentados para leitos cultivados tem se a pretensão de continuar os estudos através de um sistema de teste utilizando o efluente do Restaurante Universitário da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus

Londrina.

REFERÊNCIAS

ALBERTONI, T. A. **Caracterização física dos resíduos sólidos gerados em restaurante universitário**. 2013. 77f. Monografia (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2013.

ALBUQUERQUE NETO, H. C; MARQUES, C. C; DE ARAÚJO, P. G; GONÇALVES, W. P; COSTA. F. X; LUCENA, A. M. A. DE; TRESENA, N. DE L; GUIMARÃES, F. S; GUIMARÃES, M. M. B; SILVA, M. M. P; GUERRA, H. O. C. **Estudo qualitativo e quantitativo dos resíduos sólidos do Campus I da Universidade Estadual da Paraíba**. Revista de Biologia e Ciência da Terra. João Pessoa, v. 4, n. 2, 2º semestre 2004.

AGEVAP. **Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul**. 5f. Relatório Final. Programa específico sobre macrófitas trecho Paulista.2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

BELTRÃO, K.G.Q.B. **Sistema de barreira bioquímica como alternativa para o tratamento de percolato**. Tese de Doutorado – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE. 168 p. 2006.

BRASIL, M.S.; MATOS, A. T.; FIA, R. **Eficiência e impactos ambientais do tratamento de águas residuárias da lavagem e despolpa do fruto do cafeeiro em áreas alagadas naturais**. Engenharia na Agricultura, v.11, n.1-4, p. 43-51, Jan./Dez., 2003.

BURGOON, P.S.; et al. **Vegetated submerged beds with artificial substrates. II: N and P Removal**. Journal ASCE-EED, n.4, v.117, pp.408-424, 1991.

CARLOS, E. INSTITUTO HUMANITAS UNISINOS (IHU). **Saneamento básico no Brasil: “Um cenário alarmante”**. Disponível em: <<http://www.ihu.unisinos.br/entrevistas/524625-qos-servicosde-coleta-e-tratamento-de-esgoto-ainda-sao-muito-precariosqentrevista-especial-com-edisoncarlos>>. Acessado em 26 mar. 2015.

Estudo da remoção de matéria orgânica carbonácea, nitrogênio amoniacal e fósforo em lixiviado pré-tratado de aterro sanitário empregando Typha em Wetlands. Disponível em: <<http://biblioteca.asav.org.br/vinculos/tede/FabianeBordinEngCivil.pdf>> Acesso

em 1 março 2015.

GALBIATE, A. F. Tratamento domiciliar de águas negras através de tanque de evapotranspiração. 2009. 52 f. Dissertação (mestre em tecnologia) – Programa de PósGraduação em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009.

HAMMER, D.A. Constructed wetlands for wastewater treatment, municipal, industrial and agricultural. Chelsea: Ed. Lewis Publishers, 1989. 235p. INSTITUTO DE ECOLOGIA APLICADA Relatório técnico, 1997.

HUSSAR, G.J. Avaliação do desempenho de leitos cultivados no tratamento de águas residuárias de suinocultura. Campinas: FEAGRI-UNICAMP, 118 p. (Dissertação de Mestrado). 2001.

MAIA, R; BARBOSA, E. A. Caracterização de resíduos sólidos orgânicos produzidos no restaurante universitário de uma instituição pública (estudo de caso). XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2007.

MONTEIRO, R.C.M. Viabilidade Técnica do Emprego de Sistemas Tipo “Wetlands” para Tratamento da Água Cinza Visando o Reúso Não Potável. 2009.84f. Dissertação (Mestrado); Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

NEWMAN, J. M.; Clausen, J. C.; Neafsey, J. A. Seasonal performance of a wetland constructed to process dairy milkhouse wastewater in connecticut. Ecological Engineering, vol. 14, p. 181-198, 2000.

SOTTI, G. Biogás de digestão anaeróbia dos resíduos orgânicos de restaurante universitário com efluente sanitário. 2014. 59 f. Monografia (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2014.

TESTA, A. C. Pós-tratamento de efluente de reator UASB por sistemas alagados construídos de fluxo vertical. 2013. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2013.

TUNÇSIPER, B.; AYAZ, S.Ç.; AKÇA, L. Performances analysis and modeling of na experimental constructed wetlands. Proceedings: 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON WASTE STABILISATION PONDS and 9th INTERNATIONAL CONFERENCE ON WETLAND SYSTEMS FOR WATER POLLUTION CONTROL. Avignon, France, IWA/Astee, OC-40, CD-ROM. 26th of Sept. - 1st of October 2004.

Utilização de Sistemas de Wetlands Construídas para tratamento de águas.

Disponível em: < http://200.144.6.109/docs/bio/v65_1_2/salatti.pdf> Acesso em 20 de Jan de 2015.

VALENTIM, M. A. A. **Desempenho de leitos cultivados (“constructed wetland”) para o tratamento de esgoto: contribuições para a concepção e operação.** Campinas, SP, 2003.

VERHOEVEN, J.T.A. & MEULEMAN, A.F.M. **Wetlands for wastewater treatments: Opportunities and limitations.** Ecol. Engine., v.12, n.1/2, p.5-12, 1999.

VYMAZAL, J., 2009. **The use constructed wetlands with horizontal sub-surface flow for various types of wastewater.** Czech Republic. ecological engineering 3 5 pag. 1-17.

WOOD, J.; Fernandez, G.; Barker, A.; Gregory, J.; Cumbey, T.; **Efficiency of reed beds in treating dairy wastewater.** Biosystems Engineering, v.98, p 455-469. 2007.

ZANTA, V. M; FERREIRA, C. F. A. Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos In CASTILHOS JR, A. B. **Resíduos sólidos urbanos: Aterro Sustentável para municípios de Pequeno Porte.** 1º Edição. Rio de Janeiro. RiMa Artes e textos, 2003.Cap 1, p. 14-31.

CAPÍTULO XVI

AVALIAÇÃO DOS PROBLEMAS OPERACIONAIS PRESENTES EM ALGUMAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO NO CEARÁ

**Thiago de Norões Albuquerque
Tícia Cavalcante de Souza
Wladya Maria Mendes de Oliveira**

AVALIAÇÃO DOS PROBLEMAS OPERACIONAIS PRESENTES EM ALGUMAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO NO CEARÁ

Thiago de Norões Albuquerque

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE
Fortaleza-Ceará

Tícia Cavalcante de Souza

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE
Fortaleza-Ceará

Wladya Maria Mendes de Oliveira

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE
Maracanaú-Ceará

RESUMO: A fim de promover a saúde pública é de fundamental importância a gestão do esgotamento sanitário. No estado do Ceará, esta função é delegada a Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE. Nesta pesquisa, foram avaliados os principais problemas operacionais presentes em algumas estações de tratamento de esgoto da CAGECE. Os problemas foram avaliados através de questionários aplicados aos gestores e operadores e por meio de visitas técnicas as unidades. Como resultados foram observados diversos problemas sendo os principais; a falta de profissionais capacitados e recursos financeiros insuficientes para o gerenciamento das estações de tratamento de esgoto concluindo que para que ocorra um real tratamento do efluente algumas medidas devem ser tomadas para a correção dos problemas observados.

PALAVRAS-CHAVE: Estações de tratamento de esgoto, Problemas operacionais e Tratamento preliminar.

.

1. INTRODUÇÃO

Os serviços de saneamento básico são essenciais para promoção da saúde pública, o que inclui itens como abastecimento de água e esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e manejo de águas pluviais. A gestão desses serviços pode trazer benefícios à população a curto ou longo prazo por corrigir problemas imediatos e evitar ações emergenciais, respectivamente.

No estado do Ceará grande parte dos esgotos domésticos são encaminhados para as redes de coleta e tratamento de esgoto operadas pela CAGECE (Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará). Dentre os 184 municípios do estado, 150 apresentam seus sistemas de tratamento delegados a Companhia. Porém, apenas 72 municípios apresentam estações de tratamento, representando uma cobertura estadual de cerca de 38,12% da população. No estado como um todo existe 223 ETE's disseminadas entre a capital e o interior, onde são implantados os mais diversos tipo de tratamento.

Em grande parte das estações encontram-se presentes uma infinidade de problemas operacionais, esses passam a produzir um impacto cumulativo no processo de tratamento à medida que o efluente avança nas etapas do sistema. Sua identificação tardia pode causar sérios problemas ambientais, operacionais e de estrutura. A principal consequência desses problemas é a queda na eficiência do tratamento em seus níveis; preliminar, primário, secundário e terciário e no sistema como um todo.

Dentre os problemas mais comuns, pode-se citar um ineficiente tratamento preliminar, que tem por objetivo separar materiais grosseiros e areia, por exemplo com a falta de limpeza de grades ou a sedimentação inadequada levando a obstrução das canalizações, a emanação de odor, o arraste de material através das grades, etc. Como consequência dessa situação pode-se ter a deteriorização de equipamentos (abrasão) bem como perdas de eficiência dos processos de tratamento subsequentes em um efeito cascata.

Portanto, o presente trabalho tem por objetivo identificar e avaliar os principais problemas operacionais presentes nas estações de tratamento de esgoto operadas pela Companhia de Água e Esgoto do estado do Ceará.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A operação da ETE requer cuidados básicos a fim de se evitar problemas para as unidades de tratamento e para a equipe de trabalho, é fundamental, por exemplo, a permanência de um encarregado, devidamente treinado e capacitado, para o controle operacional da unidade, além da proibição da entrada de pessoas inabilitadas ou animais na área da estação (MENEZES *et al.*, 2006).

De acordo com Bolzani *et al* (2011), dentre os problemas operacionais, os mecânicos, podem afetar uma variedade de unidades que necessitam de eletricidade em seu funcionamento, como grades mecânicas, centrifugas, bombas de recirculação de lodo entre outras.

Com relação aos problemas operacionais encontrados em reatores anaeróbios no Distrito Federal Ramos *et al* (2010), cita a presença de extravasamento das unidades, corrosão, presença de espuma na zona de digestão, sobrecargas hidráulicas, recalque do terreno, degradação do concreto, entupimento de tubulações entre outros.

De acordo com o volume de água servida tratada nas estações de tratamento de esgoto, grande quantidade de lodo pode acumular-se nos pátios dessas estações, tornando sua disposição final um importante problema ambiental (GOMES *et al.*, 2007).

Além dos problemas operacionais, é importante ressaltar a contaminação do ar, segundo Pedruzzi e Souza (2013), a presença de sulfeto é responsável pela geração de odores desagradáveis e pelo processo de corrosão nas instalações de coleta e tratamento de esgoto.

Para Pecora (2006), a finalidade do tratamento de esgoto é a obtenção da

redução dos agentes contaminantes a ponto dos subprodutos gerados, quando devolvidos ao meio ambiente, não ocasionem impactos ambientais não desenvolvendo assim problemas ambientais circunvizinhos às estações de tratamento.

A aplicação de uma normativa para a fase de projeto de novas estações de tratamento de esgoto visando a prevenção de riscos ocupacionais tende a minimizar diversas situações de risco que os operadores estão expostos (ROCHA, 2012).

De acordo com Mortari (2005), para se evitar problemas operacionais é necessária a efetiva conservação dos taludes, dos gramados de proteção e correção de porosidades e erosão, assegurar a limpeza dos taludes, roçados, tubulações de entrada do esgoto afluente além do controle do nível e eficiência dos processos de tratamento.

Mensurar, monitorar e reportar são elementos chave no sistema de gestão ambiental, a inserção dos indicadores de ecoeficiência no processo de gestão ambiental além de auxiliar o desempenho ambiental, considera também a sua eficiência econômica, prestando também especial contribuição para apontar possíveis falhas operacionais (SALGADO, 2004).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Em primeiro lugar foram identificadas todas as estações de tratamento de esgoto pertencentes à CAGECE no estado do Ceará, em seguida essas foram classificadas de acordo com o tipo de tratamento primário e secundário existente.

Tipos de tratamento

- Lagoa sem aeração: 67 estações
- Decanto digestor seguido de filtro anaeróbio: 105 estações
- Sistema UASB: 31 estações
- Sistema UASB seguido de Pós-tratamento: 11 estações
- Lagoa com aeração: 9 estações.

O termo lagoa sem aeração é definido pela CAGECE e designa o tratamento por lagoas facultativas ou anaeróbias. Enquanto que para lagoa com aeração estão contidos os sistemas de lagoa aerada facultativa ou de mistura completa.

Após a realização desse levantamento foram identificadas 10 estações, em comum acordo com a companhia gestora, para aplicação de questionários. O número reduzido de estações em relação ao total é justificado pela impossibilidade de liberação de um maior número de estações para realização da pesquisa.

Para a produção dos questionários foram feitos levantamentos bibliográficos em livros, artigos, manuais, entre outros, que conceituassem e pontuassem os principais problemas existentes nas ETE's. Nesses constavam questões abertas e fechadas e foram aplicados aos operadores e gestores das unidades avaliadas,

com o intuito de ser facilmente entendido e rapidamente respondido de forma a não prejudicar o andamento das atividades na estação.

Nos questionários foram contempladas questões referentes a problemas frequentes para cada nível de tratamento, preliminar, primário, secundário e terciário quando existentes. Foi aplicado ainda um questionário a ser respondido pelo supervisor da unidade, sendo esse mais focado na estrutura física, econômica e de funcionários da estação.

As perguntas aplicadas no questionário dos operadores eram divididas em dois blocos: um referente ao sistema preliminar de tratamento, igual a todas as estações, e outro retratando questionamentos específicos ao sistema de tratamento primário e secundário implantado em cada unidade.

O número total de estações avaliadas foram 10 e os sistemas contemplados foram: lagoa facultativa, lagoa anaeróbia, sistema UASB, sistema UASB seguido de pós tratamento e decanto digestor seguido de filtro anaeróbio (Tabela 1).

Tabela 1- Estações avaliadas, local e tratamento implantado.

Nome das Estações	Tratamento	Localização (municipal)
Maraponga Campo dos Ingleses	Decanto Digestor e Filtro Anaeróbio	Fortaleza
Marco Freire	Decanto Digestor e Filtro Anaeróbio	Fortaleza
Herval	UASB seguido de Pós-tratamento	Quixadá
Maratoan	Lagoa sem Aeração	Crateús
Vila 3 Marias	UASB	Juazeiro do Norte
Tarrafas	UASB	Tarrafas
Centro de Eventos	UASB seguido de Pós-tratamento	Fortaleza
Malvas	Lagoa sem Aeração	Juazeiro do Norte
Tupã Mirim	Lagoa sem Aeração	Fortaleza
Conjunto Ceará 4 Etapa	Lagoa sem Aeração	Fortaleza

Fonte: Autor (2015).

Assim foram retratados os principais problemas existentes em cada sistema e pontuadas as falhas durante o processo de operação.

4. RESULTADOS

Dos Gestores

O primeiro item buscou avaliar o nível de conhecimento ambiental, apresentado pelos profissionais gestores das ETE's. Observou-se que dentre os 8 gestores avaliados, pelo menos seis possuíam alguma capacitação na área ambiental, entretanto a ausência de formação ambiental em dois dos gestores é fator preocupante e pode contribuir tanto para o surgimento de problemas, decorrente disposição final inadequada de efluente com qualidade insatisfatória em rios e solo, como da incapacidade de resolvê-los.

Com relação ao segundo quesito, o qual tratou da necessidade de um maior número de profissionais para operação dos sistemas, verificou-se que em 60% das estações seria necessário um maior contingente para a realização das atividades. Para as demais 4 estações (ETE's Herval, Vila 3 Marias, Centro de Eventos e Malvas) o número de operadores atende as necessidades existentes.

Para o terceiro quesito, que questionou a necessidade de se aumentar o número de profissionais qualificados para exercer cargos de gestão das unidades, 60% dos entrevistados concordaram que o aumento desse efetivo melhoraria a eficiência dos processos de tratamento. Já as demais 4 estações (Tarrafas, Centro de Eventos, Tupã Mirim, Conjunto Ceará 4 Etapa) informaram que o grupo técnico existente é suficiente para assegurar a eficiência máxima da estação.

No quarto quesito foi perguntado se o valor em dinheiro recebido para o gerenciamento das estações era suficiente para sua manutenção e atendimento de todas as necessidades existentes. Para todas as estações pesquisadas, com exceção da Vila 3 Marias, o valor é insuficiente para realização de todos os reparos e cessamento dos problemas existentes, de forma que acaba por comprometer a eficiência da estação.

Em relação à responsabilidade e dedicação dos gestores, com base no número de unidades gerenciadas por esses, 90% dos gestores afirmaram ser responsáveis por mais de uma estação estando presente somente em alguns momentos em cada estação.

Tratamento Preliminar

O material retido nas grades deve ser removido de forma constante para evitar que ocorra perda de carga. O acúmulo de esgoto a montante das grades promove o aumento de sua velocidade entre as barras arrastando alguns sólidos que ali deveriam ficar retidos (BOLZANI, 2011).

Sendo assim, o primeiro quesito avaliou a ocorrência de obstrução nas grades do sistema de tratamento preliminar. De acordo com a avaliação as unidades Maraponga Campo dos Ingleses, Marco Freire, Maratoan, Tupã Mirim, Conjunto Ceará 4 Etapa e Malvas, apresentaram problema com a constante obstrução de suas grades.

Com relação ao segundo quesito que avaliou a passagem de material grosseiro da etapa de tratamento preliminar para as unidades a jusantes, apenas duas das estações (Herval e Centro de Eventos) informaram não apresentar esse problema.

O terceiro e quarto itens avaliaram respectivamente a presença de odor desagradável nas etapas do tratamento preliminar e a frequência em que esse era verificado. Com relação à avaliação desse quesito todas as estações informaram apresentar odor desagradável, sendo em 50% das estações verificado odor apenas em algumas épocas do ano.

Com relação à frequência de limpeza das grades, questionado no quinto

item, as estações promovem em média três limpezas diárias, ocorrendo no momento em que se observa na unidade um elevado acúmulo de resíduos, entretanto o número de limpezas diárias está relacionado ao porte das estações e a presença de resíduos sólidos no efluente. Quando questionado sobre as condições das grades e peneiras 70% das estações (Maraponga Campo dos Ingleses, Marco Freire, Maratoan, Vila 3 Marias, Tupã Mirim, Conjunto Ceará 4 Etapa e Malvas), afirmaram que não eram observadas boas condições de uso, pois encontravam-se oxidadas, quebradas ou colocadas de forma incorreta.

Para Ramos (2008), a correta limpeza das unidades de gradeamento e de desarenação melhora a eficiência dessas unidades promovendo uma máxima retirada de sólidos grosseiros de forma a evitar a passagem desses para as demais etapas do sistema, onde reduziriam a qualidade do tratamento.

Com relação às caixas de areia o primeiro item buscou avaliar a presença de odor nessas unidades. Em geral esse odor pode ser gerado pela sedimentação incorreta de material orgânico partícula. Com base nos dados apresentados as estações (Maraponga Campo dos Ingleses, Maratoan, Conjunto Ceará 4 Etapa) afirmaram possuir esse problema.

Entretanto quando questionados no segundo item sobre a existência de arraste do material da caixa de areia para as unidades posteriores do sistema, com exceção da estação Herval, todas as demais relataram o problema.

Segundo Tomiello (2008), a boa operação das caixas de areia condiciona o efluente para as demais unidades de tratamento subsequentes.

O terceiro quesito avaliou o período entre a limpeza da caixa de areia. Em 80% dos casos é utilizado um prazo de 15 dias entre as limpezas, entretanto foram também citados períodos mensais e diários respectivamente para as estações Maratoan e Tarrafas.

Relacionado aos medidores de vazão se buscou saber se esses se encontravam presentes e em funcionamento na estação, visto que é essencial saber o volume de entrada de efluente para proporcionar um tratamento eficiente. De acordo com o avaliado apenas as estações Herval, Centro de Eventos e Malvas apresentavam medidor de vazão, sendo esse do tipo calha parshall.

Como a vazão do esgoto varia ao longo do tempo deve ocorrer a existência de sistemas de controle de nível, de forma que a velocidade média de escoamento horizontal possa ser mantida constante, para evitar o arraste de materiais sedimentados (PRADO, 2006).

Tratamento Primário e Secundário

Lagoa Sem Aeração

Dentre as ETEs investigadas nesse trabalho, que apresentaram unidades de lagoas sem aeração, estão: Maratoan, Malvas, Tupã Mirim, Conjunto Ceará 4 Etapa.

Destas estações, 3 afirmaram não apresentar problema de odor. Já a ETE Malvas visando minimizar seu problema, implantou aeradores na parte superficial de suas lagoas.

Para Schirmer e Oliveira (2010), a maior consequência da produção de odor são as reclamações efetuadas pelas populações circunvizinhas à estação, além da ausência de padrões que possam ser seguidos pelos administradores ambientais.

Quanto a proliferação de insetos, 3 das estações afirmaram possuir tal problema (ETE's Malvas, Tupã Mirim e Conjunto Ceará) que pode ser decorrente das zonas mortas apresentadas nas lagoas.

Segundo Fernandes (2008), a proliferação de insetos pode ser decorrente do acúmulo de resíduos não tratados nas lagoas de estabilização, sendo esse um identificador da ausência de manutenção nos sistemas de tratamento.

Nos questionários apresentados também foi perguntado sobre o crescimento de vegetação no interior das lagoas. Foi unanime a resposta de que ocorre crescimento de vegetação aquática no interior das lagoas (Figura 1).



Figura 1- Lagoa de Estabilização ETE Conjunto Ceará. Fonte: Autor.

Com relação à cobertura da superfície das lagoas por uma camada de espuma ou material gorduroso, apenas a ETE Maratoan não apresentou esse problema.

Segundo Ramos (2008), a existência de espuma na parte superficial das lagoas é constante causa de reclamação dos operadores por propiciar um mau aspecto na superfície da lagoa, além de propiciar ambiente favorável à proliferação de moscas, mosquitos e maus odores.

Também foi avaliada, na saída, a alta concentração de biomassa no efluente final. De acordo com a avaliação, esse problema foi verificado em 3 estações (ETE's Malvas, Tupã Mirim e Conjunto Ceará) das 4 avaliadas.

Finalmente, referente ao quadro geral de problemas citados e verificados

ocorria na maioria das estações problemas de odor, sobrenadante, espuma, presença elevada de biomassa no efluente, zonas mortas, aeradores e bombas quebrados, ausência de ferramentas, entre outros.

Decanto Digestor e Filtro Anaeróbio

As ETEs com decanto digestor e filtro anaeróbio estudadas foram: Maraponga Campo dos Ingleses e Marco Freire.

Primeiramente foi verificada a existência de algum tipo de monitoramento do fluxo de efluente na entrada e na saída das estações. Para o efluente de saída foi observado que ocorre monitoramento uma vez ao mês.

Para Silva (2011), o monitoramento tanto do efluente com dos problemas da estação de tratamento é de efetiva importância, uma vez que através desses é possível identificar problemas antes que os mesmos possam comprometer o funcionamento das estações.

Com relação à passagem de flocos dos digestores para os filtros foi verificada a passagem desse material nas duas estações estudadas, passando assim a comprometer a eficiência do tratamento proporcionada pelos filtros anaeróbios.

Quando questionado sobre o arraste do leito filtrante dos filtros anaeróbios juntamente com o efluente final, as duas estações afirmaram apresentar esse problema. A ETE Maraponga ainda afirmou que também ocorre saída de biossólidos, juntamente com o efluente final do processo.

