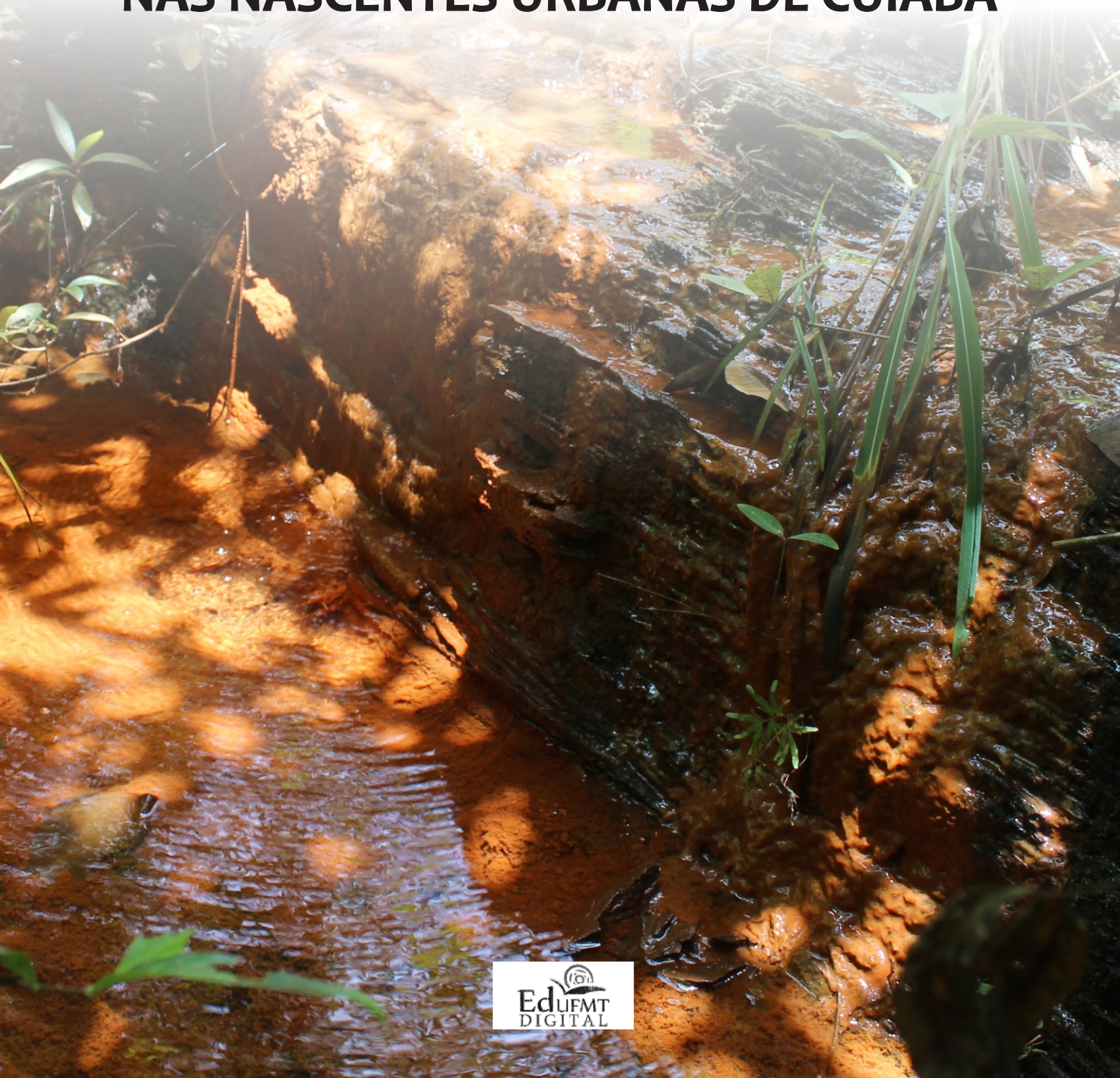


Abílio J. F. de Moraes
André Pansonato
Gerson N. Barbosa
(Organizadores)



PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DO PROJETO ÁGUA PARA O FUTURO UTILIZADOS NAS NASCENTES URBANAS DE CUIABÁ



PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DO PROJETO ÁGUA PARA O FUTURO UTILIZADOS NAS NASCENTES URBANAS DE CUIABÁ