Relativo à obstrução do leito filtrante nenhuma das estações apresentou esse problema. Sendo assim, pode-se induzir que ocorra aplicação de elevadas velocidades do efluente no interior dos filtros que passam a não permitir a obstrução do leito filtrante, mas proporcionam seu carreamento e remoção conjunta de biossólidos com o efluente final.

UASB

As ETEs estudadas compostas por unidades de reatores do tipo UASB foram: Vila 3 Marias e Tarrafas.

O primeiro quesito avaliado questionou sobre a excessiva presença de areia no interior do reator, as estações estudadas afirmaram apresentar esse problema que pode ser atribuído a falhas na etapa preliminar do sistema de tratamento.

Uma melhor eficiência dos reatores UASB esta condicionada à minimização da entrada de materiais grosseiros e areia, advindas dos esgotos afluentes, no reator (RAMOS, 2008).

Com relação ao volume de lodo excedente e a frequência de sua remoção tanto a ETE Vila 3 Marias, como a Tarrafas não apresentam qualquer metodologia de retirada sendo esse removido de forma arbitrária. No caso da ETE tarrafas a remoção ocorre em período quinzenal.

Uma das atividades mais importantes na rotina operacional de um reator do

tipo UASB consiste na determinação do volume de biomassa no interior da unidade. Isso facilitará a determinação da frequência e da quantidade de lodo que deve ser removido, com consequência direta na eficiência do tratamento (RAMOS, 2008).

De acordo com o monitoramento existente nos reatores relacionados a ETE Vila 3 Marias não apresenta variações de eficiência. Já na ETE Tarrafas ocorre variação de eficiência ao longo do tempo, podendo esse ser proporcionado pelo descarte inadequado do lodo no reator. Todo o lodo removido em ambas as estações segue para o leito de secagem e aguarda disposição final.

UASB e Pós-Tratamento

As ETEs estudadas compostas por unidades de reatores do tipo UASB seguido de Pós-tratamento foram:

- ETE Herval – sistema UASB seguido por filtro anaeróbio, decantador lamelar e lagoa de polimento;
- ETE Centro de Eventos – sistema UASB seguido de filtro aerado submerso.

Relativo à lavagem de gases a ETE Herval apresenta sistema de tratamento para odores, por lavagem com a cal, porém esse encontrasse inativo.

Foi identificado que as estações apresentam o problema de passagem de material sólido (lodo) juntamente com o efluente final.

Para o sistema de pós-tratamento do reator UASB da unidade do Centro de Eventos, que é composta por filtro anaeróbio de fluxo ascendente, apresenta-se o arraste do leito filtrante juntamente com biossólidos no efluente final do sistema. Não foi verificado qualquer problema de odor ou obstrução do leito filtrante, de forma que o arraste do material no filtro pode ser decorrente da aplicação de elevadas taxas no interior da unidade.

Referente ao pós-tratamento aplicado a ETE Herval relacionado, ao filtro submerso aerado, não foi verificado a presença de odor desagradável nem obstrução do leito filtrante, que é composto de bobs de pvc. Entretanto ocorre arraste do leito filtrante decorrente do rompimento da tela de proteção para as unidades a jusante. A unidade de filtração é recente por isso nunca foi realizada sua limpeza. Quando necessário às águas de lavagem serão encaminhadas para o leito de secagem.

Com relação à unidade de decantação existe a geração de espuma em sua superfície, sendo essa removida pelo operador. A unidade não apresenta qualquer odor desagradável ou qualquer monitoramento do efluente final. Há a existência de flocos em sua superfície e o lodo descartado sofre recirculação no sistema.

Por fim, relacionado à lagoa de polimento essa não apresenta odor desagradável ou proliferação de inseto, mas é notório o crescimento de vegetação no interior da lagoa, entretanto não se observa demais problemas existentes.

5. CONCLUSÃO

Dentre os resultados observados na avaliação dos questionários aplicados aos gestores e operadores, bem como nas visitas às estações de tratamento de esgoto foi possível concluir que:

Dos Gestores

- ✓ Foi observado que alguns gestores não apresentam formação na área ambiental;
- ✓ Com relação ao grupo técnico, foi observada a necessidade de um maior número de profissionais para realização das atividades diárias nas estações;
- ✓ A estrutura orçamentária das estações não é satisfatória para a realização das atividades de manutenção e ampliação quando necessário.

Tratamento Preliminar

- Na maioria das estações de tratamento as grades sofrem constante obstrução pela presença de sólidos grosseiros e encontravam-se oxidadas, quebradas ou colocadas de forma incorreta;
- Foi identificado odor desagradável para essas unidades em todas as estações;
- Com relação às caixas de areia foi observado o arraste do material sedimentado, na maioria das estações;
- Quanto aos medidores de vazão 70% das estações não apresenta esse equipamento.

Tratamento Primário, Secundário e Terciário

Lagoa Sem Aeração

- As estações apresentaram, em sua maioria problemas, de odor, proliferação de insetos e crescimento de vegetação no interior da lagoa;
- Notou-se a presença de muita biomassa sendo descartada conjuntamente com o efluente final.

Decanto Digestor e Filtro Anaeróbio

- Ocorre a passagem de material particulado entre as unidades, o qual deveria ficar retido;
- Com relação aos filtros ocorre problema de saída do material filtrante em alguns momentos.

UASB

- No reator ocorre a presença excessiva de areia;
- Não existe metodologia para o cálculo do volume de retirada de lodo;
- A frequência de retirada do lodo é aleatória;
- No processo de saída do efluente ocorre o arraste do lodo com o efluente tratado.

Pós-Tratamento de UASB

- No caso da unidade de filtro submerso aerado foi identificado o rompimento da tela de proteção em uma das estações avaliadas;

Dentre as possíveis soluções a serem aplicadas as estações de tratamento de esgoto com o objetivo de solucionar os problemas podem citar-se:

- ✓ Promover a qualificação adequada dos gestores e contratação de maior corpo técnico;
- ✓ Levantamento e divisão dos problemas em relação à prioridade de solução;
- ✓ Adotar a constante manutenção preventiva dos sistemas de tratamento de esgoto.

REFERÊNCIAS

BOLZANI, Hugo Renan et al. **Influência das condições operacionais de uma estação de tratamento de esgoto na análise de fósforo total**. In: Encontro Internacional de Produção Científica, 7., 2011, Maringá, Paraná. **Anais...** . Maringá: Epcc, 2011.

BOLZANI, Hugo Renan. **O efeito da manutenção e das condições operacionais no desempenho de estações de tratamento de esgoto**. 2011. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Urbana, Universidade Estadual de Maringá Centro de Tecnologia, Maringá, 2011.

FERNANDES, Adelaide Cristina. **Tratamento de efluentes em indústrias frigoríficas por processos de anaerobiose, utilizando reatores compartimentados em forma de lagoas**. 2008. 41 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Gestão Ambiental, Universidade Estadual de Goiás, Morrinhos, GO. 2008.

GOMES, Samuel Belo Venâncio; NASCIMENTO, Clístenes Wilians Araujo; BIONDI, Caroline Miranda. **Produtividade e composição mineral de plantas de milho em solo adubado com lodo de esgoto**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, p.459-465, 2007.

MENEZES, Dayse de Oliveira; SILVINO, Guilherme; CARVALHO NETO, Absalão. **Orientações básicas para operação de estações de tratamento de esgoto - ETEs**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 52 p. 2006.

MORTARI, Renata. **Estação de tratamento de esgoto do sistema Embuguaçu**. 2005. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2005.

PECORA, Vanessa. **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP – estudo de caso**. 2006. 153 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PEDRUZZI, Danielle Cristine; SOUZA, Edmilson de. **Estudo do impacto das emissões de sulfeto de hidrogênio de estações de tratamento de esgoto de dourados**. In: ENCONTRO DE ENSINO PESQUISA E EXTENSÃO, 11. 2013, Dourado. **Anais...**. Campo Grande: Enic, v. 5. 2013.

PRADO, Gustavo Silva do. **Concepção e estudo de uma unidade compacta para tratamento preliminar de esgoto sanitário composto por separador hidrodinâmico por vórtice e grade fina de fluxo tangencial**. 2006. 245 f. Tese (Doutorado) - Curso de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

RAMOS, Ricardo Augusto. **Avaliação das rotinas operacionais e de manutenção em reatores uasb: o caso das estações de tratamento de esgotos no Distrito Federal do Brasil**. *Revista Aidis: de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica.*, [S.i], p.108-119, 2010.

RAMOS, Ricardo agosto. **Avaliação da influência da operação de descarte de lodo no desempenho de reatores uasb em estações de tratamento de esgoto no Distrito Federal**. 2008. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

ROCHA, Luís Alexandre Maba Germann da. **Prevenção de riscos ocupacionais em estações de tratamento de esgoto**. 2012. 54 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Segurança do Trabalho, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2012.

SALGADO, Vivian Gulo. **Proposta de indicadores de ecoeficiência para o transporte de gás natural**. 2004. 248 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

SCHIRMER, Waldir Nagel; OLIVEIRA, Gabriela Laila de. **Desodorização de efluentes líquidos tratados em leito de zona de raízes (“Wetlands”)**. Revista Tecnológica, Santa Cruz do Sul, p.11-19, 2010.

SILVA, Jéssica Luara Daluz Jales. **Levantamento da situação da estação de tratamento de esgoto de cajazeiras no bairro cajazeiras na cidade de Mossoró - RN**. 2011. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharel em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semiárido Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas Curso de Ciência e Tecnologia, Mossoró, 2011.

TOMIELLO, Erick Christian. **Análise dos resíduos sólidos de desarenador do tratamento preliminar de esgotos sanitários da cidade de Maringá - PR**. 2008. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Urbana, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

ABSTRACT: In order to promote public health is fundamental importance to management of sewage. In the state of Ceará, this function is delegated to Water and Sewage Company of Ceará - CAGECE. In this study, we evaluated the major operational problems present in some sewage treatment plants in the CAGECE. The problems were assessed through questionnaires applied to managers and operators and technical visits units also. These results were observed with several major problems, such as: the lack of trained professionals and insufficient financial resources for the management of sewage treatment plants for concluding that there can be a real treat effluent some measures should be taken to correct the problems observed.

KEYWORDS: Sewage treatment plants, Operational problems and Preliminary treatment.

CAPÍTULO XVII

COMPARATIVO DE BIORREMEDIAÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS POR GASOLINA

**Diego Moreira da Silva
Marcela Penha Pereira Guimarães
Raphael Moreira Alves
Francisco Roberto Silva de Abreu**

COMPARATIVO DE BIORREMEDIAÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS POR GASOLINA

Diego Moreira da Silva

EESC/USP

São Carlos-SP

eng.laum@gmail.com

Marcela Penha Pereira Guimarães

Instituto De Pesquisas Tecnológicas De São Paulo – IPT

São Paulo

marcelappg@ipt.br

Raphael Moreira Alves

Centro Universitário de Volta Redonda (UniFoa)

raphaelmoralves@gmail.com

Francisco Roberto Silva de Abreu

Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA)

francisco.abreu@foa.org.br

RESUMO: Este artigo visa comparar experimentalmente solos que sofreram contaminação por gasolina e promover a descontaminação do mesmo através de bioremediação. Em 4 tanques com amostras de solo previamente preparados, fez-se uma simulação de contaminação por gasolina, e após a simulação, aplicou-se a técnica de biorremediação, que consiste na inserção de novos organismos específicos para o problema (Tanque 4). Além disto, também analisou-se a evaporação do combustível no solo esterilizado (Tanque 1), sua decomposição no solo em condições naturais (Tanque 3) e sua decomposição diante de uma bioestimulação (Tanque 4). Durante 6 dias, coletou-se amostras que indicaram as concentrações de gasolina em cada um dos tanques. Em seguida, através de um cromatógrafo, obteve-se a concentração de gasolina nos solos. Os resultados indicam que a evaporação da gasolina no solo foi de 13,94% e o consumo de gasolina pelas bactérias já existentes no solo representou 4,93%. A técnica de bioestimulação com a solução de nutrientes consumiu 20,52% e a técnica de biorremediação que desconsiderando a evaporação representou 80,73% do consumo de gasolina. A partir destes resultados, fica claro que a biorremediação contribui significativamente para a remediação de solos contaminados com gasolina.

PALAVRAS-CHAVE: Biorremediação, Gasolina, Solo e Contaminação.

1. INTRODUÇÃO

As reservas provadas de petróleo no mundo atingiram a marca de 1,65 trilhões de barris em 2011, após um aumento de 1,88% em relação a 2010. As Américas do sul e central apresentaram alta de 0,19%, impulsionados pelo Brasil e pela Colômbia, que viram suas reservas crescerem 5,64% e 4,61%. Com este

incremento, em parte devido às descobertas na área do pré-sal, as reservas Brasileiras chegaram a 15,1 bilhões de barris de petróleo, e situou o Brasil na 14ª posição do Ranking Mundial.

Diante destes dados, segundo a Agência Nacional do Petróleo (ANP, 2012), no Brasil existiam 16 refinarias, 54 terminais aquaviários e 33 terminais terrestres, 329 bases de distribuição, 131 distribuidoras, 39.027 postos de revenda e uma comercialização de aproximadamente 309 mil m³/dia dos principais derivados de petróleo.

Diante de todos esses dados de produção, a contaminação de águas subterrâneas por vazamentos em postos de combustíveis é uma realidade e a cada dia, vem merecendo cada vez mais atenção tanto da população em geral como dos órgãos estaduais de controle ambiental. Vê-se a necessidade de avaliar o problema e analisar as formas mais adequadas de remediação dos locais contaminados e dar ênfase às ações corretivas baseadas no risco ambiental, ao uso da remediação natural e aos possíveis efeitos que a mistura do etanol à gasolina podem causar em caso de contaminação de aquíferos.

A Biorremediação é o processo pelo qual organismos vivos tais como, microrganismos, fungos, plantas, algas verdes ou suas enzimas são utilizados para reduzir ou remover - remediar - contaminações no ambiente. Utilizando processos biodegradáveis para tratamento de resíduos este processo é capaz de regenerar o equilíbrio do ecossistema original.

Especificamente, a biorremediação atua através da introdução de processos biológicos adicionais para a decomposição dos resíduos que favorecem e incrementam a velocidade do processo natural de degradação.

Como na década de 70 houve um grande aumento do número de postos de gasolina no país, é de se supor que a vida útil dos tanques de armazenamento, que é de aproximadamente 25 anos, tenham chegado ao final, o que, conseqüentemente, pode aumentar a ocorrência de vazamentos nos postos do país.

2. OBJETIVO

O trabalho tem como objetivo fazer um comparativo entre situações de contaminação e biorremediação a fim de promover a descontaminação do solo, dentro dos padrões vigentes da legislação atual, minimizando ao máximo os impactos ambientais que podem ocorrer ao meio ambiente e, conseqüentemente, restabelecer o equilíbrio ecológico do local afetado, utilizando de métodos naturais utilizados para a remediação evitando, assim, problemas secundários.

3. METODOLOGIA

DADOS PARA O PROJETO PILOTO

O projeto piloto se baseia em um acidente ocorrido em julho de 2006 em Diadema - SP, onde supostamente um posto de combustíveis, operado por uma rede comercial, contaminou o solo com cerca de 200 mil litros de gasolina. A área afetada tem, aproximadamente, 420.000 m² e os moradores do local reclamam dos fortes odores de vapor de gasolina que emanam do solo. (Fecombustíveis, 2008)

Levando-se em consideração que as concentrações são maiores quanto mais se aproxima da fonte de contaminação, adotou-se que a área simulada seria de 3300m² para um tanque de 0,16 m², com isso tem-se uma proporção de 1:2.000.000. Conseqüentemente, a proporção de combustível injetada no solo segue a mesma proporção, sendo a quantidade de 100mL para o projeto piloto.

A figura 3.1 mostra uma imagem de satélite indicando as áreas contaminadas e consideradas na análise.

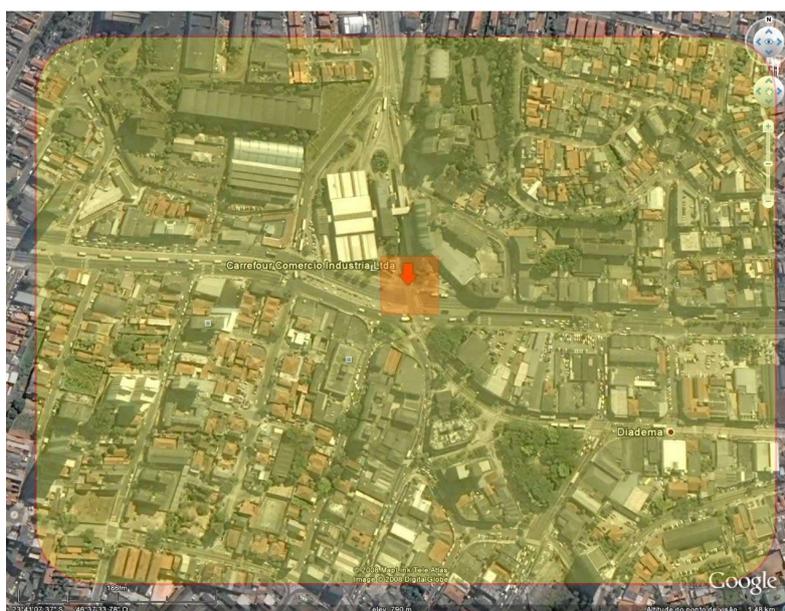


Figura 3.1 – Área de Contaminação em Diadema-SP (Google Earth, 2004)

A marcação em amarelo mostra a área contaminada pelo vazamento, enquanto que, a área em laranja indica os 3300 m² em torno do foco de vazamento. Considerando esta como uma zona altamente saturada de gasolina, a concentração pode ser dada como uniforme devido a poucas variações nesta pequena área.

IDENTIFICAÇÃO E PREPARAÇÃO DO SOLO

Para identificação do tipo de solo utilizado, foi seguido a ABNT NBR7181/84. O resultado da análise Granulométrica do solo encontra-se na figura 3.2.

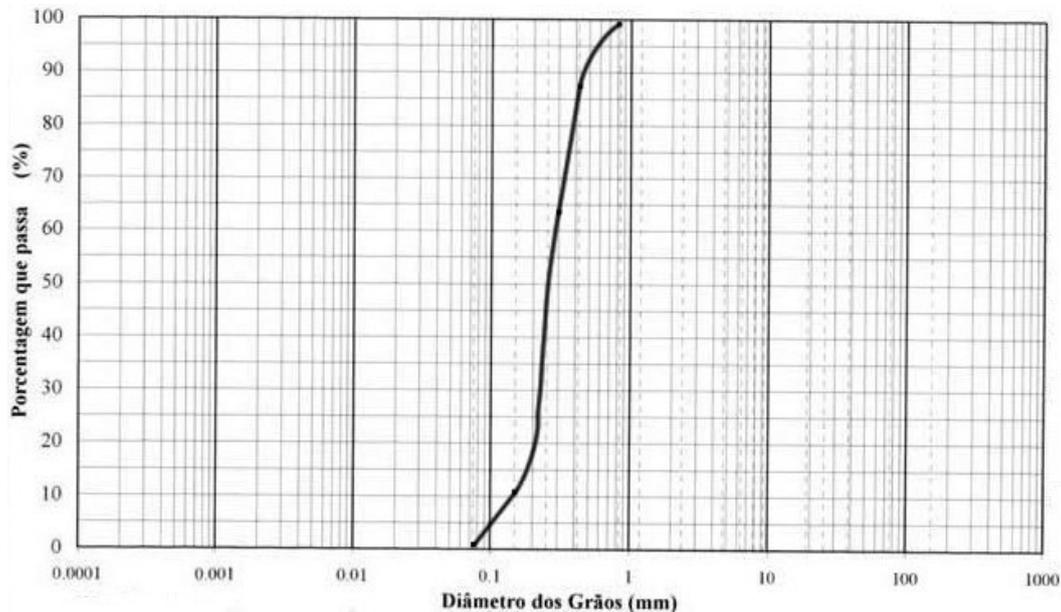


Figura 3.2 - Curva Granulométrica do Solo

Diante dos resultados no gráfico, observa-se que a predominância do solo é de areia fina, com uma pequena porcentagem de areia média.

Em seguida foi feita a determinação da umidade do solo, para isso pesou-se uma porção de solo o qual foi submetido à estufa por 24 horas a 150°C. Considerando a densidade da água igual a 1 kg/L, conclui-se que subtraindo a massa de solo inicial pela final obtêm-se a massa de água perdida por evaporação, portanto, a relação de quantidade de água por porção de solo. A importância da determinação da umidade advém de que quando se esteriliza o solo, ele perde sua umidade, então, é necessário retornar a mesma, utilizando água destilada para não haver contaminação.

DEFINIÇÃO DO SOLVENTE PARA ARRASTE

Para definir qual o melhor solvente de arraste da gasolina no solo, foi necessário fazer testes no cromatógrafo. A finalidade destes testes foi identificar qual solvente de alta massa molecular faria o arraste sem que sua curva no cromatograma se sobrepusesse à gasolina. Primeiro foi traçada a curva da gasolina usada como contaminante do solo no piloto. A figura 3.3 mostra o cromatograma encontrado.

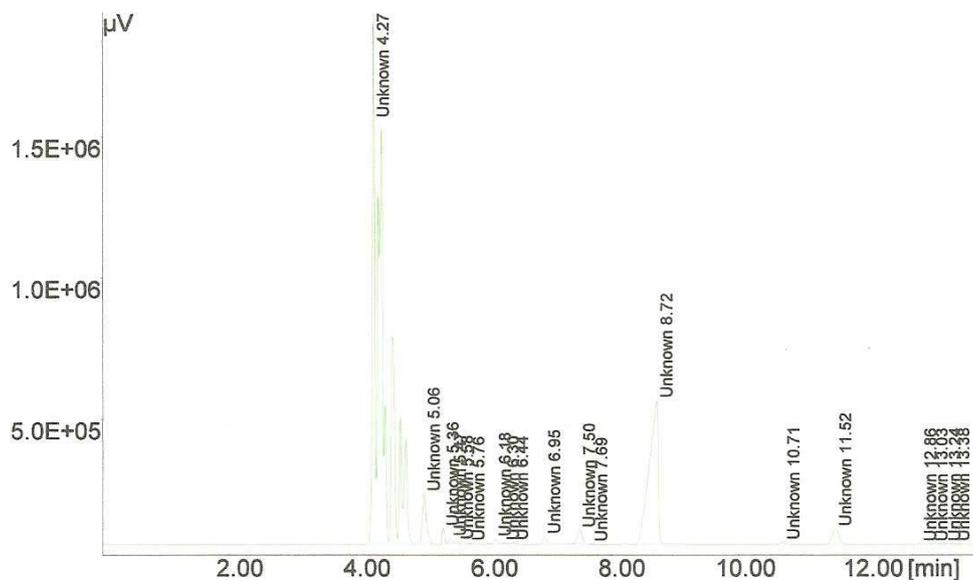


Figura 3.3 – Cromatograma da gasolina utilizada

Observado o cromatograma pode-se concluir que a gasolina tem seu pico em, aproximadamente, 4 minutos. Os picos seguintes são outros compostos não identificados, presentes na gasolina, e o pico logo após os 8 minutos é o etanol, que é misturado à gasolina.

A partir desses dados, se fez necessário a identificação de um solvente cujo pico não se encontrasse próximo ao tempo de identificação da gasolina. Os solventes utilizados para o teste foram o Éter de Petróleo (Figura 3.4), I-Octano (Figura 3.5) e Xileno (Figura 3.6).

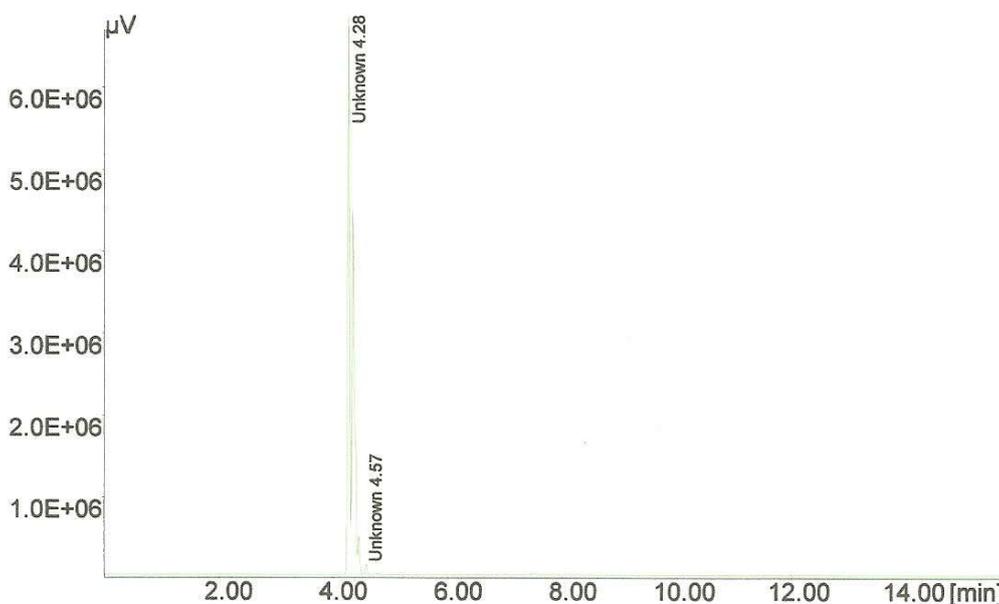


Figura 3.4 – Cromatograma o Éter de Petróleo.

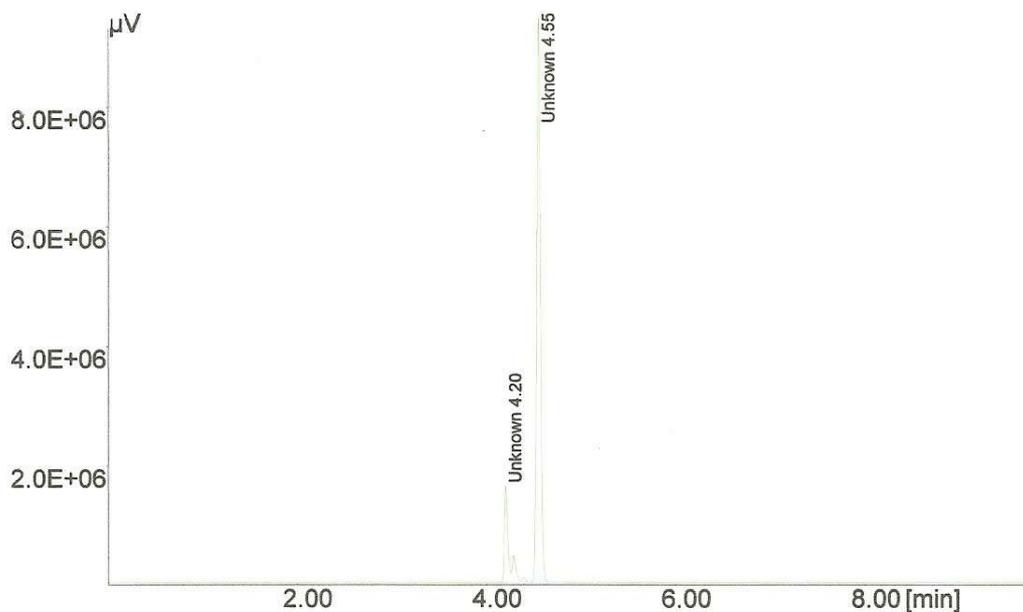


Figura 3.5 – Cromatograma do 1-octano

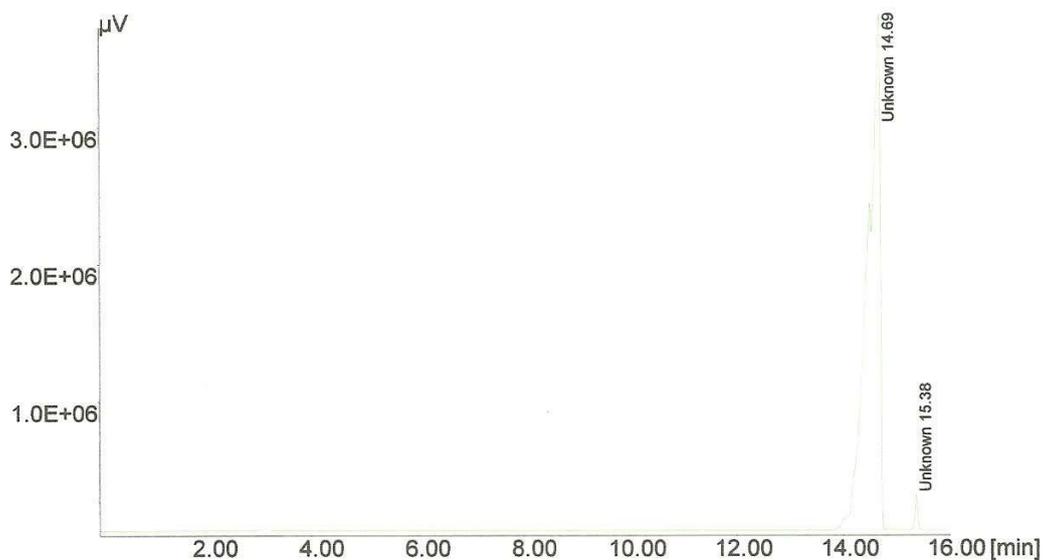


Figura 3.6 - Cromatograma do Xileno

Diante de tais resultados, fica claro que tanto o Éter de Petróleo quanto o 1-octano tem seus picos de caracterização muito próximos dos 4 minutos e, portanto, poderiam ser facilmente confundidos com o pico da gasolina. O pico do Xileno se mostrou em 14 minutos, o que o fez ser o melhor solvente para o experimento.

DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO

Após a escolha do solvente de arraste, cada um dos 4 tanques foi preenchido com 48 litros do solo selecionado.

O primeiro tanque (Tanque 01) recebeu solo esterilizado em estufa a 150 °C por 24 horas e posteriormente devolvida sua umidade original. Neste tanque foi feito a medição da quantidade de gasolina que se desprende do solo por evaporação.

O segundo tanque (Tanque 02) recebeu o solo natural, isto é, recebeu o solo coletado sem nenhum tipo de alteração. Este demonstrou que a quantidade de gasolina pode ser degradada com as bactérias já presente em um solo em que nunca houve esse tipo de contaminação.

O terceiro tanque (Tanque 03) recebeu o solo em estado natural e foi injetado 1mL de uma solução de nutrientes, composta de 5% de Ca, 2% de K, 2% de Mg, 0,02% de Cu, 0,01% de Zn, 0,01% de Mn e 3% de P.

O quarto tanque (Tanque 04) recebeu o solo em estado natural e 1mL de lodo de um pequeno corpo d'água que sofreu contaminação por gasolina.



Figura 3.7 Foto dos tanques ensaiados

A figura 3.7 mostra os tanques que foram ensaiados, os quais estão dispostos da seguinte forma: (a) Tanque 01, (b) Tanque 02, (c) Tanque 03 e (d) Tanque 04.

A figura 3.8 mostra a localização aérea do corpo d'água que deu origem ao lodo, o qual está situado no município de Pinheiral, RJ.



Figura 3.8 - Corpo d'água de origem do lodo (Google Earth, 2013).

A injeção de contaminantes e nutrientes foi feita através de um tubo de vidro cravado no solo a uma profundidade de 10cm. Este valor se baseia nos tanques de postos de gasolina que se encontram em até 10m de profundidade, obedecendo, então, a uma proporção de 1:100.

O procedimento de coleta de amostras consistiu em coletar 50g do solo contaminado, coloca-lo num balão de separação (destilação) juntamente com 50mL de xileno e agitá-lo. Após 2 minutos de agitação, a solução foi passada por papel filtro com sulfato de sódio anidro, afim de, remover a água. A solução filtrada foi coletada em frascos e levada ao cromatógrafo, obtendo-se, então, os gráficos de resultados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na tabela 1 encontram-se os resultados da concentração da gasolina no solo representada em porcentagem em meio ao solvente de arraste e outras substâncias da própria gasolina.

	1º Dia	2º Dia	3º Dia	4º Dia	5º Dia	6º Dia
Tanque 01	0,165%	0,160%	0,158%	0,155%	0,151%	0,142%
Tanque 02	0,159%	0,151%	0,148%	0,142%	0,138%	0,129%
Tanque 03	0,177%	0,169%	0,160%	0,152%	0,141%	0,116%
Tanque 04	0,169%	0,152%	0,131%	0,092%	0,024%	0,009%

Tabela 1 - Resultados da Concentração da Gasolina no Solo

Estes valores representam a porcentagem de gasolina dentro da solução composta pelo solvente de arraste e outros contaminantes possíveis presentes no solo. Como o objetivo do estudo foi comparar a decomposição da gasolina no decorrer dos dias, foram considerados somente os valores obtidos pela gasolina nos cromatogramas, como mostra a tabela 1.

Considerando somente a gasolina, no primeiro dia ter-se-ia uma concentração de 100%, logo pode-se acompanhar a decomposição da gasolina no solo considerando os resultados encontrados na tabela 1, conforme exposto na tabela 2.

	1º Dia	2º Dia	3º Dia	4º Dia	5º Dia	6º Dia
Tanque 01	100%	96,97%	95,76%	93,94%	91,52%	86,06%
Tanque 02	100%	94,97%	93,08%	89,31%	86,79%	81,13%
Tanque 03	100%	95,48%	90,40%	85,88%	79,66%	65,54%
Tanque 04	100%	89,94%	77,51%	54,44%	14,20%	5,33%

Tabela 2 - Concentração da Gasolina no Solo

Observando os dados acima, nota-se claramente que durante os 06 dias que compreenderam entre 07 de Outubro de 2008 à 12 de Outubro de 2008, a diminuição de concentração de gasolina no solo por evaporação foi de 13,94%.

O consumo de gasolina pelas bactérias já existentes no solo representou 4,93% durante o período.

As mesmas bactérias diante da bioestimulação com a solução de nutrientes consumiu 20,52% do combustível. A inserção de nutrientes no solo conseguiu aumentar o consumo em 416,23% em relação ao Tanque 02, o que representa um grande ganho na decomposição total.

Por último, o Tanque 04 que recebeu o lodo com bactérias ativas, representou um grande nível de decomposição, que desconsiderando a evaporação representou 80,73%. O Ganho em relação ao Tanque 03, somente com nutrientes, foi de 393,42% e com relação ao solo em condições naturais, Tanque 02, de 1637,53%.

5. CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos no experimento, fica claro que a inserção de bactérias específicas no solo contribui significativamente para a remediação de solos contaminados com gasolina. Os resultados demonstram que a bioaugmentação fez com que a decomposição de gasolina superasse a decomposição no solo *in natura* em mais de 16 vezes, quase que eliminando o contaminante completamente em 06 dias. Este processo pode ser aplicado em grandes áreas respeitando uma escala próxima a utilizada.

Este método natural de remoção de gasolina do solo, portanto, é altamente efetivo e associado a um baixo custo principalmente por parte dos compostos

utilizados, sendo que o composto ativo é algo disponível na natureza.

Sugere-se o uso de lodos retirados de locais onde já existiu contaminação por gasolina, pois, nestes locais existem bactérias da própria natureza que são específicas para decomposição deste composto, obtendo, assim, uma redução de gasolina do local contaminado muito mais rápido.

Também é aconselhável a inserção de um mix de nutrientes como o utilizado no piloto, a fim de, suprir a possível carência dos mesmos no solo contaminado, assegurando o desenvolvimento bacteriano no local com maior eficiência no processo.

AGRADECIMENTOS

Este artigo foi originalmente publicado no 15° Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, promovido pela Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE) a quem agradecemos a gentileza da autorização para esta republicação.

Os autores gostariam de agradecer ao Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA) por ceder os laboratórios e o auxílio dos técnicos de laboratório, e em especial ao professor Anderson Gomes, pois sem seu auxílio e o espaço cedido pela UniFOA este artigo não seria possível.

REFERÊNCIAS

ANP (2012). **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**

BORGES, Andrea Ferreira; BARROSO, E. V. **Análise da utilização de geofísica e biorremediação em problemas de contaminação de solo e água subterrânea.** Anuário do Instituto de Geociências/UFRJ, Rio de Janeiro, v. 20, p. 107-142, 1997.

BOULDING, J. R. **Practical handbook of soil, vadose zone, and ground-water contamination.** Assessment, prevention, and remediation. Boca Raton: Lewis, 948p., 1995.

GUERRA, R. C.; ANGELIS, D. F. **Classificação e biodegradação de lodo de estações de tratamento de água para descarte em aterro sanitário.** Arquivos do Instituto Biológico, v. 72, p.87-91, 2005.

PALMA, J. B.; ZUQUETTE, L. V. **Principais técnicas de remediação – importância dos atributos geológico-geotécnicos.** Geociências, v. 17, p. 559-590, 1998.

RISER-ROBERTS, E. **Bioremediation of petroleum contaminated sites.** Boca Ratón,

FL. CRC Press, 1992.

UNTERMAN, R. **A history of PCB biodegradation**. Em: CRAWFORD, R. L., CRAWFORD, D. L. (eds.). *Bioremediation: Principles and Applications*. University Press, Cambridge p. 209–253, 1996.

CAPÍTULO XVIII

DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE NATURAL À CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO E SUPERFÍCIE POTENCIOMÉTRICA EM TAQUARUÇU DO SUL - RS

**Gabriel D'Avila Fernandes
José Luiz Silvério da Silva
Willian Fernando de Borba
Lueni Gonçalves Terra
Carlos Alberto Löbler
Edivane Patrícia Ganzer**

DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE NATURAL À CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO E SUPERFÍCIE POTENCIOMÉTRICA EM TAQUARUÇU DO SUL - RS

Gabriel D'Avila Fernandes

Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Geociências
Santa Maria – RS.

José Luiz Silvério da Silva

Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Geociências
Santa Maria – RS.

Willian Fernando de Borba

Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Engenharia e Tecnologia
Ambiental
Frederico Westphalen – RS.

Lueni Gonçalves Terra

Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Geociências
Santa Maria – RS.

Carlos Alberto Löbler

Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Geociências
Santa Maria – RS.

Edivane Patrícia Ganzer

Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Geociências
Santa Maria – RS.

RESUMO: Com o aumento da exploração dos recursos hídricos subterrâneos e a percepção da necessidade de uma eficiente gestão dessas reservas, surgem variados estudos que objetivam colaborar com as políticas de gerenciamento. Entre esses, metodologias que determinam a vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação. Assim, utilizando uma dessas metodologias, o sistema GOD, objetivou-se determinar a vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação, no município de Taquaruçu do Sul, localizado no noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Os índices de vulnerabilidade variaram de insignificante a médio. Isso está fortemente correlacionado com a formação geológica local, caracterizada pela presença de rochas basálticas formadoras do Sistema Aquífero Serra Geral, em zona de confinamento. Porém, na área de estudo destaca-se as atividades de criação de suínos que podem vir a contaminar as águas subterrâneas, através dos despejos no solo, em culturas agrícolas e pastagens, principalmente.

PALAVRAS-CHAVE: Recursos hídricos subterrâneos; suinocultura, zona de confinamento.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento desenfreado dos centros urbanos, e a conseqüente falta de infraestrutura, como a implantação redes coletoras de esgoto sanitário, acarretam

prejuízos aos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Nesse sentido torna-se ímpar o desenvolvimento de estudos ambientais que objetivam a gestão eficaz das reservas hídricas, em especial, os aquíferos, importantes reservatórios de água no subsolo, e que são responsáveis pelo armazenamento da maior parte da água doce disponível para o consumo humano (IRITANI; EZAKI, 2012).

Para Azevedo e Albuquerque Filho (1998), os aquíferos são rochas que armazenam água e permitem sua circulação. Maciel Filho (2008) diz que os aquíferos são alimentados pela água da chuva que infiltra no solo (recarga), podendo apresentar uma condição livre (quando o limite da água serve como limite superior da zona de saturação, se a mesma for permeável), ou uma condição confinada (se o nível superior da água estiver sob pressão maior que a atmosférica, por estratos subjacentes impermeáveis).

Dentre os estudos que contemplam o gerenciamento das reservas subterrâneas de água, destaca-se como uma das principais, a determinação da vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero. Feitosa & Manoel Filho (2008) a definem, como sendo a susceptibilidade intrínseca em que o meio aquífero pode ser afetado adversamente por uma carga contaminante antrópica produzida na superfície do terreno.

Segundo Guiguer e Kohnke (2002), a vulnerabilidade está baseada no fato de que as características físicas dos aquíferos oferecem um grau de proteção às águas subterrâneas contra diversos tipos de contaminação. Nesse mesmo sentido, Ribeiro et al. (2011) afirmam que a vulnerabilidade natural das águas subterrâneas, correspondem diretamente a capacidade das características hidrodinâmicas e litológicas do aquífero, de forma que essas venham a impedir determinados impactos naturais ou antrópicos sobre o aquífero.

Em relação as áreas mais vulneráveis à contaminação, a OEA/PEA/GEF (2009) identificam as zonas de afloramento e de recarga como as mais vulneráveis, diferentemente da zona de forte confinamento que apresenta vulnerabilidade nula. Já as zonas de confinamento próximo, podem apresentar baixa vulnerabilidade ou nula, se a camada de basalto for inferior a 100 metros e não apresentar fraturas abertas no aquífero fissural.

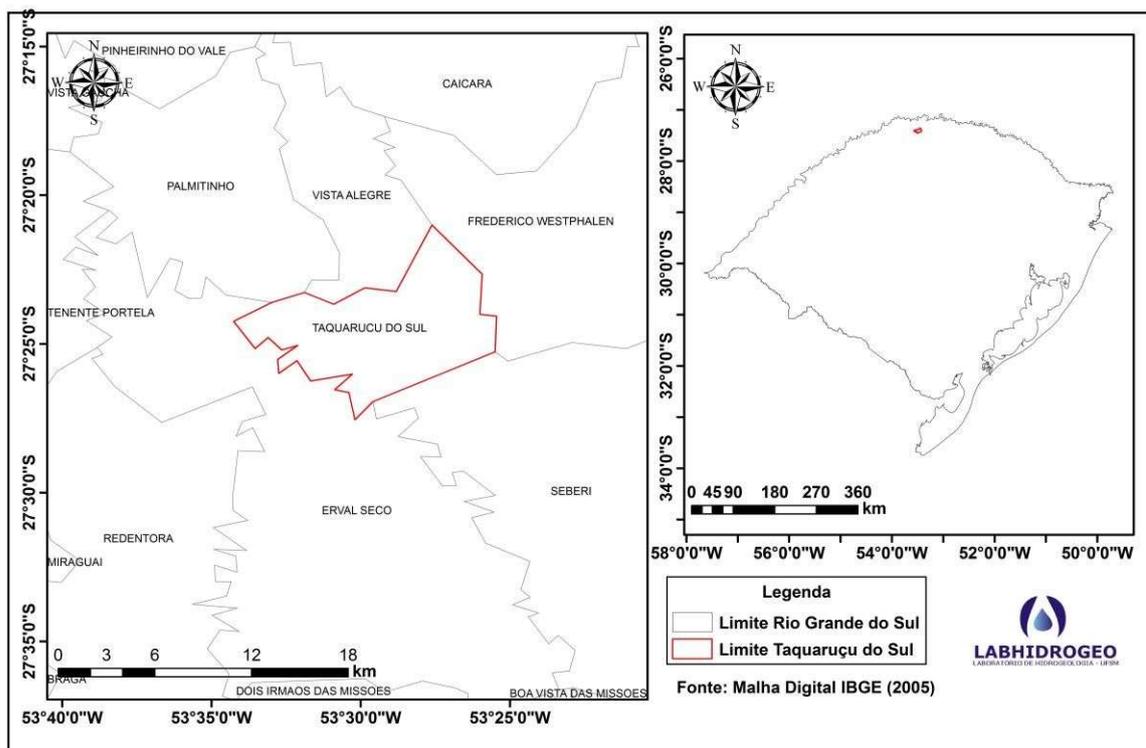
Para a identificação da vulnerabilidade natural à contaminação das águas subterrâneas o sistema utilizado foi o GOD (G - *groundwater occurrence*, O - *overall litology of aquifer* e D - *deph of water*) descrito por Foster et. al (2006), através de informações obtidas no *sítio* da Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM), no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS). Com base nisso, o presente estudo tem por objetivo determinar a vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero Serra Geral I no município de Taquaruçu do Sul, Rio Grande do Sul-RS, localizado em uma região produtora de suínos na zona rural.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

2.1. Localização da área de estudo

O município de Taquaruçu do Sul está localizado na região noroeste do estado do RS, próximo à divisa com o estado de Santa Catarina. Apresenta, de acordo com o censo demográfico de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), uma população de 3.084 habitantes. Desses, 1.164 habitam a zona urbana e 1.802 habitam a zona rural, o município ainda conta com uma área de 76,849 km², pertencente a Bacia Hidrográfica do Rio da Várzea – U 100 (SEMA, 2005). Segundo a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (FEPAM, 2015), tal bacia situa-se no norte do Estado do RS, abrangendo 55 municípios, com uma área de drenagem de 9.324 km² e com uma população de 328.057 habitantes, onde predominam como atividades econômicas a agricultura, com lavouras de soja, trigo e milho, bem como avicultura e suinocultura. A Figura 1 ilustra a localização do município de Taquaruçu do Sul – RS.

Figura 1 - Localização do município de Taquaruçu do Sul – RS



2.2. Caracterização geológica e Hidrogeológica

Na área de estudo, está presente a Formação Serra Geral, Fácies Paranapanema. Segundo a CPRM (2007) essa formação constitui-se por derrames

basálticos granulares finos, melanocráticos, contendo horizontes vesiculares, espessos preenchidos com quartzo (ametistas), zeolitas, carbonatos, seladonita, cobre nativo e barita. São rochas de caráter básico, uma vez que apresentam teor em SiO₂ entre 45 e 52% e sem quartzo na matriz (LEINZ; AMARAL, 1975).

No que se refere a Hidrogeologia, no município está presente o Sistema Serra Geral I. Segundo Machado e Freitas (2005) tal sistema constitui-se principalmente de litologias basálticas, amigdalóides e fraturadas, capeadas por espesso solo argiloso avermelhado. Além do mais, apresentam alta a média possibilidade para águas subterrâneas em rochas com porosidades com fraturas.