UFMT

**Ministério da Educação
Universidade Federal de Mato Grosso**

Reitora

Myrian Thereza de Moura Serra

Vice-Reitor

Evandro Aparecido Soares da Silva

Coordenador da Editora Universitária

Renilson Rosa Ribeiro

Supervisão Técnica

Ana Claudia Pereira Rubio

Conselho Editorial



Membros

Renilson Rosa Ribeiro (Presidente - EdUFMT)
Ana Claudia Pereira Rubio (Supervisora - EdUFMT)
Adelmo Carvalho da Silva (Docente - IE)
Ana Carrilho Romero Grunennvaldt (Docente - FEF)
Arturo Alejandro Zavala Zavala (Docente - FE)
Carla Reita Faria Leal (Docente - FD)
Divanize Carbonieri (Docente - IL)
Eda do Carmo Razera Pereira (Docente - FCA)
Elizabeth Madureira Siqueira (Comunidade - UFMT)
Evaldo Martins Pires (Docente - CUS)
Ivana Aparecida Ferrer da Silva (Docente - FACC)
Josiel Maimone de Figueiredo (Docente - IC)
Juliana Abonizio (Docente - ICHS)
Karyna de Andrade Carvalho Rosseti (Docente - FAET)
Lenir Vaz Guimarães (Docente - ISC)
Luciane Yuri Yoshiara (Docente - FANUT)
Maria Corette Pasa (Docente - IB)
Maria Cristina Guimaro Abegão (Docente - FAEN)
Mauro Miguel Costa (Docente - IF)
Neudson Johnson Martinho (Docente - FM)
Nileide Souza Dourado (Técnica - IGHD)
Odorico Ferreira Cardoso Neto (Docente - CUA)
Paulo César Corrêa da Costa (Docente - FAGEO)
Pedro Hurtado de Mendoza Borges (Docente - FAAZ)
Priscila de Oliveira Xavier Sudder (Docente - CUR)
Raoni Florentino da Silva Teixeira (Docente - CUVG)
Regina Célia Rodrigues da Paz (Docente - FAVET)
Rodolfo Sebastião Estupiñán Allan (Docente - ICET)
Sonia Regina Romancini (Docente - IGHD)
Weyber Ferreira de Souza (Discente - UFMT)
Zenesio Finger (Docente - FENF)

Abílio J. F. de Moraes
André Pansonato
Gerson N. Barbosa
(Organizadores)

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DO PROJETO ÁGUA PARA O FUTURO UTILIZADOS NAS NASCENTES URBANAS DE CUIABÁ



Cuiabá-MT
2018

© Abílio J. F. de Moraes, André Pansonato e Gerson N. Barbosa, 2018.

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte. A reprodução não autorizada desta publicação, por qualquer meio, seja total ou parcial, constitui violação da Lei nº 9.610/98.

A Edufmt segue o acordo ortográfico da Língua Portuguesa de 1990, em vigor no Brasil desde 2009.

A aceitação das alterações textuais e de normalização bibliográfica sugeridas pelo revisor é uma decisão do autor/organizador.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

P 963

Procedimentos metodológicos do projeto Água para o Futuro utilizados nas nascentes urbanas de Cuiabá / Organizado por Abílio J. F. de Moraes, André Pansonato e Gerson N. Barbosa. Cuiabá - MT: EdUFMT, 2018. 39p.

ISBN - 978-85-327-0645-4
Projeto Água para o Futuro

1. Meio ambiente. 2. Nascentes urbanas – Cuiabá – MT. 3. Danos ambientais. 4. Mapeamento de nascentes. 5. Monitoramento de nascentes. I. Moraes, Abílio J. F. de (org.). II Pansonato, André (org.). III. Barbosa, Gerson N. (org.). IV. Título.

CDU 504

(Douglas Rios – Bibliotecário – CRB1/1610)

Coordenação da EdUFMT

Renilson Rosa Ribeiro

Supervisão Técnica

Ana Claudia Pereira Rubio

Organizadores

Abílio J. Ferraz de Moraes

André Pansonato

Gerson N. Barbosa

Diagramação e Arte da Capa

Abílio J. Ferraz de Moraes

Preparação de originais

Gerson N. Barbosa

Revisão textual e Normalização

Ana Lúcia Bigio



Editora da Universidade Federal de Mato Grosso
Av. Fernando Corrêa da Costa, 2.367
Boa Esperança. CEP 78.060 - 900 - Cuiabá, MT.
Contato: www.editora.ufmt.br
Fone: (65) 3313-7155

Filiada à



Parceiros:



Ministério Público do Estado de Mato Grosso
Av. Desembargador Milton Figueiredo Ferreira Mendes, s/n
Setor D - Centro Político e Administrativo - Cuiabá, MT.
CEP 78049-928 - Fone (65) 3611-0684
e-mail: aguaparaofuturo@mpmt.mp.br
site: aguaparaofuturo.mpmt.mp.br



Organizadores

Abílio José Ferraz de Moraes

Coordenador Técnico-científico do projeto Água para o Futuro

André Pansonato

Membro da equipe técnica do projeto Água para o Futuro

Gerson N. Barbosa

Promotor de Justiça e Coordenador do Projeto Água para o Futuro

17ª Promotoria de Justiça de Defesa da Ordem Urbanística e do Patrimônio Cultural de Cuiabá

Autores

(equipe técnica do projeto Água para o Futuro)

Auberto Siqueira - Professor Doutor em Sensoriamento Remoto, Coordenador da equipe de Geologia