2.3. Obtenção dos dados

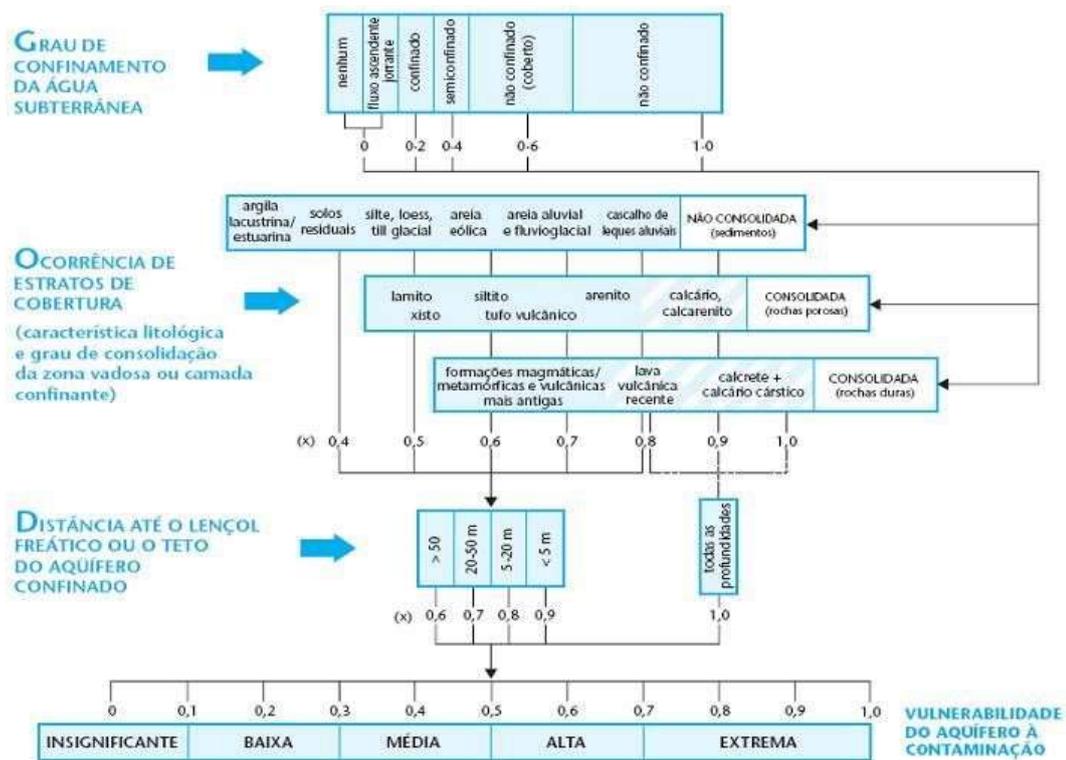
Para a obtenção de dados, foram utilizadas informações obtidas no sítio do SIAGAS, mantido pela CPRM. Com base nisso, foram retiradas informações referentes a doze poços tubulares, onde, com auxílio do *Microsoft Excel* foi criado um banco de dados com suas respectivas coordenadas *Universal Transversa de Mercator* UTM, cota altimétrica e nível estático dos poços.

1.3. Determinação da vulnerabilidade natural a contaminação e superfície potenciométrica

O método GOD, descrito em Foster et al. (2006), leva em consideração os parâmetros G (Grau de confinamento hidráulico da água subterrânea/aquífero), O (Ocorrência de estratos de cobertura) e D (Profundidade/distância até o lençol freático ou o teto do aquífero confinado). Sendo assim, para a determinação do índice de vulnerabilidade, seguiram-se as etapas ilustradas na Figura 2.

O índice de vulnerabilidade é obtido a partir do produto das variáveis GOD, sendo assim, obtém-se a vulnerabilidade natural do aquífero a contaminação, que pode ser classificada como: insignificante (valores entre 0 e 0,1); baixa (0,1 e 0,3); média (0,3 e 0,5); alta (0,5 e 0,7) e; extrema (0,7 e 1). O resultado final foi especializado em um cartograma. A superfície potenciométrica foi obtida a partir da subtração da cota altimétrica e o nível estático. A partir disso, foi utilizado a opção *Grid Vector Map* do software *Surfer 8* (GONDEN SOFTWARE, 2002), ilustrando a superfície potenciométrica em forma de cartograma. Como interpolador, foi utilizado o IDW (*Inverse Distances Weight*) (LANDIM, 2000), sendo que o que apresentou os melhores resultados dentre os interpoladores.

Figura 2 - Etapas necessárias para aplicação do sistema GOD (Foster et al., 2006).



3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo dados da Prefeitura Municipal de Taquaruçu do Sul (2015), o setor agropecuário representa 71 % das atividades desenvolvidas no município, sendo que a suinocultura representa 63,02 % desse percentual. No ano de 2006, o município contava com 391 unidades criadoras de suínos, com aproximadamente 23.909 cabeças (IBGE, 2006), porém, estima-se que esse valor seja ainda maior atualmente, a partir da expansão da atividade no cenário regional. Foster et al. (2006), consideram que esse tipo de atividade possui potencial perigo de contaminação difusa das águas subterrâneas. Com isso, destaca-se a importância da determinação da vulnerabilidade natural do meio.

A suinocultura, como qualquer outra atividade, gera resíduos. A produção diária de efluente por suíno é muito variada, pois depende de vários fatores relacionados ao manejo. Segundo Oliveira (1993) e Diesel et al. (2002), estima-se que cada suíno produza em média 7 litros de dejetos líquidos por dia.

Os dejetos de suínos podem ser utilizados na fertilização das lavouras, acarretando ganhos econômicos, sem comprometer a qualidade do solo e do meio ambiente (Miranda et al., 1999). Porém, seu uso de maneira inadequada pode acarretar em sérios problemas ambientais. Nesse sentido, Konzen (2003) afirma que independentemente da maneira como considerados, os dejetos apresentam alto poder poluente, especialmente para os recursos hídricos, em termos de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), a qual apresenta altas concentrações.

Com isso, os dejetos podem vir a contaminar não somente o solo, mas

também os recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Simioni et al. (2002), afirmam que a contaminação dos recursos hídricos superficiais por dejetos, se dá pelo escoamento superficial do mesmo e deposição nos mananciais. Nesse mesmo sentido, Bertoni (2011), afirma que a utilização dos dejetos em áreas vizinhas as propriedades, está relacionado principalmente ao custo de transporte. Sendo assim, na maioria das vezes, poderá acarretar na saturação do solo, causando danos aos recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

Em estudos envolvendo a qualidade das águas superficiais em áreas ocupadas por atividades de suinocultura, Segnanfredo et al. (2003) encontraram, em quinze pontos amostrados em mananciais superficiais, a presença de coliformes totais em 93 % das amostras e coliformes termotolerantes em 87 % das amostras. Ainda assim, identificaram que o maior índice de contaminação ocorreu em um período chuvoso, o que se explica pela transferência de microrganismos e ou resíduos fecais pela erosão e lixiviação, processos esses comuns em épocas de excesso de águas. Von Sperling (2005) salienta que de forma simplificada, os coliformes totais podem ser entendidos como coliformes “ambientais”, dada a sua possível incidência em águas e solos não contaminados, representado por outros organismos de vida livre, e não intestinal.

Com base nisso, a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 237/1997 (CONAMA, 1997), cita que as atividades criadoras de animais, estão sujeitas ao processo de licenciamento ambiental. Sendo assim, devem seguir uma série de normas e exigências que buscam minimizar os impactos gerados ao meio ambiente, dentre eles, alterações nos parâmetros de qualidade das águas (superficiais e subterrâneas).

A Figura 3 apresenta o cartograma de vulnerabilidade à contaminação natural do aquífero e a tendência de fluxos. As classes variaram de insignificante a média, sendo que de doze poços analisados, onze apresentaram classe insignificante, e apenas uma apresentou classe média de vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação.

No aquífero em estudo, na Formação Serra Geral, foram analisados 11 poços com predomínio de rochas basálticas em uma condição confinada, o que caracterizou uma vulnerabilidade classificada como insignificante. Contudo, apenas um poço apresentou condição livre, constatado pela presença de uma captação com classe de média vulnerabilidade, ilustrado na Tabela 1.

Reginato e Ahlert (2013), em estudo realizado na região noroeste do estado do RS, constataram que áreas onde predominam a vulnerabilidade média, correspondem a regiões das unidades geológicas Gramado e Caxias, relevos com declividades mais baixas, solos de diversos tipos e poços com baixo nível estático. Silvério da Silva et al. (2013), afirmam que no município de Erechim-RS, no aquífero Serra Geral, o índice de vulnerabilidade insignificante e baixa do aquífero a contaminação, correspondem a 0,04 % e 21,08 % da área do município, respectivamente. Os autores Santos et al. (2007), encontraram trinta e nove poços, na classe insignificante, principalmente em pontos próximos a cidade de Quaraí-RS. Essa classe corresponde a aquíferos confinados, geralmente composto por basalto

do SASG.

Ainda na Figura 3, observa-se as linhas de tendência da direção do fluxo, importantes porque mostram o sentido da pluma em caso de contaminação. Verifica-se que a direção do fluxo subterrâneo não apresenta predomínio na orientação, podendo estar relacionado às variadas condições topográficas na área de estudo. É possível ainda, observar que pode ocorrer o direcionamento de contaminação das áreas de maior vulnerabilidade para as de menor.

Figura 3 - Cartograma de vulnerabilidade do aquífero a contaminação.

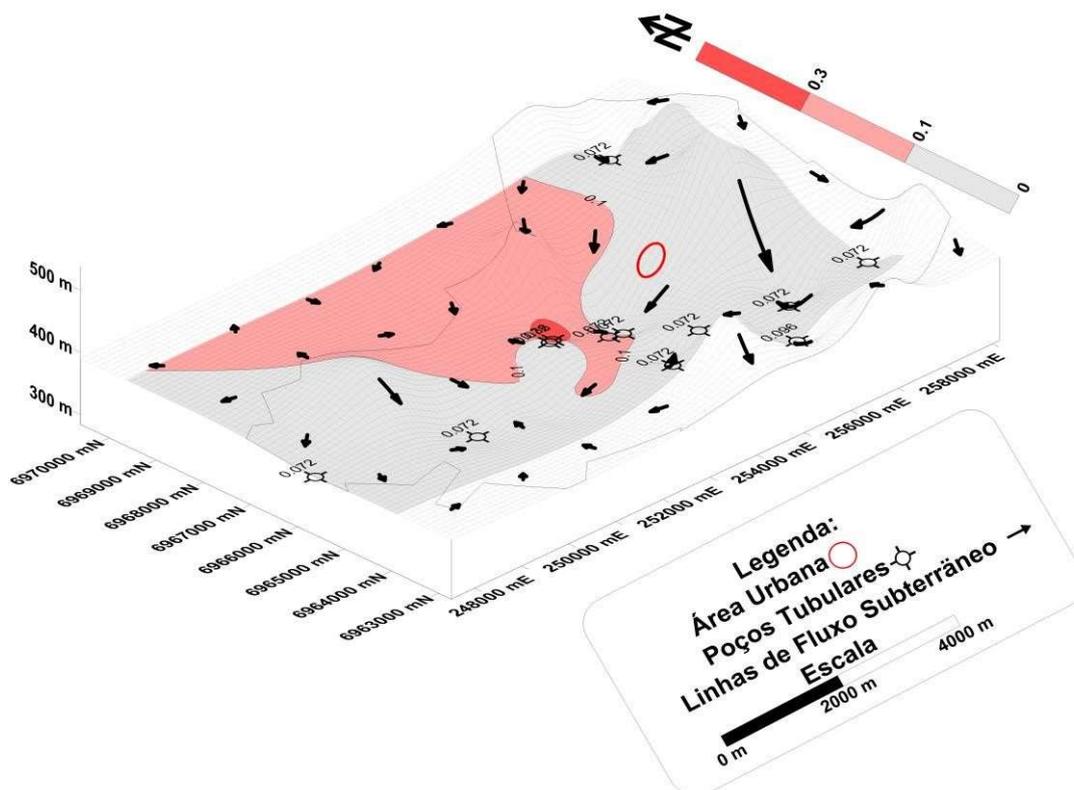


Tabela 1 - Aplicação do Sistema GOD.

Código + (43000)	Coordenadas		G	O	D	GOD	Classe
	UTM E	UTM N					
17346	255994	6963872	0,2	0,6	0,8	0,096	Insig.
21538	252979	6966120	0,2	0,6	0,6	0,072	Insig.
21539	257778	6969634	0,2	0,6	0,6	0,072	Insig.
22540	247503	6965615	0,2	0,6	0,6	0,072	Insig.
21826	255100	6965066	0,2	0,6	0,6	0,072	Insig.
21818	258290	6964659	0,2	0,6	0,6	0,072	Insig.
21824	250737	6965403	0,2	0,6	0,6	0,072	Insig.
21537	254529	6965049	0,2	0,6	0,6	0,072	Insig.
22890	257200	6965253	0,2	0,6	0,6	0,072	Insig.

21822	253829	6966894	1	0,6	0,6	0,36	Média
21819	254913	6966485	0,2	0,6	0,6	0,072	Insig.
21814	255069	6966946	0,2	0,6	0,6	0,072	Insig.

Fonte: SIAGAS/CPRM.

4. CONCLUSÕES

Durante o estudo sobre o Aquífero Serra Geral no município de Taquaruçu do Sul - RS, com a aplicação do sistema GOD, em dados obtidos de doze poços extraídos do SIAGAS, ocorreu o predomínio da classe insignificante. Assim, pode-se dizer que o solo pode suportar atividades antrópicas de baixos perigos de contaminação.

A aplicação do sistema GOD para a identificação da vulnerabilidade dos aquíferos à contaminação vem tornando-se uma importante ferramenta para auxiliar órgãos competentes em uma gestão adequada dos recursos hídricos. Ressalta-se a importância do desenvolvimento de outras metodologias para a comparação e validação bem como estudar complementares da qualidade físico-química e bacteriológica bem como da carga contaminante.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES pelo auxílio financeiro através das bolsas de pós-graduação, dos alunos do mestrado PPGE e PPGEAmb/UFSM.

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, A. A.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L. **Águas subterrâneas**. Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE, 1998.
- BERTONCINI, E. I. Dejetos da suinocultura – desafios para o uso agrícola. **Pesquisa & Tecnologia**, vol. 8, n. 2, Jul-Dez 2011.
- CONAMA. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **RESOLUÇÃO Nº 237, DE 19 DE dezembro DE 1997**. Brasília: MMA, 1997.
- CPRM, COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Mapa Geológico do Rio Grande do Sul, escala 1:750.000**. CPRM, Brasília, 2007.
- DIESEL, R.; MIRANDA, C. R.; PERDOMO, C. C. **Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos**. Concórdia: EMPRAPA - CNPSA, 1993.

DOS SANTOS, E. F.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; DE CHAVES, A.; CAMPONOGARA, I. Vulnerabilidade à Contaminação Das Águas Subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral/Guarani No Município De Quaraí/RS. In: XV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços e I Simpósio de Hidrogeologia do Sul-Sudeste, 2007, Natal/RS. **Anais...** Rio de Janeiro: ABAS, 2007.

FEPAM. FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/bacia_uru_varzea.asp>. Acesso em: 12 Mar. 2014

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C. DEMETRIO, J. G. A. **Hidrogeologia conceitos e aplicações**. 3 ed. Rio de Janeiro: CPRM/LABHIDRO, 2008. 812p.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Proteção da Qualidade da Água Subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agencias ambientais**. Groundwater Management Advisory GW.MATE WB, Washington, 2006. 114 p.

GOLDEN SOFTWARE. **Surfer User's Guide Contouring and 3D Surface Mapping for Scientists and Engineers**. Colorado-USA, 2002.

GUIGUER, N.; KOHNKE, M.W. Métodos Para Determinação Da Vulnerabilidade De Aquíferos. In: XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Águas subterrâneas, 2002, São Paulo/SP. **Anais...** São Paulo: ABAS, 2002.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2010**. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 12 Mar. 2014

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malha Municipal Digital do Brasil: 2005 (escala 1:500.000)**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2005. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas/malhas_digitais/municipio_2005/E1000/Proj_Geografica/Arc_View_shp/Regiao/Sul/>. Acesso em: 14 Nov. 2014.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário de 2006**. Rio de Janeiro: IBGE, 2006.

IRITANI, M. A.; EZAKI, S. **As águas subterrâneas do Estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2012. 104p.

KONZEN, E. A. Fertilização de lavoura e pastagens com dejetos de suínos e cama de aves. In: V Seminário Técnico da Cultura de Milho, 2003, Videira/SC. **Anais...**

Governo do estado: Videira, 2003.

LANDIM, P. M. B. **Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas**. Rio Claro: DGA, IGCE, UNESP, 2000.

LEINZ, V.; DO AMARAL, S. E. **Geologia Geral**. Companhia Editora Nacional. São Paulo. 1975. 360 p.

MACHADO, J. L. F.; FREITAS, M. A. **Projeto mapa hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul: escala 1:750.000, relatório final**. Porto Alegre, CPRM, 2005.

MACIEL FILHO, C. L. **Introdução a geologia de engenharia**. 3 ed. Santa Maria: Editora da UFSM, 2008.310p.

MIRANDA, C. R. de; ZARDO, A. O.; GOSMANN, H. A. **Instrução técnica para o suinocultor - uso de dejetos de suínos na agricultura**. Concórdia: EMPRAPA - CNPSA, 1999.

OEA - ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS AMERICANOS; GEF - GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY. **Projeto de proteção ambiental e desenvolvimento sustentável do Sistema Aquífero Guarani**. Programa Estratégico de Ação – PEA. [S.l.], 2009. 102 p.

OLIVEIRA, P. V. A. de. **Manual de manejo e utilização dos dejetos suínos**. Concórdia: EMPRAPA - CNPSA, 1993.

PREFEITURA MUNICIPAL DE TAQUARUÇU DO SUL. Disponível em: <<http://taquarucudosulrs.com.br/site/pgsobre/economia.php>> Acesso em: 24 mar. de 2014.

REGINATO, P. A. R.; AHLERT, S. Vulnerabilidade do Sistema Aquífero Serra Geral Na Região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 27, n. 2, p. 32-46, 2013.

RIBEIRO, D. M.; ROCHA, W. F.; GARCIA, A. J. V. Vulnerabilidade Natural À Contaminação dos Aquíferos da Subbacia do Rio Siriri, Sergipe. **Águas Subterrâneas**, v.25, n.1, p.91-102, 2011.

SEGANFREDO, M. A.; SOARES, I. J.; KLEIN, C. S. **Qualidade da água de rios numa região de pecuária intensiva de SC**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2003.

SEMA. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Mapa das Bacias Hidrográficas e Municípios do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, SEMA, 2004.

SIAGAS. SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>>. Acesso em: 12 mar. 2015.

SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; DESCOVI FILHO, L. L. V.; LORENSI, R. P.; CRUZ, J. C.; ELTZ, F. L. Vulnerabilidade do Aquífero Serra Geral à contaminação no Município de Erechim - Rio Grande do Sul - Brasil. **Revista Ciência e Natura**, v. 35, n.1, 2013, p. 10 - 23.

SIMIONI, J.; COMIN, J. J.; SEGANFREDO, M. A.; IRGANG, R. Riscos de contaminação do solo, águas subsuperficiais e fitotoxicidade às culturas por cobre e zinco aplicados via dejetos de suínos. In: XXII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2002, Florianópolis/SC. **Anais...** Rio de Janeiro: ABAS, 2002.

VON SPERLING, M. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: UFMG, 2005. 452p.

ABSTRACT: With the increased exploitation of groundwater resources and the perception of the need for an efficient management of these reservations, various studies arise aiming to collaborate with the management policies. Among these methodologies that determine the vulnerability of the aquifer to contamination. So, using one of these methodologies the GOD system aimed to determine the natural vulnerability of the aquifer to contamination in the city of Taquaruçu do Sul, located in the northwest of Rio Grande do Sul State. The vulnerability indices varied from insignificant to medium. It is strongly correlated with the local geological formation characterized by the presence of forming basaltic rocks of the Serra Geral Aquifer System in containment area. However, in the study area stands out the pig breeding activities that may contaminate groundwater through of dumping the waste in soil, crops and pastures, mostly.

KEYWORDS: Groundwater resources; Swine breeding; Confinement zone.

CAPÍTULO XIX

**MAPEAMENTO GEOAMBIENTAL COMO SUBSÍDIO À
SELEÇÃO DE ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DE CENTRAIS
DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS:
APLICAÇÃO AO MUNICÍPIO DE SANTA CRUZ DA
CONCEIÇÃO - SP**

**Hermes Dias Brito
Fábio Augusto Gomes Vieira Reis
Claudia Vanessa dos Santos Corrêa
Lucilia do Carmo Giordano**

**MAPEAMENTO GEOAMBIENTAL COMO SUBSÍDIO À SELEÇÃO DE ÁREAS PARA
IMPLANTAÇÃO DE CENTRAIS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS:
APLICAÇÃO AO MUNICÍPIO DE SANTA CRUZ DA CONCEIÇÃO - SP**

Hermes Dias Brito

Fundação para Desenvolvimento da Unesp – Fundunesp
Rio Claro – SP

Fábio Augusto Gomes Vieira Reis

Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Departamento de Geologia Aplicada – DGA/ICGE/Unesp
Rio Claro – São Paulo

Claudia Vanessa dos Santos Corrêa

Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, ICGE/Unesp
Rio Claro, SP

Lucilia do Carmo Giordano

Fundação para Desenvolvimento da Unesp – Fundunesp
Rio Claro – SP

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo apresentar e discutir o desenvolvimento de um mapeamento geoambiental voltado à seleção adequada de áreas para a implantação de Central de Tratamento de Resíduos Sólidos (CTRS), tendo como foco de aplicação o município paulista de Santa Cruz da Conceição, que apresenta expressiva inconformidade ambiental em relação à gestão dos resíduos sólidos. A integração de informações obtidas com o levantamento bibliográfico efetuado, a geração de banco de dados (incluindo fatores físicos, biológicos e socioeconômicos) e a análise multicriterial em ambiente SIG conduziram à elaboração do respectivo mapeamento. Este teve como base fundamental estudo prévio de compartimentação fisiográfica da região do local, considerando-se principalmente a permeabilidade, resistência a erosão e estabilidade a movimentos gravitacionais, que foram integrados com dados de fragmentos de vegetação, declividade, áreas de gerenciamento de risco aviário de aeródromos regionais, informações do Plano Diretor e normas técnicas e legais. Entre os resultados obtidos, destaca-se a definição de áreas propícias à implantação de CTRS, incluindo incineradores, e de aterros sanitários em valas e em camadas. Este estudo oferece elementos para discussões e tomadas de decisão relacionadas ao processo de implantação de Central de Tratamento de Resíduos, sendo aplicável a outros municípios brasileiros.