Catia Nunes da Cunha - Professora Doutora em Ecologia e Recursos Naturais, Coordenadora da equipe de Vegetação e Áreas Úmidas

Christine Strussmann - Professora Doutora em Biociências, Coordenadora de equipe de Fauna

Ibraim Fantin da Cruz - Professor Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental - Coordenador da equipe de Hidrogeologia

Abílio José Ferraz de Moraes - Biólogo, Mestre em Ecologia e Conservação da Biodiversidade

André Pansonato - Biólogo, Doutor em Biologia Animal

Barbara Fernanda Tasca - Analista de Banco de Dados, graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental

Cristiane Dias de Novaes - Geóloga, mestranda em Recursos Hídricos

Edvaldo José de Oliveira - Analista Geólogo (MPMT/CAOP), Mestre em Geociências

Erica Cezarine de Arruda - Bióloga, Mestra em Ecologia e Conservação da Biodiversidade

Jessica Rhaiza Mudrek - Bióloga, Mestra em Ecologia e Conservação da Biodiversidade

José Guilherme Roquette - Analista Engenheiro Florestal (MPMT/CAOP), Mestre em Ciências Florestais

Letícia Paredes Subtil - Geóloga

Lucas Neris Araujo - Engenheiro Florestal

Rejane Suellen da Silva Duarte - Geóloga, Mestra em Recursos Hídricos

Sergio Pytagoras Constantine - Geólogo, Mestre em Recursos Hídricos

Stela Rosa Amaral Gonçalves - Engenheira Ambiental, Mestra em Ciências Cartográficas

Tainá Figueiras Dourado-Rodrigues - Bióloga, Doutora em Ecologia e Conservação da Biodiversidade



Imagem de capa - Nascente localizada na zona urbana de Cuiabá, bem conservada, exfiltrando grande volume de água cristalina para uma bacia hidrográfica importante para o abastecimento.

Dedicamos esta obra ao neurocirurgião Dr. Jony Soares Ramos, *in memoriam*, pelo incentivo ao uso de drones nas avaliações ambientais e à publicação dos procedimentos metodológicos desenvolvidos pela equipe do projeto Água para o Futuro.

Figura 1 - Região de cabeceira de um curso d'água dando início a um talvegue.....	13
Figura 2 - Interceptação de feição natural (córrego) em comparação com feições artificiais (arruamentos).....	13
Figura 3 - Imagem de satélite do município de Cuiabá e MDT gerado a partir da nuvem de pontos fornecida.....	14
Figura 4 - Imagem de satélite com as curvas de nível do terreno e MDT do mesmo local...15	15
Figura 5 - MDT em RGB e em Hillshade.....	15
Figura 6 - Canais de drenagem identificados por fotografia aérea do ano de 2005.....	16
Figura 7 - Mapeamento remoto preliminar de uma possível nascente (círculo rosa) utilizando (a) curva de nível, (b) Modelo Digital de Terreno e (c) fotografia aérea.....	16
Figura 8 - Grade retangular regular corrigida (a) e possíveis nascentes (b).....	17
Figura 9 - Vista de uma nascente difusa localizada na zona urbana de Cuiabá.....	18
Figura 10 - Vista de uma nascente pontual localizada na zona urbana de Cuiabá.....	19
Figura 11 - Vista de uma nascente múltipla apresentando três pontos de surgência.....	19
Figura 12 - Arranjo dos eletrodos (denominados de A, M, N e B) para investigação do subsolo. Injeta-se corrente elétrica no solo pelos eletrodos A e B e afere-se a diferença de potencial nos eletrodos M e N.....	19
Figura 13 - Exemplo da aplicação do método eletromagnético em áreas aterradas no município de Cuiabá - MT.....	20
Figura 14 - Abertura de trincheira para a confirmação do aterramento de uma nascente.....	21
Figura 15 - Tela inicial do aplicativo Água para o Futuro.....	21
Figura 16 - Algumas nascentes em locais inusitados, informadas pela população, localizadas via aplicativo.....	21
Figura 17 - Coleta de informações hidrogeológicas.....	22
Figura 18 - Identificação de solo hidromórfico com a utilização do reagente ferricianeto de potássio ($C_6N_6FeK_3$).....	22
Figura 19 - Detalhe para a coloração esverdeada gerada pelas reações químicas.....	22
Figura 20 - Exemplos de nascentes pontuais em afloramentos rochosos (A, B e E) e nascentes difusas (C e D) caracterizadas na área urbana da cidade de Cuiabá.....	23
Figura 21 - Solos hidromórficos amostrados em nascentes difusas (A, B, C, D, F). Em (C) o detalhe em azul é referente à aplicação do reagente químico para determinação objetiva de solos hidromórficos. Durante a sondagem a trado é observado o nível da água no solo (E).....	23
Figura 22 - Surgência hídrica em um veio de quartzo na zona urbana de Cuiabá. Nascente pontual.....	23
Figura 23 - Surgência hídrica com a indicação da presença de ferro solúvel.....	23
Figura 24 - Procedimento de medição de vazão utilizando uma sacola plástica para a coleta da água de uma seção do canal formado por uma nascente.....	24
Figura 25 - Realização de atividades de campo (períodos diurno e noturno) consistente em procura ativa de espécies da fauna urbana em áreas de nascentes de Cuiabá (MT)....	25
Figura 26 - Sagui (<i>Mico melanurus</i>) registrado no entorno de nascente urbana.....	25
Figura 27 - Cobra-cipó (<i>Leptophis ahaetulla</i>) registrada no entorno de nascente urbana.....	25
Figura 28 - Casal de rãzinha-de-nascente (<i>Pseudopaludicola ameghini</i>), em amplexo - registrado em nascente urbana de Cuiabá.....	26
Figura 29 - Tartaruga-cabeça-de-sapo ou cágado (<i>Mesoclemmys vanderhaegei</i>) - registrado em nascente urbana de Cuiabá.....	26
Figura 30 - Perereca diminuta (<i>Dendropsophus nanus</i>) - indivíduo registrado em nascente urbana de Cuiabá.....	26
Figura 31 - Perereca (<i>Scinax nasicus</i>) - indivíduo registrado em área de nascente urbana de Cuiabá.....	26
Figura 32 - Rã-chorona (<i>Physalaemus albonotatus</i>) - indivíduo registrado em nascente urbana de Cuiabá.....	26
Figura 33 - Jacaré-paguá (<i>Paleosuchus palpebrosus</i>) - indivíduo registrado em área de nascente urbana de Cuiabá.....	26

Figura 34 - Cipó-de-arraia-liso (<i>Cissus erosa</i> - VITACEAE)	27
Figura 35 - Cruz-de-malta (<i>Ludwigia tomentosa</i> - ONAGRACEAE), espécie exclusiva de ambientes úmidos.....	27
Figura 36 - Planta carnívora (<i>Drosera montana</i> - DROSERACEAE), exclusiva de ambientes úmidos.....	28
Figura 37 - <i>Melochia arenosa</i> - MALVACEAE, planta facultativa de áreas úmidas.....	28
Figura 38 - <i>Rhynchanthera novemnervia</i> - MELASTOMATACEAE, planta exclusiva de áreas úmidas e muito comum nas nascentes de Cuiabá.....	28
Figura 39 - Capim-rabo-de-burro (<i>Andropogon bicornis</i> - POACEAE), espécie comum em ambientes úmidos.....	28
Figura 40 - Lagartixa (<i>Sagittaria guyanensis</i> - ALISMATACEAE), espécie exclusiva de ambientes úmidos.....	28
Figura 41 - Renda-portuguesa (<i>Pityrogramma calomelanos</i> - PTERIDACEAE), planta facultativa de áreas úmidas.....	28
Figura 42 - Fatores de degradação mais comuns observados nas nascentes urbanas de Cuiabá: aterramento (a), resíduos sólidos (b), canalização (c), <i>Leucaena leucocephala</i> - espécie exótica e invasora agressiva (d), lançamento de esgoto (e) e ocupação irregular (f).....	29
Figura 43 - Coleta de amostra de água de nascentes da área urbana de Cuiabá para caracterização de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos da água	30
Figura 44 - Índice de Qualidade de Água das nascentes urbanas do município de Cuiabá, Mato Grosso, avaliadas até o ano de 2018 pelo projeto Água para o Futuro	31
Figura 45 - Classificação da água das nascentes urbanas avaliadas até o ano de 2018 pelo projeto Água para o Futuro quanto ao Índice de Estado Trófico.....	31
Figura 46 - Nuvem densa de pontos obtida por missão de voo utilizando RPA . Aplicativo PIX4DCapture para IOS.....	32
Figura 47 - Exemplo de mapeamento utilizando o ortomosaico construído a partir de fotografias aéreas . Software Agisoft PhotoScan Professional.....	32
Figura 48 - Exemplo de construção do Modelo Digital de Terreno. Software Agisoft PhotoScan Professional.....	32
Figura 49 - Projeto arquitetônico de recuperação da APP da nascente 83 e urbanização da área verde contígua.....	34
Figura 50 - Delimitação das APPs e das classes de cotas altimétricas da área do PRAD....	36
Figura 51 - Delimitação dos grupos de espécies (classes) a serem plantadas de acordo com as cotas altimétricas: Classe 1 - espécies de matas de galeria; Classe 3 - espécies de Cerrado <i>stricto sensu</i> e cerradão; Classe 2 - consórcio de espécies das classes 1 e 3.....	36
Figura 52 - Modelagem 3D do plantio de mudas nas APPs da nascente e do córrego a serem recuperadas, de acordo com as cotas altimétricas.....	36
Figura 53 - PRAD em execução mediante Termo de Ajustamento de Conduta, incorporando área verde contígua à APP da nascente	37

Todas as imagens constantes nesta obra pertencem ao acervo fotográfico do projeto Água para o Futuro.