PALAVRAS-CHAVE: Geologia de Engenharia, Ordenamento Territorial Sustentável, Análise Multicriterial, Estudo de Alternativas Locacionais.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil colecionou, ao longo da história, experiências insatisfatórias relacionadas à gestão de resíduos sólidos e, ainda hoje, está distante das condições ideais. Levando-se em consideração apenas os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), no ano de 2015, 220 mil toneladas diariamente foram geradas, e aproximadamente 41,3% desses resíduos foram destinados em lixões e aterros controlados (Abrelpe, 2016). No Estado de São Paulo, 54% dos municípios apresentaram qualidade ineficiente de gestão de resíduos e apenas 2% (9 municípios) apresentam boas práticas de gestão (Perez, 2013).

Diante deste cenário, foi promulgada em 2010 a Lei Federal nº 12.305 (Política Nacional de Resíduos Sólidos), que estabelece diretrizes para o gerenciamento dos resíduos sólidos no país e a importância da hierarquização das ações de manejo (Brasil, 2010).

Para cumprir as diretrizes do gerenciamento integrados dos resíduos previstas na legislação surgiram as Centrais de Tratamento de Resíduos Sólidos (CTRS), definidas como complexos industriais formados por um conjunto de instalações com diferentes funções, capazes de transformar resíduos sólidos em produtos comercializáveis após tratamento específico. Este sistema, integrado com diferentes unidades, favorece a economia de energia e reduz gastos com transporte, realizando o aterramento dos resíduos de forma ambientalmente adequada em uma unidade de aterro sanitário.

As técnicas mais usadas nos últimos anos para a recuperação, tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos foram os incineradores, plantas de gaseificação, usinas de reciclagem, biodigestores anaeróbicos, sistemas de tratamento mecânico biológico e aterros sanitários, que podem fazer parte de uma CTRS (Wilson, 2015).

Em vista da demanda por estas instalações, para que os municípios brasileiros se adequem às exigências legais, é necessário que os empreendedores executem estudos e projetos prévios, visando escolher, sob a perspectiva ambiental, os melhores locais para implantação e operação.

Em função de cada município apresentar em seu espaço geográfico características distintas e heterogêneas em relação aos meios físico, biótico e socioeconômico, é necessária a realização de estudos ambientais para a classificação territorial segundo suas aptidões, norteando a iniciativa pública e privada na escolha das melhores áreas para determinada atividade.

Desta maneira, o estudo de alternativas locais diminui os possíveis danos ambientais e amplia o alcance dos benefícios, potencializando a maior harmonia entre o ambiente e os diversos empreendimentos. Neste contexto, o mapeamento geoambiental é uma ferramenta de avaliação e planejamento fundamental, que objetiva a compartimentação do território com base nas características do meio físico, suas inter-relações com os meios biótico e antrópico, demonstrando as potencialidades ou restrições de uso (Fiori, 2004).

Assim, este trabalho tem como objetivo desenvolver mapeamento

geoambiental, na escala 1:50.000, para avaliar a potencialidade de aptidão de áreas passíveis em receber uma Central de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos no município de Santa Cruz da Conceição (SP), incluindo unidades de aterro sanitário, incinerador, central de reciclagem, planta de gaseificação, sistema de tratamento mecânico biológico e biodigestor anaeróbico.

2. O MUNICÍPIO DE SANTA CRUZ DA CONCEIÇÃO

O município de Santa Cruz da Conceição, localizado no Estado de São Paulo, está inserido na mesorregião de Piracicaba e faz limite com os municípios de Pirassununga, Leme, Corumbataí e Analândia (Figura 1). Possui uma área de 150 km², altitude de 635 metros e ocupa a área central da bacia hidrográfica do Ribeirão do Roque, afluente do Rio Mogi-Guaçu (IBGE, 2010).

De acordo com dados do Cepagri (2015), o clima do município é enquadrado no tipo “Cwa”, clima temperado úmido com inverno seco e verão quente (Köppen, 1948), apresentando duas estações bem definidas: período chuvoso e quente, que ocorre entre outubro e março, e período seco com médias de temperaturas mais baixas, de abril a setembro.

Predominam os ventos alísios, com velocidade média de 5,4 km/h, podendo atingir até 7 km/h nos meses de máxima (Gomes, 2003). Dados eólicos de novembro de 2008 a abril de 2016 mostram que 35% dos ventos no local sopram da direção noroeste -315° (Brito, 2016).

As principais rodovias de acesso à região são a Anhanguera (SP-330) e a SP-225, que faz conexão com a Washington Luiz (SP-310). O município é tangenciado por linha férrea no seu extremo leste. Com relação ao transporte aéreo, existem dois aeródromos no município de Pirassununga, adjacente a Santa Cruz da Conceição.

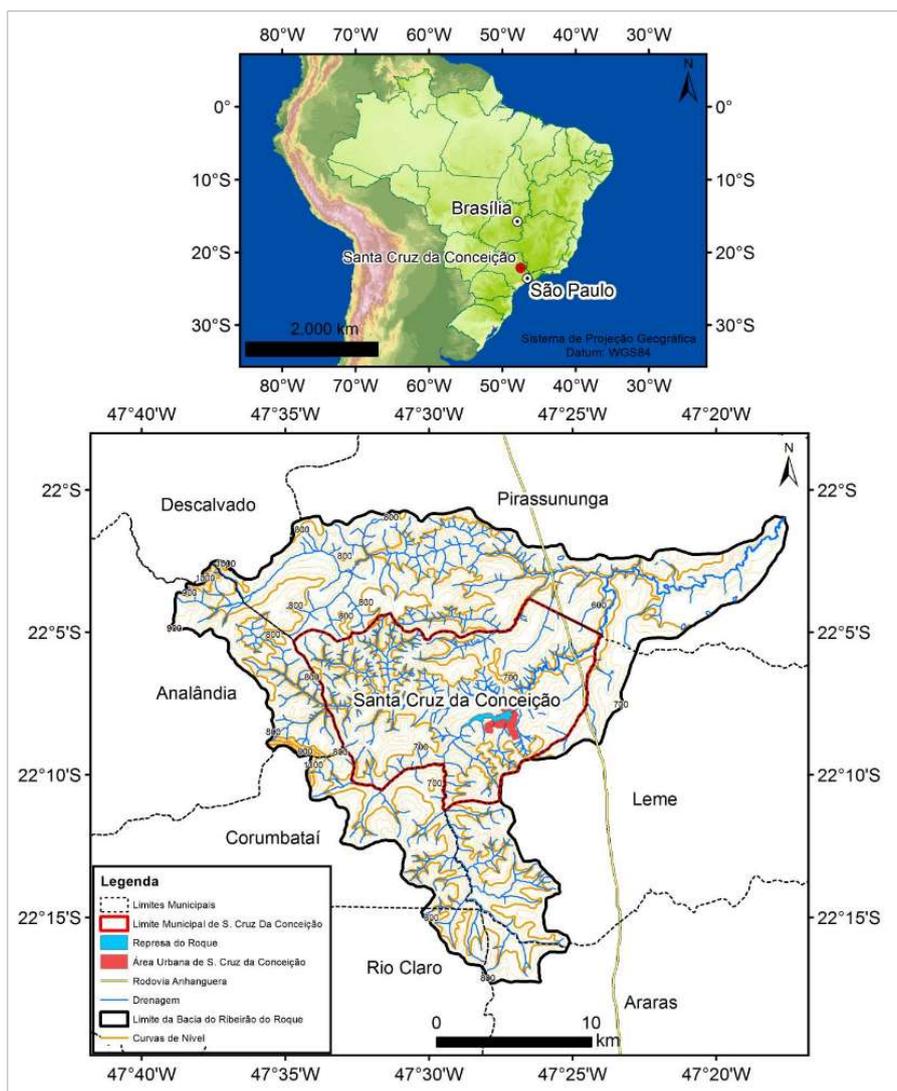


Figura 1 – Localização do município de Santa Cruz da Conceição (SP)

O Plano Diretor de Santa Cruz da Conceição norteia o processo de ordenamento territorial pela delimitação de (Santa Cruz da Conceição, 2007):

- macrozona urbana: parte do território municipal onde a urbanização está consolidada e oferece infraestrutura urbana e disponibilidade de serviços públicos, sendo ampliada ao longo do tempo pelas áreas destinadas à expansão urbana.
- zonas especiais de interesse ambiental: apresentam restrições de uso com o objetivo de preservar a paisagem e o meio ambiente, permitindo a ocupação qualificada e a oferta de espaços públicos adequados ao lazer da população.
 - zona especial de interesse turístico: é obrigatório a preservação de 30% dos espaços permeáveis, permitindo apenas uma taxa de ocupação de 50% do solo.
 - zona especial de paisagem edificada: espaço destinado a possíveis edificações verticais, região que recebe estímulos para intensificação atividades de

comércio, serviços, lazer e usos institucionais.

- zona de interesse industrial: composta e delimitada pelas áreas lindeiras das rodovias SP-193, SP-198 e SP-330, com distanciamento de 300 metros de cada lado dos pavimentos, formando corredores de interesse.

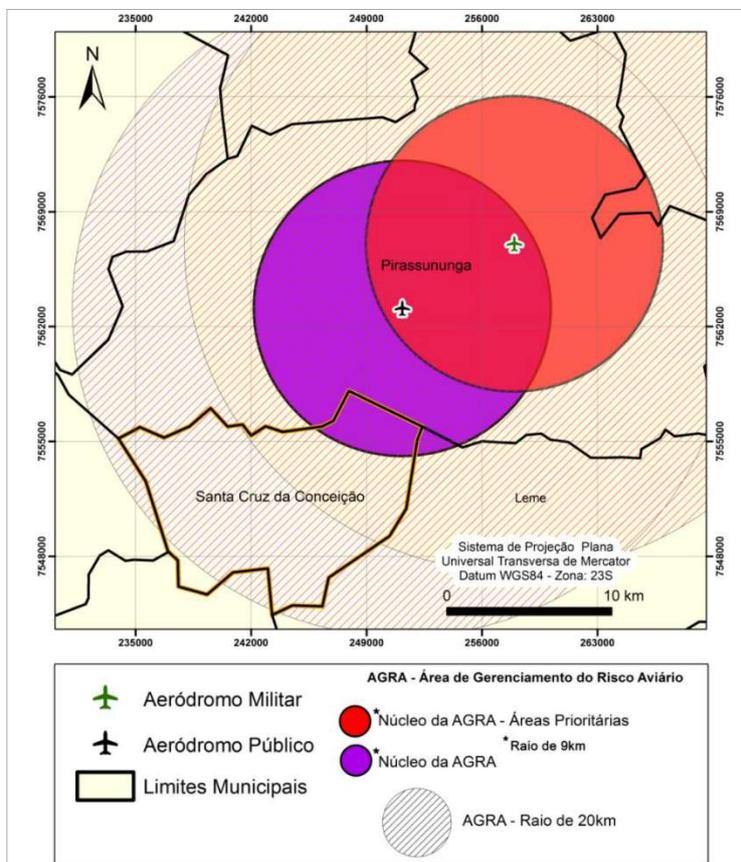


Figura 2 – Aeródromos próximos à Santa Cruz da Conceição e suas respectivas áreas de gerenciamento de risco aviário (AGRA). Fonte: Brasil (2011), e Perez (2013).

Desde sua ocupação, a paisagem no município de Santa Cruz da Conceição sofreu grandes alterações com o uso da terra, especialmente em relação à cobertura original. Os fragmentos florestais que ainda restam no local são caracterizados como vestígios do antigo ecótono entre Floresta Estacional Semidecidual (Mata Atlântica) e Cerrado, que ocupava a região no passado (Araújo, 2008). Atualmente, os principais tipos de uso da terra encontrados no local são pastagens, cultura semi-perene, principalmente cana-de-açúcar, e fragmentos da vegetação original (Figura 3).

No ano de 2015 existiam aproximadamente 33 km² de remanescentes florestais no município, que recobria 22% do seu território (Brito, 2016). Estes fragmentos distribuem-se, principalmente, ao longo dos canais de drenagem e, em alguns casos, são representados por áreas protegidas como Reserva Legal em propriedades rurais. Estas são as principais características relacionadas ao meio biótico, onde a maior concentração de recursos biológicos está associada aos remanescentes de vegetação.

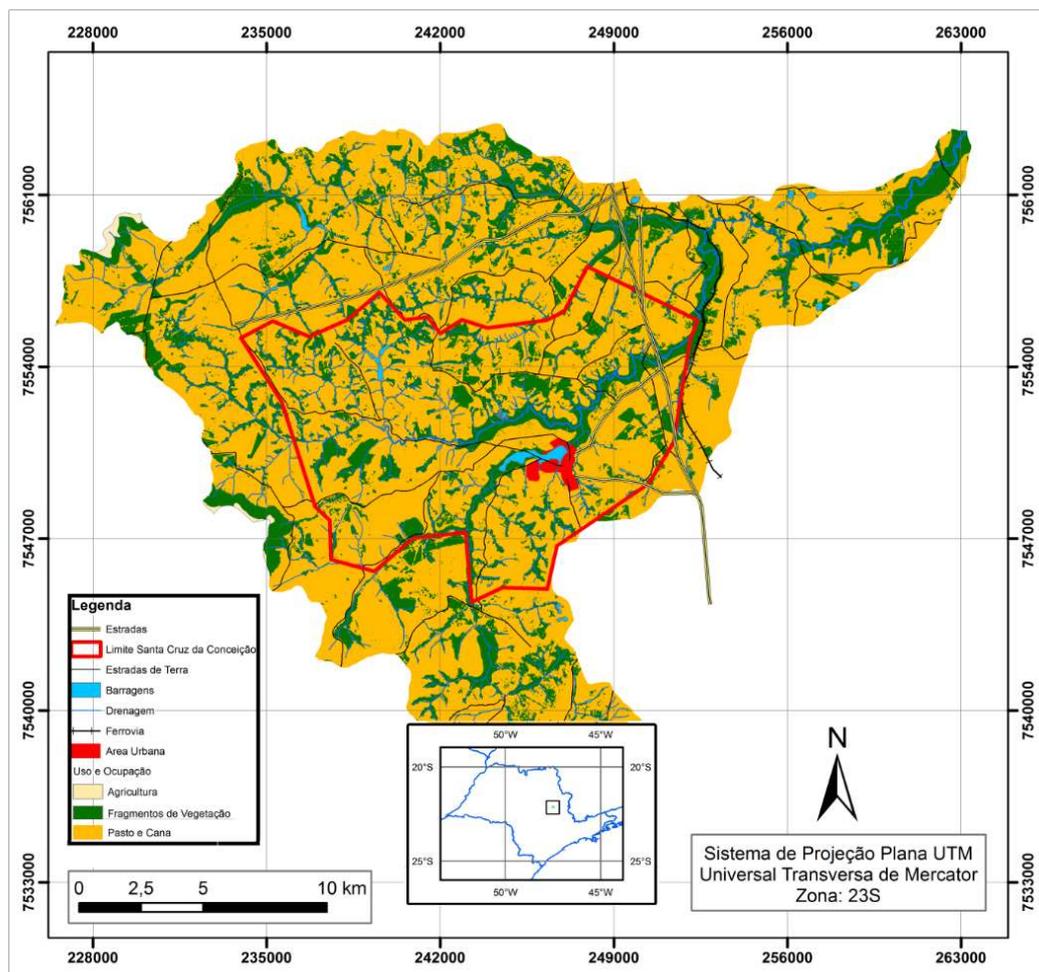


Figura 3 - Mapa de uso e ocupação da Bacia do Ribeirão do Roque. Fonte: Reis & Cerri (2014).

As Áreas de Preservação Permanente (APPs), destinadas à proteção dos recursos hídricos superficiais, totalizam 17 km² da área do município, o que compreende 11,5% do seu território (Figura 4).

Em relação ao meio físico, Reis e Cerri (2014) realizaram o mapeamento geológico-geotécnico da bacia do Ribeirão do Roque, as unidades litológicas encontradas no local são: Formação Tatuí, Formação Irati, Formação Corumbataí, Formação Piramboia, Formação Botucatu intrusões de diabásio correlatas à Formação Serra Geral, coberturas cenozoicas IG, 1980; 1984).

Na classificação geomorfológica de Ross e Moroz (1997), Santa Cruz da Conceição está inserida na Depressão Periférica Paulista, especificamente na Depressão do Mogí Guaçu, cujos modelados dominantes são as colinas com topos amplos. Em relação as formas de relevo, a maior parte do território é composta por zonas de meia-encosta. Na porção leste e sul ocorrem relevos colinosos, encostas suaves, morrotes alinhados; em poucas áreas na porção sudoeste do município são encontradas encostas íngremes. Nas demais áreas ocorrem planícies aluviais. O município é dominado por regiões com declividades que variam de 0° a 5° e regiões com declividades variando de 5° a 17°. A altitude no local varia entre 500 a 800

metros.

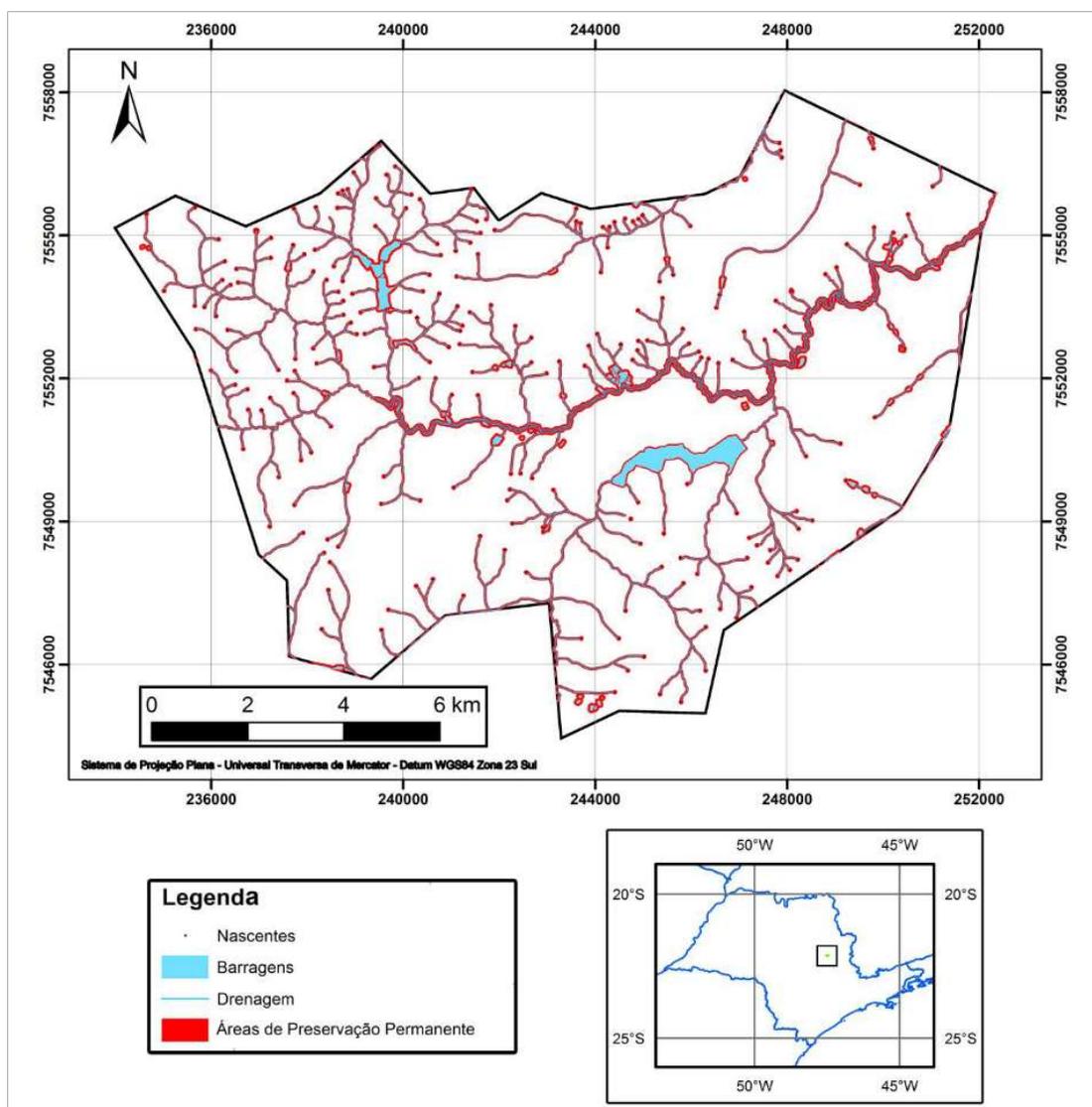


Figura 4 – Áreas de Preservação Permanente voltadas à proteção dos recursos hídricos. Fonte: Brito (2016).

A Figura 5 apresenta mapa das unidades de compartimentação fisiográfica, elaborado por Reis & Cerri (2014), conforme proposta metodológica de Zaine (2011), da bacia hidrográfica do Ribeirão do Roque, na qual insere-se o município de Santa Cruz da Conceição.

No município são identificadas sete unidades fisiográficas (unidades I, III, VI, VII, VIII, IX e X). Os Quadro 1A e 1B apresentam as principais características geológico-geotécnicas, fragilidades e potencialidades dessas unidades.

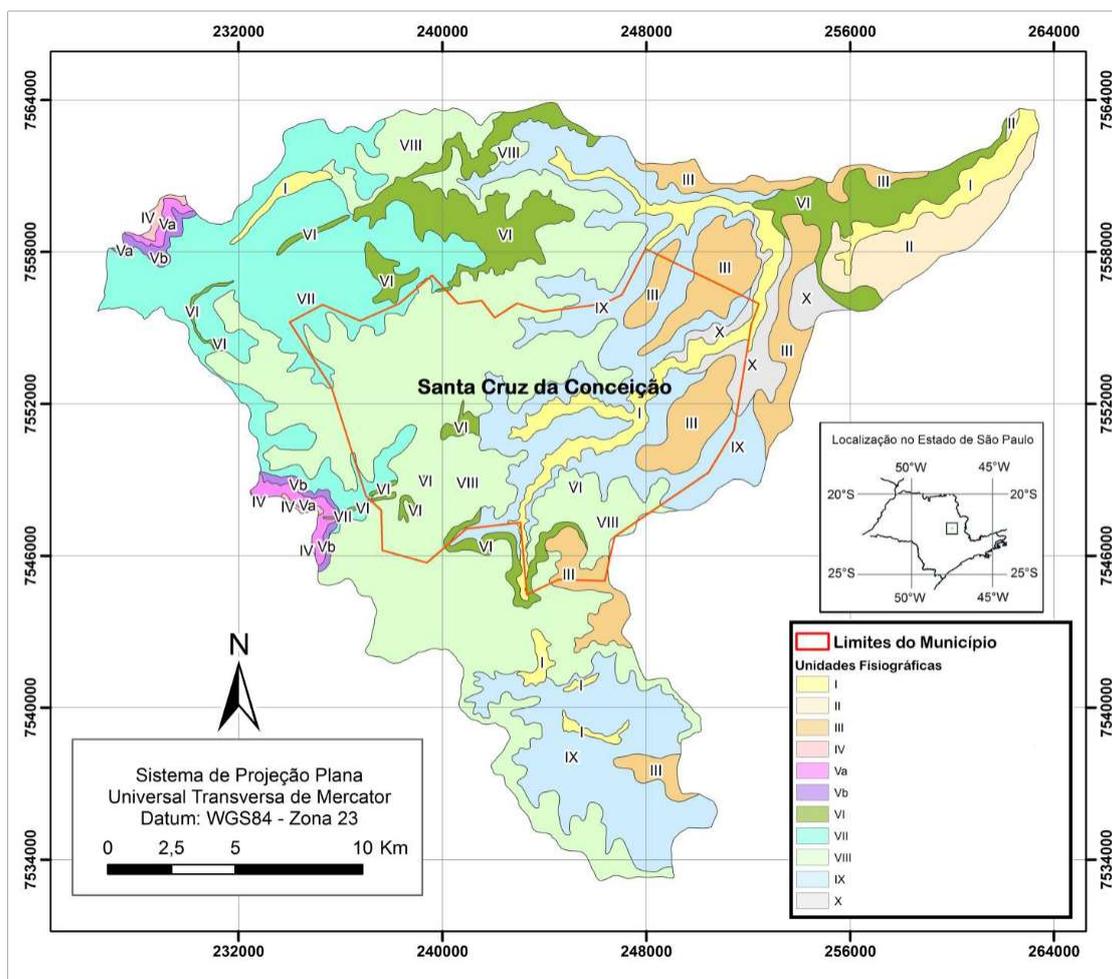


Figura 5 – Unidades fisiográficas em Santa Cruz da Conceição. Fonte: Reis & Cerri (2014).

A hidrogeologia regional se caracteriza pela contemplação dos Aquíferos Guarani, do Diabásio, da Serra Geral, do Tubarão e do Aquiclude Passa Dois, conforme apresenta a Figura 5 (IG, 1980; 1984). O Sistema Aquífero Guarani (SAG) é um reservatório de água subterrânea composto por arenitos mesozoicos bastante homogêneos das formações Piramboia e Botucatu, cobertos por espessas camadas basálticas que os confinam. Este reservatório possui boa permeabilidade e uma elevada capacidade de armazenamento e fornecimento de água (OAS, 2005; Iritani & Ezaki, 2012).

O Aquiclude Passa Dois é uma unidade hidrogeológica sedimentar que separa os Aquíferos Tubarão e Guarani, composto por folhelhos, siltitos, argilitos, calcários e dolomitos que ocorrem, por vezes como camadas ritmicamente intercaladas com diferentes espessuras. Apresenta grande porosidade e baixa permeabilidade, caracterizando-o como um meio relativamente impermeável (Karmann, 2000).

O Aquífero Tubarão é um aquífero sedimentar com ocorrência de siltitos, argilitos, folhelhos, arenitos muito finos, arenitos conglomeráticos e ritmitos. O aquífero em geral apresenta baixa produtividade de água para consumo (Iritani & Ezaki, 2012).

Unidade fisiográfica	Subsuperfície	Materiais e relevo	Fotoanálise				
			Formas de relevo				
			Amplitude local	Declividade	Valc/ Topo	Encostas	Feições particulares
I	Planície aluvial	Areias, cascalhos e argilas em planícies fluviais	Baixa	Baixa	Aberto/ Plano	Planas	Meandros
III	Coberturas cenozóicas	Colúvios em relevo colinoso	Baixa	Baixa	Aberto/ Plano	Convexas	----
VI	Diabásio - diques/ soleiras da Fm. Serra Geral	Diabásio em relevo de morrotes	Alta	Alta	Aberto/ Angulosos a arredondados	Côncavas e retilíneas	Cristas orientadas
VII	Arenitos da Formação Botucatu	Arenitos em relevo de encostas suaves	Baixa	Baixa	Abertos/ arredondados	Convexas	Ravinas/ voçorocas
VIII	Arenitos da Formação Piramboia	Arenitos em relevo de meia encosta	Média	Baixa a média	Fechados/ arredondados	Côncavas e retilíneas	Ravinas
IX	Siltitos e argilitos da Fm. Corumbataí	Siltitos e argilitos em relevo de meia encosta	Baixa	Baixa a média	Abertos/ arredondados	Convexas e côncavas	----
X	Folhelhos, cascalhos e sílex da Fm. Irati e siltitos e arenitos da Fm. Tatuí	Folhelhos, cascalhos e sílex da Fm. Irati e siltitos e arenitos da Fm. Tatuí em relevo de meia encosta	Baixa	Baixa a média	Abertos/ arredondados	Convexas e côncavas	----

Fotointerpretação (propriedades e atributos geotécnicos interpretados)						Observações de campo	
Unidade fisiográfica	Permeabilidade	Espessura do Manto de Alteração	Resistência à erosão natural (dureza)	Potencialidade a movimentos gravitacionais	Afloramentos e blocos rochosos	Processos geológicos	Vegetação e uso do solo
I	Alta	Média	Baixa	Baixa	Ausentes	Erosão fluvial e assoreamento	Mata ciliar
III	Alta	Alta a média	Baixa	Baixa	Ausentes	Erosão	Pasto e cana
VI	Média	Baixa a alta	Alta	Alta a média	Presentes	Rastejo, escorregamento e queda de blocos	Pasto
VII	Alta	Alta	Baixa	Baixa	Ausentes (raros)	Erosão	Pasto e cana
VIII	Alta a média	Média a baixa	Média a baixa	Baixa	Ausentes	Erosão	Pasto e cana
IX	Baixa	Baixa	Média	Baixa	Ausentes	Empastilhamento	Pasto e cana
X	Baixa	Baixa a média	Média	Baixa	Ausentes	Empastilhamento	Pasto e cana

Quadros 1a e 1b - Caracterização geológica-geotécnica das unidades fisiográficas de Santa Cruz da

Conceição. Fonte: Reis & Cerri (2014).

De acordo com os mesmos autores, o Aquífero Diabásio é um aquífero fraturado, com extensão restrita e constituído de diabásios gerados a partir do resfriamento e solidificação do magma em subsuperfície. A circulação e o armazenamento da água subterrânea nesta unidade hidrogeológica está condicionada à ocorrência de fraturas geradas por esforços tectônicos decorrentes da movimentação da crosta terrestre.

O Aquífero Serra Geral é caracterizado como um aquífero fraturado constituído por uma sequência de derrames de lava vulcânica, que originaram as rochas basálticas (Iritani & Ezaki, 2012).

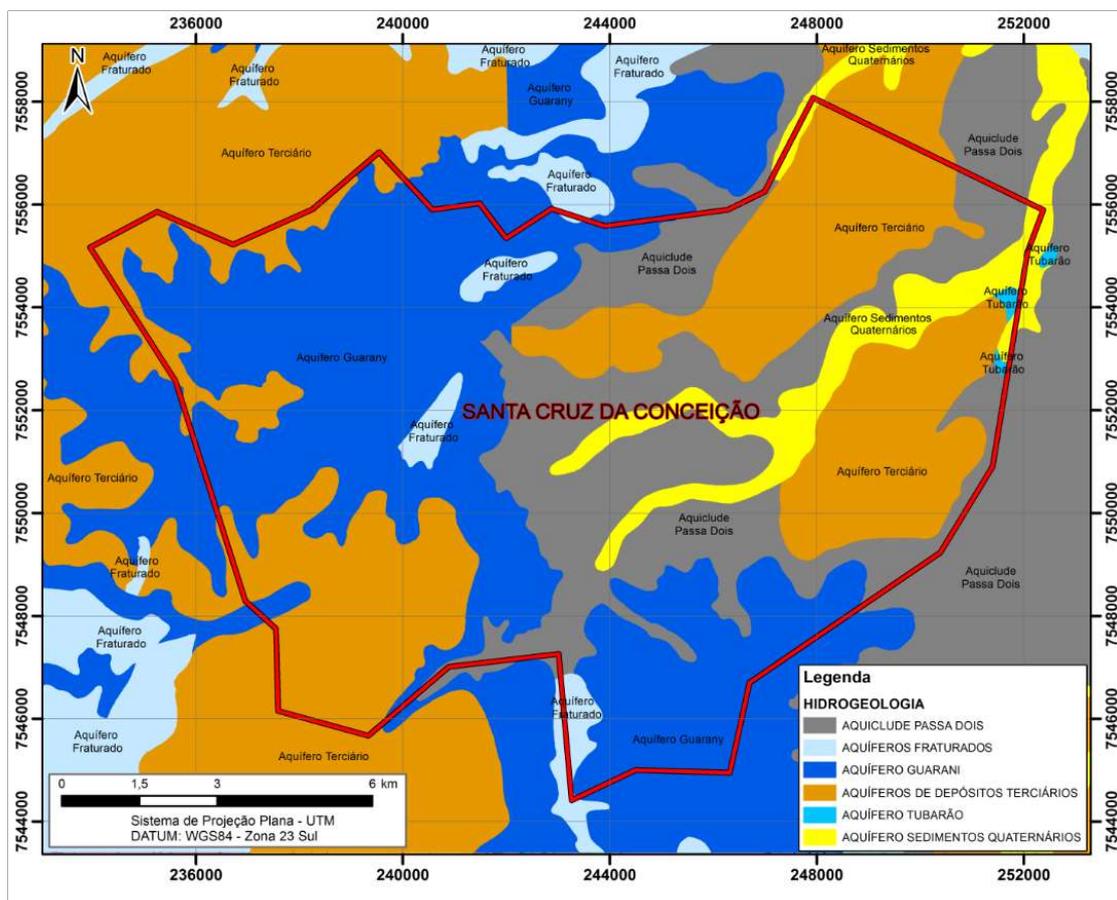


Figura 5 - Mapa das Áreas de Recarga de Aquíferos local. Fonte: IG (1980; 1984).

3. METODOLOGIA

A metodologia empregada para a seleção de áreas aptas à implantação de CTRS no município de Santa Cruz da Conceição pode ser resumidamente descrita nas etapas apresentadas no fluxograma da Figura 6.

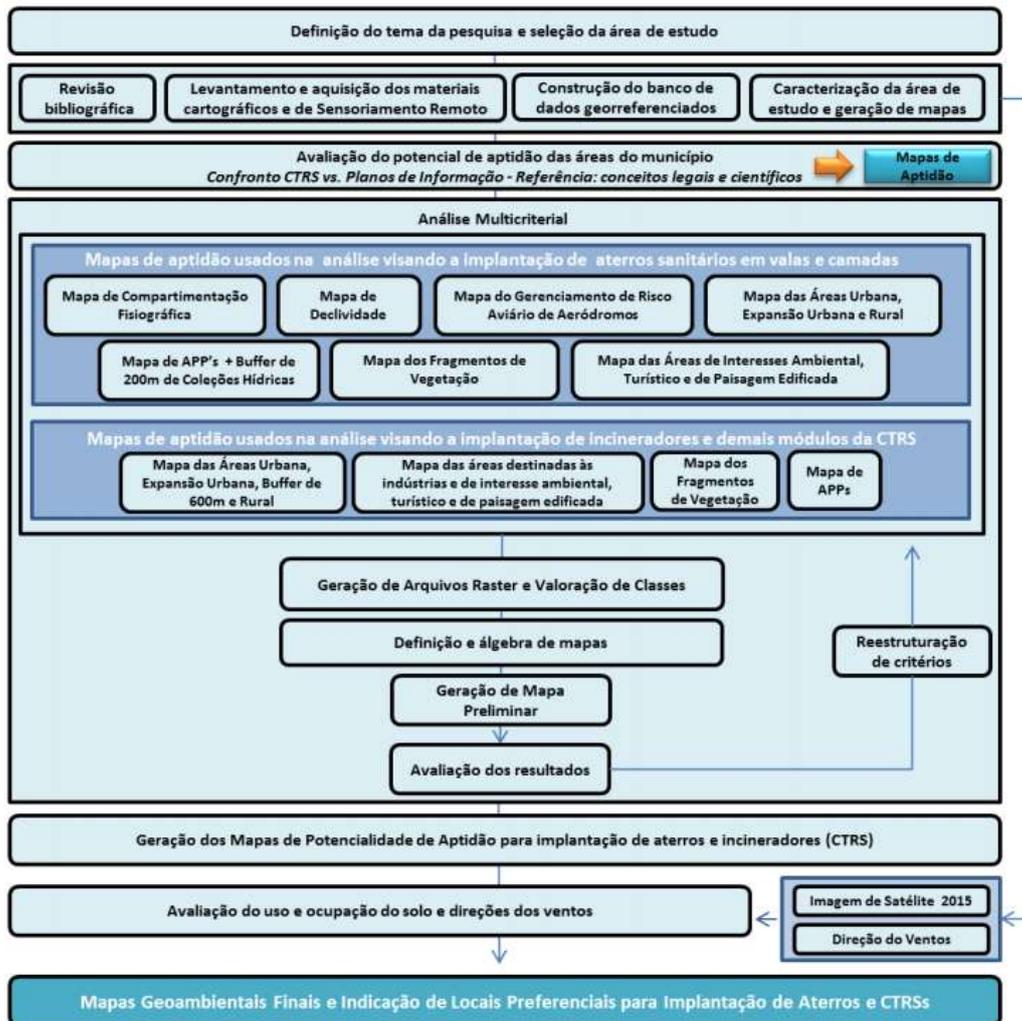


Figura 6 – Fluxograma das etapas de trabalho.

Para tal, foram obtidos os seguintes materiais cartográficos e produtos de sensoriamento remoto, georreferenciados no *datum* WGS84 com sistema de projeção plana UTM (Zona 23 Sul):

- Mapa de compartimentação fisiográfica: incluindo informações geológicas, de formas de relevo, materiais e solos, permeabilidade, resistência à erosão e de processos de dinâmica superficial (Reis & Cerri, 2014);
- Mapa de declividade, gerado a partir das cartas topográficas das Folhas Leme e Corumbataí, em escala 1:50.000 (IBGE, 1971a; 1971b);
- Mapa hidrográfico, representado pelas curvas de nível e hidrografia das cartas topográficas do IBGE em escala 1:50.000 (IBGE, 1971a; 1971b);
- Mapa com áreas de recarga de aquíferos, gerado a partir das informações das cartas geológicas das Folhas Leme e Corumbataí em escala 1:50.000 (IG, 1980; 1984);
- Mapa de Áreas de Preservação Permanente (APP's) dos corpos hídricos, gerados a partir da base hidrográfica do IBGE (IBGE, 1971a; 1971b) e no enquadramento da norma brasileira (Brasil, 2012);

- Mapa de remanescentes florestais de 2015, obtido pela fotointerpretação em imagens de satélite do Google Earth do ano de 2015;
- Mapas da área urbana atual e de expansão urbana elaborados através do Google Earth (2015) e Santa Cruz da Conceição (2007) e mapa com os aglomerados humanos regionais;
- Mapas com zonas de interesse municipal no escopo do Plano Diretor, incluindo áreas destinadas à expansão urbana e à implantação de indústrias, áreas de interesse ambiental e turístico, e macro zonas rural e urbana (Santa Cruz da Conceição, 2007);
- Verificação da presença de unidades de conservação na região junto ao Cadastro Nacional de Unidades de Conservação;
- Mapa com a infraestrutura de transporte terrestre;
- Mapa com as áreas de proteção de risco aviário de aeródromos próximos (Brasil, 2011; Perez, 2013);
- Mapa regional com informações de densidade demográfica nos raios de 100, 200 e 300 km a partir do município de Santa Cruz da Conceição (IBGE, 2010).

Posteriormente, os níveis de potencialidade de aptidão das áreas para possível implantação de central de tratamento de resíduos sólido urbano, foram descritos e avaliados variando de baixo a alto. Assim, foram considerados os potenciais de impactos, vulnerabilidade e exigências de cada unidade avaliada (aterros sanitários em valas, aterros sanitários em camadas e incineradores) frente à cada variável (Quadro 2). Para a compartimentação fisiográfica, foram selecionados como parâmetros de referência as variáveis permeabilidade, resistência à erosão e susceptibilidade aos processos gravitacionais, obtidos pela compartimentação fisiográfica elaborada por Reis & Cerri (2014).

Em sequência, em ambiente SIG, no *software* Arcgis 10.1, foram realizadas as interpolações multicriteriais dos dados, baseadas nos levantamentos dos produtos cartográficos e de sensoriamento remoto. Assim, para a análise destinada à implantação de aterros em valas e em camadas, foram integrados os mapas de compartimentação fisiográfica, de declividade, de áreas preservação permanente e de proteção extra de recursos hídricos indicados pela NBR 15849 da ABNT (2010), de fragmentos de vegetação, mapa de gerenciamento de risco aviário de aeródromos, mapa das áreas urbanas, de expansão urbana e rural e de interesses municipais presentes no Plano Diretor, incluindo as áreas destinadas às instalações industriais. Cabe ressaltar que devido ao fato de aterros em valas e camadas apresentarem diferentes demandas quanto ao critério declividade, os valores das classes foram subdivididos em intervalos de 0 a 5° (ideais para aterros em valas) e de 5 a 17° (ideais para aterros em camadas) (Levine, 1996; Zuquette et al., 1994).

Variável	Descrição dos critérios limitantes
Declividade	Ocorrência de processos dinâmicos (erosão e movimentos gravitacionais de massa (Brollo, 2001) Considera-se ideais para aterros em valas declividades entre 0 a 5° e para aterros em camadas 5 a 17° (Levine, 1996; Zuquette et al., 1994)
Áreas de Preservação Permanente	Regiões que devem ter prioridade de conservação para que os corpos d'água e os recursos bióticos sejam resguardados (Brasil, 2012)
	Distância mínima de 200 metros de qualquer corpo hídrico ou curso d'água para aterros sanitários (ABNT, 2010) e de 150 metros para incineradores (Ferretti & Pomarico, 2012)
Fragmentos de vegetação	Regiões com prioridade de conservação e exclusas para implantação de CTRS (ABNT, 2010; Brasil, 2012; Ferretti e Pomarico (2012)
Áreas de gerenciamento de risco aviário (AGRA)	Locais onde devem ser evitadas a proliferação de aves, sendo necessária cautela na operação de empreendimentos que possam atrair esses animais (Brasil, 2011)
Áreas urbanas e rurais e de expansão urbana	Aterros sanitários e incineradores devem estar localizados distante de núcleos populacionais (mínimo de 500 metros para aterros e 600 metros para incineradores) pois podem trazer desconforto à população, tanto na fase de implantação quanto a de operação (Ferretti e Pomarico (2012); ABNT, 2010; Cunha & Consoni, 1995; IPT, 1995; Brollo, 2001; IG, 1999; Proske et al.; 2005; Ersoy & Bulut, 2008).
Áreas de interesse ambiental, turístico e de paisagem edificada (Santa Cruz da Conceição, 2007)	Áreas de interesse ambiental: restrições de uso com o objetivo de preservar a paisagem e o meio ambiente, permitindo a ocupação qualificada e a oferta de espaços públicos adequados ao lazer da população
	Áreas de interesse turístico: obrigatoriedade de preservação de 30% dos espaços permeáveis, permitindo apenas uma taxa de ocupação de 50% do solo
	Área de paisagem edificada: espaço destinado a possíveis edificações verticais, região que recebe estímulos para que se intensifiquem atividades de comércio, serviços, lazer e usos institucionais
Áreas destinadas ao uso industrial	Locais que devem ser evitados para instalação de aterros sanitários por possuírem grande valor imobiliário (Santa Cruz da Conceição, 2007)
	Incineradores podem ser implantados nos parques industriais do município, desde que as normas específicas para emissão de poluentes sejam atendidas (Brasil, 2002)
Direção dos ventos	Avaliação da direção dos ventos devido à dispersão de poluentes por parte dos incineradores (Path, 2005; Brasil, 2002)
Permeabilidade	Vulnerabilidade à contaminação de águas subterrâneas, parâmetro considerado crítico por diversos trabalhos em relação à implantação de aterros sanitários (Cunha & Consoni, 1995; Giusti, 2009; Gouveia & Prado, 2010; Zuquette et al., 1997; ABNT, 2010; IPT, 1995)
Resistência à erosão	Ocorrência de processos erosivos pode resultar no afloramento do lençol freático e, conseqüentemente, em sua contaminação (IG, 1999; Brollo, 2001; Lino, 2007)
Movimentos gravitacionais de massa	Os movimentos gravitacionais podem ocasionar instabilidade estrutural e afetar a segurança do aterro sanitário e do incinerador (Brollo, 2001; IG, 1999; Lino, 2007; Ersoy & Bulut, 2008; ABNT, 2010; Zuquette et al., 1997; Cunha & Consoni, 1995; Ferretti & Pomarico, 2012)

Quadro 2 – Variáveis e critérios limitantes para implantação de CTRS.

Os planos de informação citados foram transformados para arquivos em formato *Raster* com células de 5 x 5 metros pela ferramenta *Feature to Raster*. Em sequência, foi feita a valoração das células unitárias com a ferramenta *Reclassify*. Assim, cada célula *Raster* das classes dos diferentes planos de informação receberam um valor de acordo com o nível de potencialidade de aptidão diante à implantação do empreendimento (Quadros 3A e 3B).

Posteriormente, foi realizada uma álgebra de mapas pela soma (para aterros), e uma média ponderada entre os planos com classes valoradas em 5 e 10, seguida da soma dos demais planos, para os incineradores na ferramenta *Raster calculator* do *ArcMap*. A partir da indicação de áreas potenciais para a implantação de aterros e incineradores obtida na etapa anterior, foi realizada uma análise visual em imagem de satélite (*Google Earth*) referente ao ano de 2015, com a finalidade de avaliar o uso e ocupação dos solos preponderantes nas áreas de maior potencialidade de aptidão para implantação das referidos unidades. Ademais, para a escolha das áreas preferenciais para implantação de aterros, optou-se por áreas com distanciamento de mais de 500 metros de núcleos populacionais, como indicado pela norma NBR 15849 (ABNT, 2010).