Apresentação.....11

1. O projeto Água para o Futuro.....12

2. Procedimentos para o mapeamento remoto de possíveis áreas de nascente.....12

2.1. Interpretação visual...12

2.1.1. Curvas de nível...12

2.1.2. Modelo Digital de Terreno (MDT)...14

2.1.3. Base hidrográfica...15

2.1.4. Imagens de satélites e fotografias aéreas...16

2.2. Automatização do mapeamento de áreas com possíveis nascentes...17

2.3. Avaliação...18

3. Procedimentos para a confirmação *in loco* de nascentes.....18

3.1. Nascentes com surgência...18

3.2. Nascentes aterradas...19

3.2.1. Métodos elétricos...19

3.2.2. Método eletromagnético - radar de penetração do solo...20

3.2.3. Método direto - abertura de trincheiras...20

4. Aplicativo para *mobile*.....21

5. Procedimentos metodológicos para a caracterização das nascentes confirmadas.....22

5.1. Meio abiótico...22

5.1.1. Confirmação e caracterização hidrogeológica das nascentes...22

5.1.2. Análise da qualidade da água subterrânea...23

5.1.3. Poço de monitoramento...23

5.1.4. Medição de vazão...24

5.2. Meio biótico...25

5.2.1. Fauna...25

5.2.2. Vegetação...27

5.3. Avaliação da situação ambiental das nascentes...29

5.4. Catalogação das nascentes...30

5.5. Qualidade da água...30

5.5.1. Índice de Qualidade da Água (IQA)...30

5.5.2. Índice de Estado Trófico (IET)...31

6. Mapeamento e monitoramento das nascentes por RPAS/drone.....31

6.1. Elaboração das missões de voo...31

6.2. Realização das missões de mapeamento...31

6.3. Processamento dos dados obtidos na missão...32

7. Investigação e busca de reparação dos danos em nascentes no âmbito da 17ª Promotoria de Justiça Cível de Cuiabá.....33

7.1. Atuação do Ministério Público na defesa do meio ambiente em Cuiabá...33

7.2. Nascentes urbanas - atuação...33

7.3. Procedimentos investigatórios...33

7.4. Aplicativo para *mobile* Água para o Futuro - procedimento...34

7.5. Reparação de danos ambientais em nascentes urbanas...35

7.6. Busca da solução consensual dos conflitos de natureza ambiental...37

7.6.1. Exemplos...38

8. Referências.....39

Apresentação

O projeto Água para o Futuro é uma iniciativa do Ministério Público do Estado de Mato Grosso, executado em conjunto com o Instituto Ação Verde, a Universidade Federal de Mato Grosso e a concessionária Águas Cuiabá, com o objetivo de identificar, caracterizar, monitorar, preservar e recuperar as nascentes urbanas de Cuiabá, para garantir a segurança hídrica de Cuiabá e o abastecimento de água potável hoje e no futuro.

O primeiro grande passo para proteger é, obviamente, conhecer. Na busca de informações para formar a base de dados em nuvem do projeto (plataforma Geocloud), deparamo-nos em 2016 com um quadro preocupante: nenhum órgão público, municipal ou estadual, possuía o mapeamento das nascentes urbanas de Cuiabá. Partimos, então, de um estudo realizado em 2008, a pedido do Município de Cuiabá, com a finalidade de mapear áreas de preservação permanente, mas que abordava também a situação de algumas nascentes.

No início do projeto Água para o Futuro, a equipe não dispunha de procedimentos padrão para identificação, confirmação e caracterização das nascentes. Desenvolveu, então, uma metodologia própria e inovadora. Foram escolhidos, como projeto piloto, à época, 22 pontos de possíveis nascentes para serem avaliados pelos técnicos.

Passados dois anos da execução do projeto, os procedimentos foram aprimorados, principalmente em face das diversas capacitações realizadas, dentre as quais podemos citar algumas fundamentais: “Possibilidades da Utilização de Drones para a Atividade de Monitoramento”, “Valoração Monetária de Dano Ambiental em Nascentes e suas Áreas de Preservação Permanente”, “Técnicas de Amostragem e Preservação de Amostras de Águas e Efluentes”, “Operação de Veículo Aéreo não Tripulado”, “RPAS/VANTs/Drones, Processamento e Mapeamento” e “Nascentes Urbanas e suas Áreas de Preservação Permanente”.

Atualmente, o mapeamento preliminar de nascentes é feito em laboratório, a partir de características topográficas e hidrográficas e de fotointerpretação de imagens da zona urbana de Cuiabá. Em seguida, nos trabalhos de campo, de confirmação, caracterização e monitoramento de pontos de exfiltração, são utilizados drones e softwares que geram modelo digital de terreno e de superfície, curvas de nível e ortomosaicos desses locais.

Além disso, foi desenvolvido um aplicativo para *mobile*, sistemas *android* e *IOS*, que possibilita a contribuição dos cidadãos para o mapeamento, com o envio de informações ao Centro de Monitoramento de Recursos Hídricos do projeto sobre locais onde podem existir novas nascentes. É possível encaminhar texto e/ou imagem georreferenciada.