Aterro Sanitário x Compartimentação Fisiográfica				
Classes	Aspecto: contaminação de águas subterrâneas (Potencialidade de Aptidão)	Aspecto: risco de erosão (Potencialidade de Aptidão)	Aspecto: movimentos gravitacionais (Potencialidade de Aptidão)	Resultado Geral (Valor numérico para Análise Multicritério)
Unidade I	Baixa 3	Baixa 3	Alta 8	3
Unidade III	Baixa 3	Baixa 3	Alta 8	3
Unidade VI	Média 6	Alta 8	Baixa à Média 4	4
Unidade VII	Baixa 3	Baixa 3	Alta 8	3
Unidade VIII	Baixa a Média 4	Média a Alta 7	Alta 8	4
Unidade IX	Alta 8	Média 6	Alta 8	6
Unidade X	Alta 8	Média 6	Alta 8	6
Aterro Sanitário x Mapa de Declividade				
Classes	Aspecto: Aterro em Vala (Potencialidade de Aptidão)	Aspecto: Aterro em Camadas (Potencialidade de Aptidão)	(Valor numérico para Análise Multicritério)	
0 – 5°	Neutro	Inapta	Neutro = 0	
5° - 17°	Inapto	Neutro	Neutro = 0	
Maior que 17°	Inapto	Inapto	NoData	
Aterro Sanitário x Áreas de Preservação Permanente / NBR 15849 ABNT – Distância Mínima de 200m de Coleções Hídricas				
Classes	Potencialidade de Aptidão	(Valor numérico para Análise Multicritério)		
Presença de APP	Inapta	NoData		
Ausência de APP	Neutro	Neutro = 0		
Distância Mínima de 200m	Inapta	NoData		
Aterro Sanitário x Fragmentos de Vegetação				
Classes	Potencialidade de Aptidão	Fator de Redução (Análise Multicritério)		
Presença de Fragmentos	Inapta	NoData		
Ausência de Fragmentos	Neutro	Neutro = 0		
Aterro Sanitário x Área de Gerenciamento de Risco Aviário				
Classes	Potencialidade de Aptidão	Fator de redução		
Núcleo da Agra – Áreas Prioritárias (militares)	Baixa	-2		
Núcleo da Agra – Áreas Comuns	Baixa	-1		
Área externa ao Núcleo da AGRA	Neutro	Neutro = 0		
Aterro Sanitário x Área Urbana/Área de Expansão Urbana/Rural				
Classes	Potencialidade de Aptidão	(Valor numérico para Análise Multicritério)		
Área Urbana	Inapta	NoData		
Área Rural	Neutro	Neutro = 0		
Área de Expansão Urbana	Inapta	NoData		
Aterro Sanitário x Plano Diretor				
Classes	Potencialidade de Aptidão	(Valor numérico para Análise Multicritério)		
Áreas de Interesse Ambiental	Área inapta	NoData		
Áreas de Interesse Turístico	Área inapta	NoData		
Áreas de Paisagem Edificada	Área inapta	NoData		
Áreas de Interesse Industrial	Área inapta	NoData		
Demais áreas	Neutro	Neutro = 0		
Incinerador x Áreas de Preservação Permanente				
Classes	Potencialidade de Aptidão	(Valor numérico para Análise Multicritério)		
Presença de APP	Inapta	NoData		
Ausência de APP	Neutro	Neutro=0		
Incinerador x Fragmentos de Vegetação				
Classes	Potencialidade de Aptidão	Fator de Redução		
Presença de Fragmentos	Inapta	NoData		
Ausência de Fragmentos	Neutro	Neutro = 0		
Incinerador x Área de Expansão Urbana/Atual/Entorno de 600 metros				
Classes	Potencialidade de Aptidão	Fator de Redução		
Área Urbana Atual	Inapta	NoData		
Área de Expansão Urbana	Inapta	NoData		
Entorno de 600 metros de largura	Média	Média = 5		
Demais Áreas	Alta	Alta = 10		
Incinerador x Plano Diretor				
Classes	Potencialidade de Aptidão	(Valor numérico para Análise Multicritério)		
Áreas de Interesse Ambiental	Inapta	NoData		
Áreas de Interesse Turístico	Inapta	NoData		
Áreas de Paisagem Edificada	Inapta	NoData		
Áreas destinadas a Indústrias	Alta	10		
Demais Áreas	Média	5		
Incinerador X Direção Principal dos Ventos e Uso e Ocupação do Solo				
Critério a ser avaliado após análise multicritério preliminar				

Quadro 3A e 3B – Valoração numérica para análise multicritério da potencialidade de aptidão das

classes das diferentes unidades possivelmente existentes na CTRS.

Assim, foram indicadas as áreas preferenciais para implantação de aterros, com níveis de aptidão médios, ocupadas por cana de açúcar. As áreas próximas foram avaliadas para as demais unidades da CTRS para facilitar as questões logísticas do empreendimento. Esta avaliação foi realizada pela análise do mapa de potencialidade de aptidão para incineradores, do uso e ocupação dos solos e das direções principais dos ventos.

Finalmente, foi elaborado o diagrama de rosetas com as frequências e direções dos ventos com o auxílio do software *RockWorks14*, para avaliar a possível dispersão de poluentes por incineradores visando minimizar o eventual carreamento de poluentes atmosféricos frontais aos núcleos populacionais da região, levando-se em conta o histórico eólico do período 2008 – 2016 e a posição dos núcleos populacionais próximos, inseridos no raio de 25 km a partir do centro de Santa Cruz da Conceição.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 7 exibe a sugestão para os locais preferenciais para implantação de aterros em vala e camada e dos locais para a implantação da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos, incluindo o incinerador para Santa Cruz da Conceição. O mapa mostra detalhes de uso e ocupação na imagem de satélite referente ao ano de 2017. São sugeridas duas áreas para implantação de aterros em camadas (a nordeste) e uma área para aterros em valas, além de exibir os locais preferenciais para a implantação das demais possíveis unidades da CTRS. As áreas sugeridas para a implantação da CTRS estavam ocupadas em 2015 por plantações de cana-de-açúcar e silvicultura.

Os resultados obtidos demonstram que a metodologia adotada favoreceu e auxiliou a escolha das melhores áreas para a implantação da CTRS. Em relação aos aterros sanitários, a metodologia adotada permitiu a escolha de áreas com as seguintes características: baixa permeabilidade, alta estabilidade geotécnica, média resistência a erosão, declividades adequadas aos tipos de aterros em vala e em camada, áreas com ausência de fragmentos de vegetação e distantes mais de 200 metros de corpos hídricos.

Além disso, tais áreas são dotadas de infraestrutura viária e estão distantes mais de 500 metros de aglomerados populacionais, sendo ocupadas atualmente por plantações de cana-de-açúcar. Ademais, respeitam a legislação municipal representada pelo plano diretor municipal. Os locais sugeridos apresentam interferência com núcleos de áreas de gerenciamento de risco aviário (AGRAs) não prioritárias relacionada ao aeródromo Civil de Pirassununga. Desta maneira, é recomendado no caso de implantação das unidades de aterros sanitários, que sejam seguidas as normas técnicas de operação e a legislação expressa pela Política Nacional de Resíduos Sólidos.

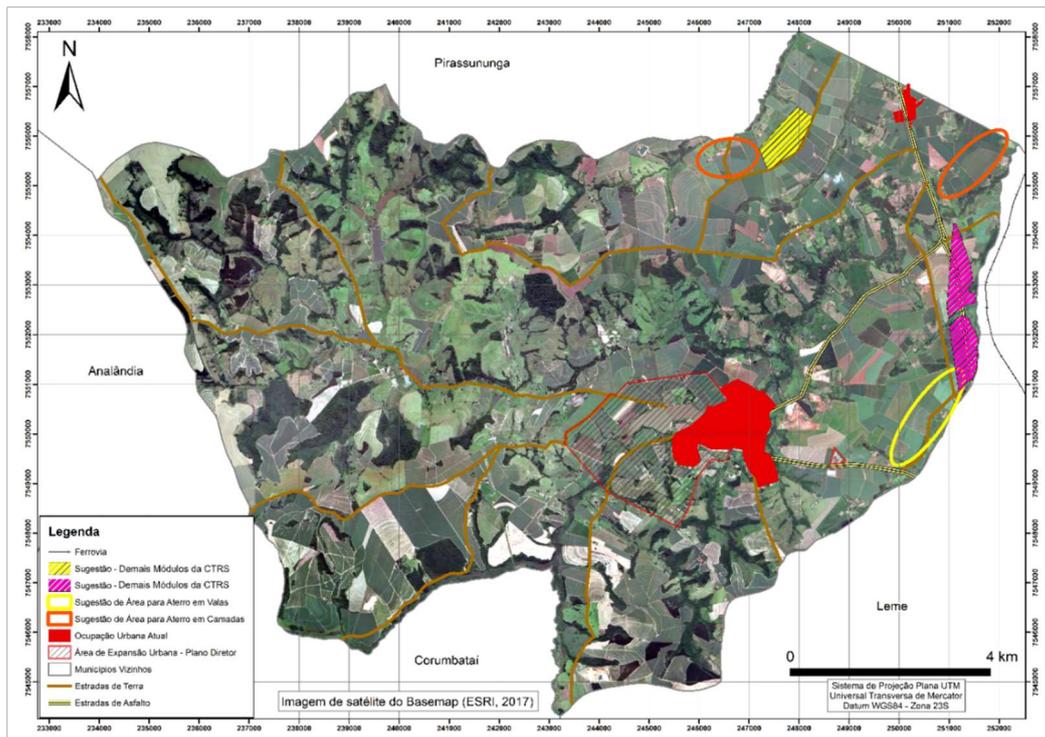


Figura 7 - Locais preferenciais para implantação de aterros e unidades da CTRS.

A metodologia usada para a identificação de locais à implantação de incineradores e das demais possíveis unidades da CTRS se mostrou também satisfatória. O mapa de potencialidade possibilitou uma avaliação coerente para a escolha das áreas com as características mais adequadas.

Os locais sugeridos para a implantação da CTRS estão localizados em zonas destinadas à indústrias e na área rural do município, além de não apresentarem fragmentos de vegetação natural e áreas de preservação permanente. Situam-se em locais com acesso a rodovias e distam-se em mais de 600 metros de núcleos populacionais.

Em etapa posterior, com o auxílio do diagrama da direção e frequência dos ventos foi possível avaliar a probabilidade de ocasionar carreamento de poluição atmosférica em direções frontais aos aglomerados humanos regionais (raio de 25 km do centro de Santa Cruz da Conceição). As áreas sugeridas em rosa evitam em mais de 64% os ventos frontais em direções aos núcleos populacionais humanos regionais. Apenas 12% dos ventos costumam se direcionar para Leme, e 24% se direcionam para Santa Cruz da Conceição, atingindo a cidade em porções distintas, dependendo da direção preferencial do vento momentâneo. Caso ocorra a instalação da CTRS no local, é recomendado que o incinerador fique a 60 metros distante da rodovia.

A área indicada se localiza a uma distância maior que 3,5 km de distância da área urbana de Santa Cruz da Conceição, 4,5 km de Leme e 8 km de Pirassununga. Já as áreas sugeridas em amarelo evitam em mais de 67% dos ventos frontais em direção aos núcleos populacionais próximos (Pirassununga a 4,5 km, Leme a 10,5 km e Santa Cruz da Conceição a 5 km). Destaca-se que as

áreas com menor permeabilidade são mais favoráveis à implantação da CTRS uma vez que podem favorecer a proteção de recursos hídricos contra contaminação por efluentes oriundos do empreendimento.

A metodologia adotada para aterros e incineradores optou por tornar inaptas as áreas com fragmentos de vegetação naturais, uma vez que as áreas de reserva legais não permitem a implantação de empreendimentos. Desta forma a metodologia visa proteger os recursos biológicos naturais, uma vez que o referido município se encontra em déficit legal quanto à esta questão.

5. CONCLUSÕES

Este estudo demonstrou que a combinação de informações advindas da compartimentação fisiográfica e do sensoriamento remoto - balizadas por critérios científicos, técnicos e legais, e à luz das características de uma CTRS - permite, em ambiente computacional, a identificação exitosa e expedita de áreas potencialmente aptas à instalação deste tipo de empreendimento. Ademais, o método adotado subsidia a gestão ambiental, pois diminui a intensidade de conflitos e favorece o ordenamento territorial sustentável.

O conhecimento desenvolvido neste trabalho pode ser aplicado a qualquer território, em projetos envolvendo consórcios municipais ou um único município, em complemento às iniciativas que visam resolver a dramática questão do acentuado acúmulo e dispersão de resíduos sólidos urbanos na natureza. Portanto, a implantação de uma CTRS e as respectivas unidades de aterros sanitários, a partir de um consórcio intermunicipal, contribuiria de forma marcante para sanar o déficit ambiental relacionado à gestão dos resíduos sólidos do próprio município e da região.

Em Santa Cruz da Conceição foram identificadas seis áreas adequadas para a implantação de aterros e CTRS: duas delas têm características apropriadas para implantação de aterros em camadas, outra para aterro em valas e três para a implantação da CTRS, incluindo incineradores. Tais áreas, com potencial para concentrar e tratar grandes volumes de resíduos sólidos, estão distribuídas na parte leste do município que tem, ainda, a vantagem de ser contemplada por excelente malha viária.

Recomenda-se que, no caso de concretização da presente proposta, estudos de maior detalhamento sejam realizados para as áreas preferenciais indicadas no presente estudo, o que incluiria levantamento topográfico e ensaios geotécnicos, visando a obtenção de maior precisão com referência aos parâmetros geotécnicos presentes na área.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15849. Resíduos sólidos

urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

Abrelpe – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2015. 2016. 92p. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2015.pdf>. Acessado em: mar. 2016.

Araújo, R.T. Zoneamento Ecológico-Econômico do município de Santa Cruz da Conceição – SP: uma proposta conceitual de planejamento para a sustentabilidade local. Tese (Doutorado em Ciências), Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008. 95 p.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA nº 316, de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res31602.html>. Acessado em: 12 dez. 2015.

Brasil. Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 3 de agosto de 2010. Seção 1, p. 3.

Brasil. Portaria nº 249/GC5 de 6 de Maio de 2011. Aprova a edição do PCA 3-2, que dispões sobre o Plano Básico de Gerenciamento do Risco Aviário – PBGRA nos aeródromos brasileiros. Comando da Aeronáutica. Ministério da Defesa. 2011.

Brasil. Lei Nº 12.651, de 25 de Maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 25 de Maio de 2012.

Brito, H.D. Mapeamento geoambiental como subsídio à seleção de áreas para implantação de Centrais de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos: aplicação ao município de Santa Cruz da Conceição-SP. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2016. 156 p.

Brollo, M.J. Metodologia automatizada para seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos. Aplicação na Região metropolitana de Campinas (SP). Tese (Doutorado), Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2001. 212 p.

CEPAGRI – Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à

Agricultura. Clima dos Municípios Paulistas. 2015. Disponível em: http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_519.html. Acessado em: 23 nov. 2014.

Cunha, M.A. & Consoni, A.J. Os estudos do meio físico na disposição de resíduos. In: Bitar, O.Y. (Coord.). Curso de geologia aplicada ao meio ambiente. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 1995. cap. 4-6, p.217-227.

Ersoy, H. & Bulut, F. Spatial and multi-criteria decision analyses-based methodology for landfill site selection in growing urban regions. *Waste Management and Research*, n.27, v.5, p. 489–500. 2009.

Ferretti, V. & Pomarico, S. Integrated sustainability assessments: a spatial multicriteria evaluation for siting a waste incinerator plant in the Province of Torino (Italy). *Environment, Development and Sustainability*, n. 14, v. 5, p. 843–867. 2012.

Fiori, A. P. Metodologias de Cartografia Geoambiental. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 5, São Carlos. Anais... São Carlos: ABGE, 2004. CD-ROM.

Giusti, L. A review of waste management practices and their impact on human health. *Waste Management*, n. 29, v.8, p. 2227-2239. 2009.

Gomes, P.C.B. (Org.). Plano da bacia hidrográfica do Rio Mogi Guaçu. São Carlos: Suprema, 2003. 300 p.

Gouveia, N. & Prado, R.R. Riscos à saúde em áreas próximas a aterros de resíduos sólidos urbanos. *Revista de Saúde Pública*, n. 44, v.5, p. 859-866. 2010.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Folha Corumbataí. São Paulo: IBGE, 1971a. SF-23-Y-A-II-1. Escala 1:50.000.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.. Folha Leme. São Paulo: IBGE, 1971b. SF-23-Y-A-I-2. Escala 1:50.000.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malha municipal 2010. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/malhas_digitais/municipio_2010/. Acessado em: 08 out. 2015.

IG - Instituto Geológico do Estado de São Paulo. Folha Leme. São Paulo: IG, 1980. SF-23-Y-A-II-1. Escala 1:50.000.

IG - Instituto Geológico do Estado de São Paulo. Folha Corumbataí. São Paulo: IG, 1984. SF-23-Y-A-I-2. Escala 1:50.000.

IG - Instituto Geológico do Estado de São Paulo. Metodologia para Seleção de Áreas para Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos. In: BROLLO, M.J.; SILVA, P.C.F. (coord.) Relatório Técnico. São Paulo: IG / SMA, 1999.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: IPT/CEMPRE. 1995. 278p.

Iritani, M.A. & Ezaki, S. As águas subterrâneas do Estado de São Paulo. São Paulo: SMA, 2012. 104 p.

Karmann, I. Ciclo da água – Água subterrânea e sua ação geológica. In: Teixeira, W.; Toledo, M.C.M.; Fairchild, T.R.; Taioli, F. (Orgs.). Decifrando a Terra. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 568p.

Köppen, W. Klimate der Erde. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1948.

Levine, S.C. Projetos e Critérios para Localização de Aterros Sanitários. In: Transportation, Water and Urban Development Department, World Bank Urban No. UE-12, 3, 1996.

Lino, I.C. Seleção de áreas para implantação de aterros sanitários: análise comparativa de métodos. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2007. 99 p.

OAS - Organization of American States. Guarani Aquifer System: Environmental Protection and Sustainable Development of the Guarani Aquifer System. Water Project Series, n. 7, 2005.

Oliveira, T.A. Compartimentação fisiográfica aplicada à avaliação de terrenos: subsídio ao planejamento territorial do município de Cananéia-SP. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro. 2004.

PATH - Program for Appropriate Technology in Health. Treatment Alternatives for Medical Waste Disposal. 2005. Disponível em: http://www.path.org/files/TS_trt_alt_med_wst_disp.pdf. Acessado em: 18 set. 2015.

Perez, Z.M.L. (coord.). Panorama dos Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo. Versão preliminar. São Paulo: CETESB, 2013.

Proske, H.; Vicko, J.; Rosenbaum, M.S.; Dorn, M.; Culshaw, M.; Marker, B. Special purpose mapping for waste disposal sites. Report of IAEG Commission I:

Engineering geological maps, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 64, 1–54. 2005.

Reis, F.A.G.V. & Cerri, L.E.S. (coords.). Metodologia para avaliação de áreas sujeitas à ocorrência de ondas de cheia e corridas de massa/detritos: Estudo piloto no duto OSBRA no Estado de São Paulo. Relatório final de pesquisa. 2014.

Ross, J.L.S. & Moroz, I.C. Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. USP/IPT/FAPESP. Escala 1:500.000. 1997.

Santa Cruz da Conceição. Lei complementar no 14, de 27 de novembro de 2007. Dispõe sobre o Plano Diretor estratégico do município de Santa Cruz da Conceição – SP e dá outras providências. Disponível em: http://www.santacruzdaconceicao.sp.gov.br/novo_site/plano_diretor/planodiretor/2013/20130702161619.pdf. Acessado em: 20 out. 2015.

Wilson, D.C. (coord.). Global Waste Management Outlook. Viena: International Solid Waste Association General Secretariat. 2015.

Zaine, J.E. Método de Fotogeologia aplicado a estudos geológico-geotécnicos: ensaio em Poços de Caldas, MG. Tese (Livre docência em Geociências e Meio Ambiente), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro. 2011.

Zuquette, L.V.; Pejon, O.J., Sinelli, O.; Gandolfi, N. Methodology of specific engineering geological mapping for selection of sites for waste disposal. In: International Congress of the International Association of Engineering Geologists, 7, Lisboa. Anais... Lisboa: CRC Press, 1994, p. 2481-2489.

Zuquette, L.V.; Pejon, O.J.; Gandolfi, N.; Rodrigues, J.E. Mapeamento geotécnico: parte 1 - atributos e procedimentos básicos para a elaboração de mapas e cartas. Geociências (São Paulo), São Paulo, v. 16, n. 2, p. 491-524, 1997.

ABSTRACT: This study presents and discusses the development of a geo-environmental mapping focused on the proper selection of areas for the implementation of Solid Waste Treatment Center (SWTPs), with the application focus on the municipality of Santa Cruz da Conceição, a town in São Paulo State, which presents significant environmental nonconformity in relation to management solid waste and disposal of waste. The integration of information obtained from the literature performed, the generation of database (physical, biological and socio-economic elements) and multi-criteria analysis in GIS led to the preparation of this mapping. This work had as fundamental element a previously established physiographic compartmentalization of the area, and considered mainly the aspects of permeability, erosion resistance and stability to gravitational movements.

Database was integrated with information on fragments of vegetation, slope, and poultry risk management areas in regional aerodromes, information on municipal laws, and legal and technical standards. Among the results obtained, there is, centrally, the definition of areas for setting up SWTPs, including incinerators and landfills (in ditches and in layers). This study provides elements for discussion and decision-making related to the implementation process of waste treatment plants and projects associated with them, being applicable to other municipalities.

KEYWORDS: Engineering Geology, Sustainable Land Management, Multicriteria Analysis, Locational Alternatives Study.

Sobre o organizador

EDUARDO DE LARA CARDOZO é mestrando no Programa de Pós Graduação em Ensino de Ciência e Tecnologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Ponta Grossa-PR. Especialista em Espaço, Sociedade e Meio Ambiente pela Faculdade Internacional de Curitiba (FACINTER) em parceria com o Instituto Brasileiro de Pós-Graduação e Extensão (IBPEX); Especialista em Educação Profissional Integrada a Educação Básica na Modalidade Educação de Jovens e Adultos pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Ponta Grossa-PR; Especialista em Educação a Distância, pela FACEL, Curitiba-PR e Especialista em EJA no Sistema Prisional, pela Faculdade EFICAZ – Maringá – PR. Tem experiência como tutor do ensino superior pelo Sistema Universidade Aberta do Brasil (UAB) em parceria com a Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Professor da rede Estadual de Ensino do Estado do Paraná, na disciplina de Geografia. E-mail: edularacardozo@ig.com.br

Sobre os autores

ALYSON BUENO FRANCISCO Geógrafo formado pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) em 2008, mestre (2011) e doutor em Geografia (2017) titulado pela mesma instituição. Atua em pesquisas sobre conservação do solo, de forma concentrada em processos erosivos lineares, monitoramento de boçorocas, controle de erosão com métodos de baixo custo e cartografia de escala topográfica. Publicou trabalhos em eventos no Chile, Colômbia e Portugal e nove artigos em periódicos nacionais.

AMANDA FRANCIELI DE ALMEIDA Graduação em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado de Minas Gerais; Mestrado em Geotecnia pela Universidade de São Paulo - USP.

ANA CARINA ZANOLLO BIAZOTTI COLLARES Professora da Universidade do Estado de Minas Gerais - Unidade Passos; Membro do corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Mestrado Profissional em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente da Universidade do Estado de Minas Gerais; Graduação em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia Civil de Araraquara; Mestrado em Geotecnia pela Universidade de São Paulo, USP; Doutorado em Geotecnia pela Universidade de São Paulo, USP; Grupo de Pesquisa: Zoneamento Ambiental; e-mail de contato: carinacollares@hotmail.com; ana.collares@uemg.br.

BRUNA RICCI BICUDO Discente em Engenharia Ambiental na Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Londrina; Discente do Dupla Diplomação entre a Universidade Tecnológica Federal do Paraná e o Instituto Tecnológico de Bragança (Portugal). Grupo de Pesquisa: Saneamento Ambiental; Email de Contato: brunariccib@gmail.com

CARLOS ALBERTO LÖBLER Graduação em Geografia-Bacharelado, UFSM; Mestrado em Engenharia Ambiental – PPGEAmb/UFSM; Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – UFSM; Grupo de Pesquisa: Hidrogeologia. E-mail: carloslobler@gmail.com

CARLOS MAGNO SOSSAI ANDRADE Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo; Mestrando em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo; E-mail para contato: cmagno.sa@gmail.com

CARLYLE TORRES BEZERRA DE MENEZES Possui graduação em Engenharia de Minas pela Universidade Federal de Pernambuco (1985), pós-graduação no Instituto Nacional Politécnico da Lorraine (1996/1997), doutorado em Engenharia Mineral pela Universidade de São Paulo (2004), com ênfase em gestão ambiental dos recursos minerais e pós-doutorado no Programa Pós-graduação em Sociologia Política da UFSC, no Núcleo Transdisciplinar de Meio Ambiente e Desenvolvimento. Professor e pesquisador vinculado ao Programa de Pós-graduação (Mestrado e Doutorado) em Ciências Ambientais (PPGCA), e ao curso de graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). Tem atuado nas áreas de engenharia e geociências, com ênfase em

recuperação de ambientes alterados, gestão pública ambiental em unidades de conservação e gestão ambiental dos recursos naturais.