Vale ressaltar que os trabalhos de confirmação de nascentes em campo encontram dificuldades engendradas pela atividade antrópica, de modo que, em decorrência de aterramento em período anterior a 2007, ano do levantamento altimétrico, ou de outras formas de degradação, a confirmação de possíveis nascentes (cerca de 250, de acordo com o último levantamento) resta prejudicada pelos procedimentos convencionais, sendo necessária a utilização de métodos geofísicos.

Quando do início dos trabalhos, o Ministério Público já tinha conhecimento do risco ao sistema superficial de abastecimento, pela acelerada degradação dos mananciais, o que foi confirmado com os estudos desenvolvidos.

Os trabalhos do projeto Água para o Futuro demonstram a riqueza da zona urbana de Cuiabá em relação à disponibilidade hídrica. Por outro lado, os resultados preliminares indicam que grande parte das nascentes está sendo destruída.

Para interferir nessa realidade e reverter o preocupante quadro de degradação das nascentes de Cuiabá, com a consequente garantia de abastecimento hídrico para a presente e as futuras gerações, é fundamental a união de conhecimento científico, resolutividade do Ministério Público, atuação eficiente da Administração Pública e do Poder Judiciário e o engajamento da sociedade civil.

O quadro é preocupante. A tarefa é árdua. Mas, felizmente, o projeto chegou a tempo.

Gerson N. Barbosa
Promotor de Justiça e Coordenador do projeto Água para o Futuro

1. O projeto Água para o Futuro

A água é um bem de domínio público e a gestão dos recursos hídricos deve contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades (Lei n. 9.433/1997). Cuiabá é um município privilegiado, que possui um sistema superficial de abastecimento (fio d'água) ainda eficiente, não sendo necessária a construção de represas (lagos de inundação) para o abastecimento. No entanto, para garantir a oferta de água, é necessário que as nascentes e os corpos hídricos existentes no município estejam íntegros.

Levantamentos prévios feitos pelo projeto demonstram degradação em quase todas as nascentes existentes na área urbana de Cuiabá. Além da retirada da mata ciliar, a destinação inadequada de efluentes e a ausência de proteção física nos pontos de afloramento de água contribuem substancialmente para o esgotamento desse recurso ou, até mesmo, para a inutilização do corpo hídrico, devido à alta concentração de poluentes.

Nesse contexto, a identificação de todas as nascentes representa uma corrida contra as ocupações irregulares e o crescimento desordenado que há tempos degradam esses ambientes de importância hídrica na zona urbana de Cuiabá. A ineficiência ou a omissão do município no exercício de seu poder-dever de polícia – ao qual cabe fiscalizar as ocupações irregulares de áreas protegidas, inclusive nascentes – exigem ainda mais celeridade para a execução desse importante estudo ambiental das nascentes.

Diante da intensa degradação das nascentes, do risco de o abastecimento de Cuiabá ficar comprometido - num futuro bem próximo - e ante a triste realidade fática de que mais de 800 municípios brasileiros já se encontram em crise hídrica, elaboramos este

material que descreve, passo a passo, os trabalhos técnicos e científicos desenvolvidos pelo projeto Água para o Futuro, buscando garantir a segurança hídrica e o abastecimento de água potável para a presente e as futuras gerações.

O objetivo deste trabalho é sistematizar os procedimentos utilizados pelas equipes técnicas do projeto Água para o Futuro no mapeamento de áreas de possíveis nascentes, bem como na confirmação *in loco* e caracterização dos meios físico e biótico das nascentes urbanas de Cuiabá e de suas APPs.

Assim, os procedimentos metodológicos poderão ser replicados em municípios com características ambientais e sociais similares às de Cuiabá ou adaptados para as particularidades de cada município brasileiro.

2. Procedimentos para o mapeamento remoto de possíveis áreas de nascente

2.1. Interpretação visual

Para subsidiar o posicionamento geográfico manual dos pontos de possíveis nascentes, optou-se pelo cruzamento de dados matriciais (*raster*) e vetoriais (*vector*) em um Sistema de Informações Geográficas (SIG). A primeira fase do procedimento consiste na interpretação visual de curvas de nível, modelos numéricos de elevação do terreno, malhas hidrográficas, imagens de satélites e fotografias aéreas da área urbana de Cuiabá-MT, com o auxílio da plataforma *Geocloud*, conforme detalhado a seguir.

2.1.1. Curvas de nível

A utilização de curvas de nível para interpretação visual de possíveis nascentes embasa-se na identificação de feições

características de cursos d'água. Nascentes, via de regra, possuem uma região situada a montante do ponto de surgência, denominada região de cabeceira.

Esse tipo de região é representada e identificada pela disposição semiconcêntrica das curvas de nível, que dão início a um talvegue¹ (figura 1). A proximidade das linhas indica a declividade local que, em regiões de cabeceira, tende a ser significativamente maior em relação ao entorno.