CESAR ULISSES VIEIRA VERISSIMO Professor da Universidade Federal do Ceará; Membro do corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará –UFC; Graduação em Geologia pela Universidade Federal do Pará – UFPA; Mestrado em Geologia Regional pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita – UNESP; Doutorado em Geologia Regional pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita - UNESP

CLAUDIA VANESSA DOS SANTOS CORRÊA É graduada em Ecologia pela Universidade Estadual Paulista (2010). No ano de 2013 tornou-se mestre em Geociências e Meio Ambiente pela Universidade Estadual Paulista. Em 2012 concluiu o curso de aperfeiçoamento aplicado ao setor de petróleo, gás, biocombustíveis e energia, realizando 280 horas de cursos estratégicos voltados às questões ambientais. Em 2014 ingressou no doutorado pelo programa de pós-graduação em Geociências da Universidade Estadual Paulista. Está realizando estágio (Doutorado Sanduíche) na Faculdade de Matemática e Ciências Naturais, Departamento de Mineralogia e Geodinâmica da Universität Tübingen, em Tübingen (Alemanha). Atua nos seguintes temas: Geomorfologia Fluvial, Morfometria, Geomorfologia, Cartografia, Cartografia Geomorfologica, Cartografia Geotécnica, SIG, Sensoriamento Remoto, Fotogeologia, Compartimentação Fisiográfica, Zoneamento Geoambiental, Risco Geológico, Modelagem Fisiográfica, Obras Lineares, Dutos, Avaliação de Impactos Ambientais, Planejamento Ambiental.

CLAUDINEI TABORDA DA SILVEIRA Professor da Universidade Federal do Paraná; Membro do corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Paraná; Graduação em Geografia pela Universidade Federal do Paraná; Mestrado em Geologia pela Universidade Federal do Paraná; Doutorado em Geografia pela Universidade Federal do Paraná; Grupo de pesquisa (CNPq): Mapeamento geomorfológico, estudo de processos geomorfológicos e geoambientais, modelagem do terreno e de dados geoespaciais, geotecnologias e qualidade da informação cartográfica. E-mail para contato: claudineits@ufpr.br

DANIEL GALVÃO VERONEZ PARIZOTO Professor da Universidade Federal de Santa Catarina; Graduação em Geografia pela Universidade do Sagrado Coração; Mestrado em Geografia, Meio Ambiente e Desenvolvimento pela Universidade Estadual de Londrina; Doutorado em Riscos Geológicos pela Universidade Federal de Santa Catarina; Grupo de pesquisa: GEDN – Grupo de Estudos em Desastres Naturais; E-mail para contato: daniel_parizoto@hotmail.com.

DIEGO MOREIRA DA SILVA Doutorando da USP São Carlos; Graduação Engenharia Ambiental Centro Universitário de Volta Redonda - UNIFOA; Mestrado em Engenharia Civil – Geotecnia pela COPPE/ UFRJ; E-mail para contato: eng.laum@gmail.com

EDILAINÉ REGINA PEREIRA Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Londrina; Graduação em Engenharia Agrícola pela UNICAMP; Mestrado em Agronomia pela Universidade Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Esalq/Usq; Doutorado em Agronomia pela Universidade Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Esalq/Usq; Pós-Doutorado na Faculdade de Engenharia Agrícola no Departamento de Água e Solo pela UNICAMP; Grupo de pesquisa: Saneamento Ambiental; E-mail para contato: edilainepereira@utfpr.edu.br

EDIVANE PATRÍCIA GANZER Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, UFSM campus Frederico Westphalen – RS. E-mail: edivanepganzer@gmail.com

EDUARDO GOULART COLLARES Professor da Universidade do Estado de Minas Gerais - Unidade Passos; Membro do corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Mestrado Profissional em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente da Universidade do Estado de Minas Gerais; - Graduação em Engenharia Geológica pela Universidade Federal de Ouro Preto, UFOP; Mestrado em Geotecnia pela Universidade de São Paulo, USP; Doutorado em Geotecnia pela Universidade de São Paulo, USP; Grupo de Pesquisa: Zoneamento Ambiental; e-mail de contato: collaresambiental@hotmail.com

FÁBIO AUGUSTO GOMES VIEIRA REIS Geólogo formado pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - Unesp (1998) e Engenheiro Civil formado pela Escola de Engenharia de Piracicaba (2011). Mestre (2001) e doutor (2005) em Geociências e Meio Ambiente também pela Unesp. Atualmente, é Professor Assistente Doutor da Unesp, atuando na área de Geotecnia e Meio Ambiente, ministrando aulas nos Cursos de Geologia e Engenharia Ambiental e Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente. Tem experiência profissional na área de Geociências, com ênfase em licenciamento ambiental, avaliação de impactos ambientais, elaboração de projetos ambientais (EIA/RIMA, RAP, PRAD, RCA, PCA, entre outros), pesquisa e extração mineral e contaminação do solo e água.

FÁBIO FERREIRA DOURADO Aluno de mestrado em Geologia Ambiental pela Universidade Federal do Paraná; Graduação Interdisciplinar em Ciências da Terra e em Geologia pela Universidade Federal do Oeste do Pará. E-mail para contato: fabioo.f.dourado@gmail.com

FERNANDO CERRI COSTA Bacharel em Ciência e Tecnologia e Engenheiro Ambiental e Urbano pela Universidade Federal do ABC (UFABC); Mestrando em Ciência e Tecnologia Ambiental e é membro do Laboratório de Gestão de Riscos da UFABC. Participou da equipe técnica que produziu as Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização dos Municípios de Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Santo André e São Bernardo do Campo.

FRANCISCO KLEISON SANTIAGO MOTA Geólogo Sênior na empresa Nacional Geotecnia e Saneamento Ltda; Graduação em Geologia pela Universidade Federal do Ceará - UFC

FRANCISCO ROBERTO SILVA DE ABREU Professor do Centro Universitário de Volta Redonda – UNIFOA; Membro do corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental e Sistemas Integrados de Gestão; Graduação em Engenharia Civil Centro Universitário de Volta Redonda – UNIFOA; Mestrado em Engenharia Civil – Geotecnia pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC Rio. Grupo de pesquisa: Qualidade e Ambiente. E-mail para contato: francisco.abreu@foa.org.br

GABRIEL D'AVILA FERNANDES: Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, UFSM campus Frederico Westphalen – RS; Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – PPGEAmb, da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM; Grupo de Pesquisa: Hidrogeologia. E-mail: enggabrielfernandes@gmail.com

GABRIELA BESSA Graduação em Geologia pela Universidade Federal de Santa Catarina; Grupo de pesquisa: Grupo Estudos em Desastres Naturais. E-mail para contato: gabrielabessa92@gmail.com.

GIANCARLO LASTORIA Professor Titular da Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Geografia-FAENG e do Programa de Pós-graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul; Graduação em Geologia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (1973); Doutorado em Geociências e Meio Ambiente pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2002); E-mail para contato: g.lastoria@ufms.br

GUILHERME HENRIQUE CAVAZZANA Professor da Universidade Católica Dom Bosco; Graduação em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (2008); Mestrado em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (2011); Doutorado em andamento em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul; E-mail para contato: cavazzana.ea@gmail.com

GUSTAVO RIBAS CURCIO Professor convidado da Universidade Federal do Paraná. Pesquisador da Embrapa Florestas. Membro do corpo docente do Programa de Pós-Graduação da Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná - Área Conservação da Natureza. Graduação em Engenharia Agrônoma pela Universidade Federal do Paraná, Mestrado em Ciência do Solo pela Universidade Federal do Paraná, e Doutorado em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná. E-mail para contato: gustavo.curcio@embrapa.br

GUSTAVO SIMÃO Mestre em Geociências com ênfase em Geoquímica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Graduado em Geologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Membro do Grupo de Pesquisas Aplicadas em Meio ambiente e Analista Ambiental do Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas (IPAT) do Parque Científico e Tecnológico (IPARQUE)/Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). Possui experiência

na área de Geociências com ênfase em Petrologia e Geoquímica de Carvão, Rochas Geradoras de Petróleo, Cinzas e Rejeitos de Carvão, Geologia Ambiental, Gerenciamento de Áreas Contaminadas/ Degradadas e Hidrogeologia de Recursos Hídricos Superficiais e Subterrâneas. E-mail: simao.geologia@gmail.com

HERMES DIAS BRITO Engenheiro Ambiental formado na Universidade Estadual Paulista na cidade de Rio Claro-SP no ano de 2009. Concluiu no mesmo ano o Programa de Formação de Recursos Humanos em Ciências Ambientais Aplicadas ao Petróleo onde desenvolveu trabalho relacionado ao planejamento ambiental na implantação de novas obras dutoviárias. Concluiu Curso de Aperfeiçoamento em Geologia do Petróleo (288 Horas) em Fevereiro de 2014. No ano de 2017 concluiu curso de Mestrado no Programa de Pós Graduação em Geociências e Meio Ambiente da Universidade Estadual Paulista (1500 horas). Desde o início de 2013 atua profissionalmente com geração/processamento digital de imagens e geração de relatórios voltados a pesquisas aplicadas à exploração de petróleo. Atualmente é responsável pelo Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura do Centro de Geociências Aplicadas ao Petróleo - IGCE/UNESPetro.

JADER LIMA PEREIRA Graduado em Ciências Biológicas pela Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), Mestre em Biologia Vegetal pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e Doutorando em Ciências Ambientais pela Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). Atualmente é professor dos cursos de Engenharia Ambiental e Sanitária e Ciências Biológicas da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC) e Pesquisador do Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas (IPAT) da UNESC. É vice-líder do Grupo de Pesquisas em Biodiversidade, Conservação e Ecologia Funcional de Ecossistemas Florestais e Costeiros; e membro pesquisador do Grupo de Pesquisa em Ecologia e Manejo de Ecossistemas Degradados; e Grupo de Pesquisas Aplicadas em Meio Ambiente. E-mail: jader@unesc.net

JEAN MARCELL PONTES OLIVEIRA Graduação em Geologia pela Universidade Federal do Ceará - UFC

JÉSSICA AVELAR SILVA Graduação em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado de Minas Gerais.

JOSÉ LUIZ SILVÉRIO DA SILVA Professor Titular da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM; Membro do corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental - PPGEAmb (Mestrado) e Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC (Mestrado, Doutorado e Pós-Doutorado); Graduação em Geologia Pela Universidade do Vale do Sinos - UNISINOS; Mestrado em Geociências pela Universidade Federal Fluminense; Doutorado em Geociências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS; Pós-Doutorado pela Universidade de São Paulo e Instituto Superior Técnico (Portugal); Grupo de Pesquisa: Gestão de Recursos Hídricos, Hidrogeologia, Hidrodinâmica Ambiental,

Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Paleontologia e Grupo de Pesquisa em Geotecnologias Ambientais e Minerais. E-mail: silverioufsm@gmail.com

JUAN ANTONIO ALTAMIRANO FLORES Professor da Universidade Federal de Santa Catarina; Universidade Federal de Santa Catarina; Graduação em Geologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Graduação em Engenharia de Minas pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Mestrado em Geociências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Doutorado em Materiaux Mineraux pela Université de Poitiers Poitiers; Doutorado em Geociências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Pós-Doutorado pela Universidade Federal de Santa Catarina. E-mail para contato: juan.flores@ufsc.br

JULIANA CASADEI Graduação em Agronomia pela Universidade Católica Dom Bosco (2005); Especialização em Planejamento e Gestão Ambiental com ênfase em Avaliação Ambiental Estratégica pela Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (2009); Mestrado em andamento em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul; E-mail para contato: ju.casadei@gmail.com

JULIO CÉSAR BIZARRETA ORTEGA Professor da UNILA (Universidade Federal de Integração Latino Americana); Graduação em Engenharia Civil pela Universidad Nacional de Ingeniería - Peru (2002); Mestrado em Engenharia Civil (Geotecnia) pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (2009); Doutorando em Engenharia Civil (Geotecnia) pela Pontifícia Universidade Católica de Rio de Janeiro; Grupo de pesquisa: Geotecnia Ambiental

LIGIA BELIEIRO MALVEZZI Graduação em Engenharia Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Londrina; Grupo de Pesquisa: Saneamento Ambiental; Email de Contato: ligia_malvezzi@hotmail.com

LUCILIA DO CARMO GIORDANO Possui graduação em Ecologia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (1996) e Engenharia Ambiental na Escola de Engenharia de Piracicaba (EEP) (2015), Mestrado em Conservação e Manejo de Recursos pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2000) e Doutorado em Geociências e Meio Ambiente pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2004). Atuou como Professora Universitária na UNESP, UNICSUL, FEOB e FMPFM. Tem experiência profissional nas áreas de planejamento ambiental, manejo de bacias hidrográficas, licenciamento ambiental, avaliação de impactos ambientais, geomorfologia, sensoriamento remoto e SIG.

LUENI GONÇALVES TERRA Graduação em Geografia-Bacharelado, UFSM; Mestrado em Engenharia Civil – PPGEC/UFSM; Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – UFSM; Grupo de Pesquisa: Hidrogeologia e Ciclos biogeoquímicos e produtividade do solo. E-mail: lueniterra@gmail.com

MARCELA PENHA PEREIRA GUIMARÃES - Pesquisadora do Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo; - Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ; - Mestrado em Engenharia Civil –

Geotecnia pela COPPE/ UFRJ; - Grupo de pesquisa: Integrante no grupo Processos e Riscos Geológicos no diretório de grupos de pesquisa do CNPq. E-mail para contato: marcelappg@ipt.br

MARIA GIOVANA PARIZZI Professor da Universidade Federal de Minas Gerais; Membro do corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal de Minas Gerais; Graduação em Geologia pela Universidade Federal de Minas Gerais; Mestrado em Geologia pela Universidade Federal de Minas Gerais; Doutorado em Geologia Ambiental e Conservação de Recursos naturais pela Universidade Federal de Ouro Preto; E-mail para contato: mgparizzi18@gmail.com

MAURÍCIO POZZOBON Professor Substituto na Universidade Regional de Blumenau. Graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Regional de Blumenau, Mestrado e Doutorado em Engenharia Florestal (Conservação da Natureza) pela Universidade Federal do Paraná. E-mail para contato: pozzobonmauricio@gmail.com

MILENA MARÍLIA NOGUEIRA DE ANDRADE Professor da Universidade Federal Rural da Amazônia; Membro do corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Gestão de Riscos e Desastres na Amazônia da Universidade Federal do Pará; Graduação em Geologia pela Universidade Federal do Pará; Mestrado em Geologia com ênfase em Sensoriamento Remoto pela Universidade Federal do Pará; Doutorado em Desenvolvimento Socioambiental pela Universidade Federal do Pará - Núcleo de Altos Estudos Amazônicos; Grupo de pesquisa: Grupo de Estudo e Pesquisa sobre Desastres na Amazônia. E-mail para contato: milenamarilia.andrade@gmail.com

MURILO DA SILVA ESPÍNDOLA Professor da Universidade Federal de Santa Catarina; Graduação em Engenharia Civil pela Universidade do Sul de Santa Catarina; Mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina; Doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina; Grupo de pesquisa: Geotecnia UFSC. E-mail para contato: murilo.espindola@ufsc.br

NADJA ZIM ALEXANDRE Graduada em Licenciatura Em Química pela Universidade Federal de Santa Catarina (1984) e mestre em Geografia pela Universidade Federal de Santa Catarina (2000). É professora da UNESC - Universidade do Extremo Sul Catarinense, nos cursos de engenharia ambiental, engenharia de produção e ciências biológicas. Pesquisadora no Setor de Projetos Ambientais do IPAT - Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas da UNESC. Possui experiência na área de Química Ambiental e Controle de Poluição atuando principalmente nos seguintes temas: carvão, águas superficiais, drenagem ácida, poluição da água e diagnóstico ambiental. E-mail: nza@gmail.com

NAEDJA VASCONCELOS PONTES Professora no Instituto Federal da Bahia – IFBA; Graduação em Geologia pela Universidade Federal do Ceará – UFC; Mestrado em Geociências e Análise de Bacias pela Universidade Federal de Sergipe – UFS;

Doutoranda em Geologia na Universidade Federal do Ceará – UFC; Grupo de pesquisa Automação, Eficiência Energética e Produção

NILO RODRIGUES JÚNIOR Graduando em Geologia da Universidade Federal de Santa Catarina. E-mail para contato: nilorodriguesjunior@gmail.com

PATRÍCIO JOSÉ MOREIRA PIRES Professor da Universidade Federal do Espírito Santo; Membro do corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo; Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba; Mestrado em Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro; Doutorado em Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

RAFAEL AUGUSTO DOS REIS HIGASHI Professor da Universidade Federal de Santa Catarina; Universidade Federal de Santa Catarina; Graduação em Engenharia Civil pela Universidade da Amazônia; Mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina; Doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina; Grupo de pesquisa: Geotecnia UFSC (dgp.cnpq.br/dgp/espelhogrupo/5324489698548681) E-mail para contato: rrhigashi@gmail.com

RAPHAEL MOREIRA ALVES Técnico em Informática pela Escola Técnica Pandiá Calógeras; Graduação Engenharia Ambiental Centro Universitário de Volta Redonda - UNIFOA; E-mail para contato: raphaelmoralves@gmail.com

RAQUEL ALFIERI GALERA Doutoranda em Geografia Física pela Universidade de São Paulo (2017), mestrado em Planejamento e Gestão do Território pela Universidade Federal do ABC (2016) e bacharel em Gestão Ambiental pela Universidade de São Paulo (2010). Atualmente vinculada a Universidade Federal do ABC no desenvolvimento de métodos para elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização. Tem experiência na área de planejamento urbano e regional, com ênfase em técnicas de análise e avaliação urbana e regional com o uso de sistema de informação geográfica (SIG) aplicados ao desenvolvimento de instrumentos de planejamento e gestão territorial, com ênfase em políticas para redução de riscos de desastres naturais.

REGIANE MARA SBROGLIA Graduação em Geografia pela Universidade Federal de Santa Catarina; Mestrado em Geografia pela Universidade Federal de Santa Catarina; E-mail para contato: regi_sb@hotmail.com

RICARDO DE SOUZA MORETTI Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo (1978), mestrado em Engenharia de Solos pela Universidade de São Paulo (1987) e doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana pela Universidade de São Paulo (1993). Atualmente é professor titular da Universidade Federal do ABC. Tem experiência na área de Planejamento Urbano e Regional, com ênfase nos temas associados a habitação de interesse social, saneamento, mobilidade, projetos urbanos e prevenção de riscos.

RODRIGO DEL OMO SATO Graduação em Geologia pela Universidade Federal do Paraná; Mestrado em hidrogeologia pela Universidade de São Paulo; Trabalha na empresa MinasHidroGeo; E-mail para contato: satogeo@minasgeo.com.br.

RÔMULO CASTELLO HENRIQUE RIBEIRO Professor da Universidade Federal do Espírito Santo; Membro do corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo; Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo; Mestrado em Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro; Doutorado em Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

SANDRA GARCIA GABAS Professora Adjunta da Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Geografia-FAENG e do Programa de Pós-graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul; Graduação em Geologia pelo Instituto de Geociências - USP (1990); Mestrado em Engenharia de Minas pela Escola Politécnica - USP (1999); Doutorado em Engenharia Civil pela Escola Politécnica - USP (2005); E-mail para contato: sandra.gabas@ufms.br

SÉRGIO LUCIANO GALATTO É professor titular nos cursos de Engenharia Ambiental e Sanitária e de Geografia Licenciatura da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), e pesquisador do Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas (IPAT) pertencente ao Parque Científico e Tecnológico (I-Parque) da UNESC. Possui graduação em Engenharia Ambiental e mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais pela UNESC. É membro dos Grupos de Pesquisas Aplicadas em Meio Ambiente e Biodiversidade, Conservação e Ecologia Funcional de Ecossistemas Florestais e Costeiros. E-mail: sga@unesc.net

SONIA MARIA SILVA VASCONCELOS Professora da Universidade Federal do Ceará; Membro do corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará - UFC; Graduação em Geologia pela Universidade Federal do Ceará -UFC; Mestrado em Engenharia Civil (Recursos Hídricos) pela Universidade Federal do Ceará - UFC; Doutorado em Geociências pela Universidade de São Paulo

TÁCIO MAURO PEREIRA DE CAMPOS Professor da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro; Membro do corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro; Graduação em Engenharia Civil pela Universidade de Brasília (1971); Mestrado em Engenharia Civil e em Mecânica dos Solos respectivamente pela PUC-Rio, em 1974, e pelo Imperial College, Londres, em 1980; Doutorado em Mecânica dos Solos pelo Imperial College, em 1984; Grupo de pesquisa: Geotecnia Ambiental; Bolsista Produtividade em Pesquisa do CNPq - Nível 1a

TAMIRIS AZOIA DE SOUZA Membro da equipe de implantação de outorga de água na Gerência de Recursos Hídricos do Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul; Graduação em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista (2013); Mestrado em andamento em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul; E-mail para contato: tamiris.azoia@gmail.com

THIAGO DE NORÕES ALBUQUERQUE Graduado pelo Instituto Federal do Ceará em Tecnologia em Saneamento Ambiental; Especialista pela Universidade Estadual do Ceará em Planejamento e Gestão Ambiental; Mestrando em Tecnologia em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal do Ceará; Professor Formador da Universidade Aberta do Brasil (UAB). Email: Thiago.noroes12@hotmail.com

TÍCIA CAVALCANTE Graduada pelo Instituto Federal do Ceará em Tecnologia em Gestão Ambiental; Mestranda em Tecnologia em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal do Ceará

VILSON PAGANINI BELLETTINI Possui Graduação em Engenharia Civil e Engenharia de Agrimensura e formação técnica como Técnico de mineração. Coordenador do CEGEO (Centro de Engenharia e Geoprocessamento) do Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas (IPAT) do Parque Científico e Tecnológico (IParque) da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). Possui experiência na atuação como engenheiro em empresas de mineração e no desenvolvimento de projetos de recuperação de áreas degradadas pela mineração. E-mail: vpb@unescc.net

VITOR SANTINI MÜLLER Graduação em Geologia pela Universidade Federal de Santa Catarina; Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Desastres Naturais da Universidade Federal de Santa Catarina. E-mail para contato: vitor@mullergeo.com

WALTER DOS REIS JUNIOR Professor do Instituto técnico CECON; Graduação em Geologia pela Universidade Federal de Minas Gerais; Mestrado em Geologia Econômica e Aplicada pela Universidade Federal de Minas Gerais; E-mail para contato: walterdrjunior@yahoo.com.br

WILLIAN FERNANDO DE BORBA Professor Substituto da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, campus Frederico Westphalen – RS; Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, UFSM campus Frederico Westphalen – RS; Mestrado em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Maria; Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC/UFSM; Grupo de Pesquisa: Hidrogeologia, Solos e Produção Vegetal e Resíduos Sólidos e Educação Ambiental. E-mail: borbawf@gmail.com

WLADYA MARIA MENDES DE OLIVEIRA Graduanda pelo Instituto Federal do Ceará em Engenharia Ambiental

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-93243-39-4



9 788593 243394