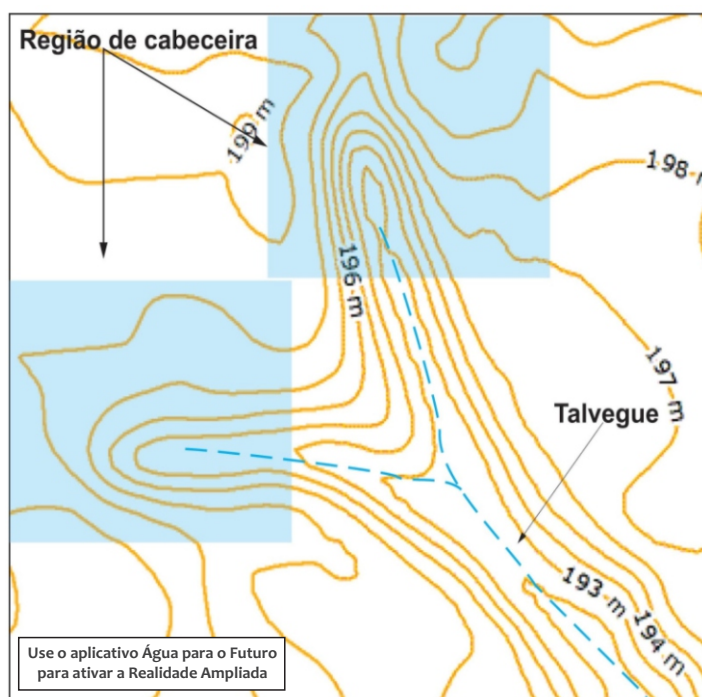


Figura 1 - Região de cabeceira de um curso d'água dando início a um talvegue.

A compreensão da disposição espacial das curvas de nível permite inferências acerca da composição geomorfológica, bem como a identificação de unidades que compõem a bacia hidrográfica analisada. Dentre as feições observadas tem-se o interflúvio² ou o divisor de águas, o talvegue, os morros e morrotes em geral. A assimilação da topografia local induz o estabelecimento de locais com potencial de ocorrência de surgência hídrica.

Os dados utilizados no projeto Água para o Futuro foram processados a partir de uma nuvem de pontos com densidade de 2,5m e interpolados, oferecendo uma definição topográfica representada de metro em metro. A precisão obtida no contorno da superfície pelas curvas de nível permite a identificação de áreas alvo para prospecção de surgência natural.

Deve-se considerar que o trabalho de topografia em áreas urbanas coleta informações de estruturas não naturais como ruas, lotes, lagos artificiais, dentre outros. A análise das curvas de nível deve, imprescindivelmente, considerar que tais estruturas de engenharia podem gerar ruídos no sinal e, conseqüentemente, nas curvas de nível. É necessário analisar o contexto local (figura 2).

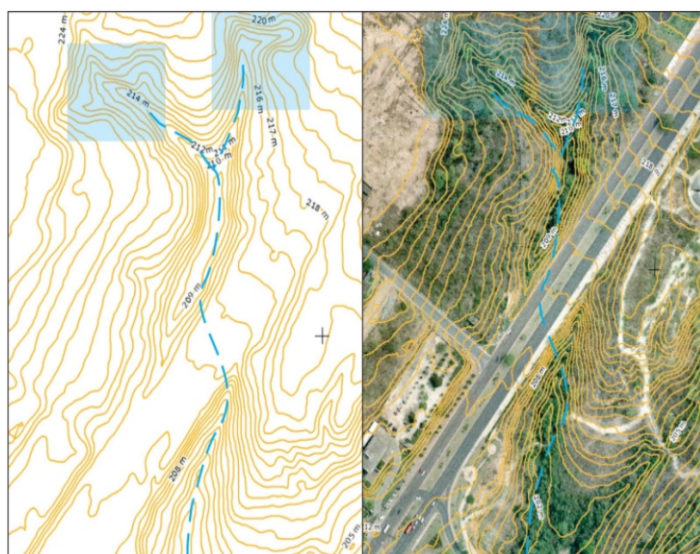


Figura 2 - Intercepção de feição natural (córrego) em comparação com feições artificiais (arruamentos).

¹ Talvegue: linha resultante da junção de todos os pontos que representam as maiores profundidades em um canal fluvial, braço de maré etc (Suguio, 1998).

² Interflúvio: representado cartograficamente como uma linha que separa canais de primeira ordem, esta linha separa ou divide uma bacia de drenagem de sua vizinha (Stevaux & Latrubesse, 2017).

De posse da definição legal de nascente como “afloramento natural do lençol freático que apresenta perenidade e dá início a um curso d’água” (Brasil, 2012), subentende-se a relação entre a topografia local e a surgência. Considerando-se a necessidade da formação de um curso d’água e contemplando as pressões atuantes em uma surgência natural, o terreno deve ser caracterizado por um declive a jusante do ponto de surgência. Ou seja, as curvas de nível a jusante de um possível ponto de surgência devem estar dispostas em cotas decrescentes.

2.1.2. Modelo Digital de Terreno (MDT)

O Modelo Digital de Terreno³ armazena, dentre outros atributos, dados de altimetria que permitem a confecção de inúmeros produtos. Tal modelo utiliza-se de cotas precisas nas coordenadas x, y e z. Quanto maior a precisão da fonte de dados, mais fiel é o MDT (figura 3).

A equipe técnica do projeto Água para o Futuro utiliza o MDT disponível em escala de cores (RGB) e em escala de tons de cinza (Hillshade). Ambos fornecem com precisão

informações acerca da localização das regiões de cabeceira e dos respectivos talvegues existentes na área urbana do município de Cuiabá. A observação dos possíveis pontos de surgência deve estar atrelada ao contexto do relevo no entorno das nascentes potenciais (figuras 4 e 5).

A opção pela visualização em RGB ou *Hillshade* deve ser utilizada quando da necessidade de maior conforto visual na observação das feições desejadas.

A representação do terreno por meio da hipsometria⁴ proporciona melhor entendimento das feições topográficas, visto que utiliza um gradiente de cores quentes para locais mais elevados e cores frias para cotas mais baixas.

³ MDT: representação matemática da distribuição espacial da característica de um fenômeno, vinculada a uma superfície real. A superfície é em geral contínua e o fenômeno que representa pode ser variado.

(<http://www.dpi.inpe.br/spring/teoria/mnt/mnt.htm>, acessado em 10 de julho de 2017);

⁴ Hipsometria: representação das variações de classes altimétricas em um sistema de graduação de cores (Loch, 2006).

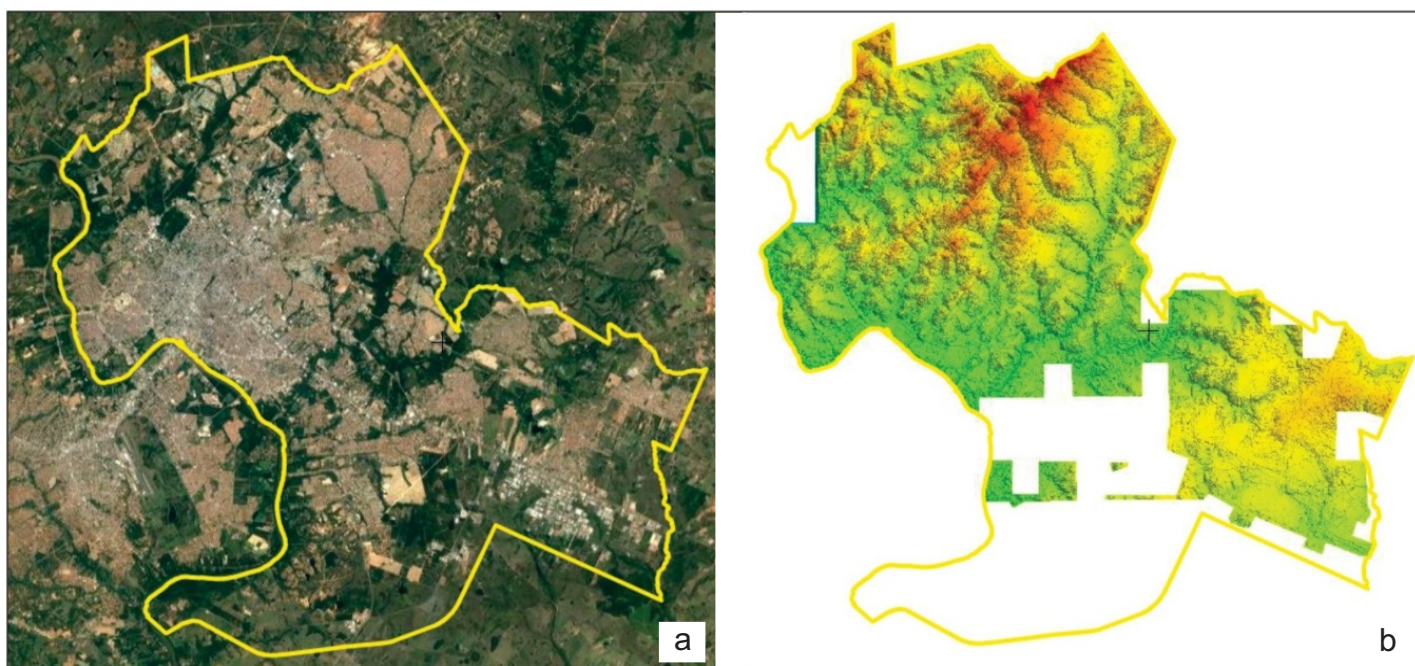


Figura 3 - Imagem de satélite do município de Cuiabá e MDT gerado a partir da nuvem de pontos fornecida.

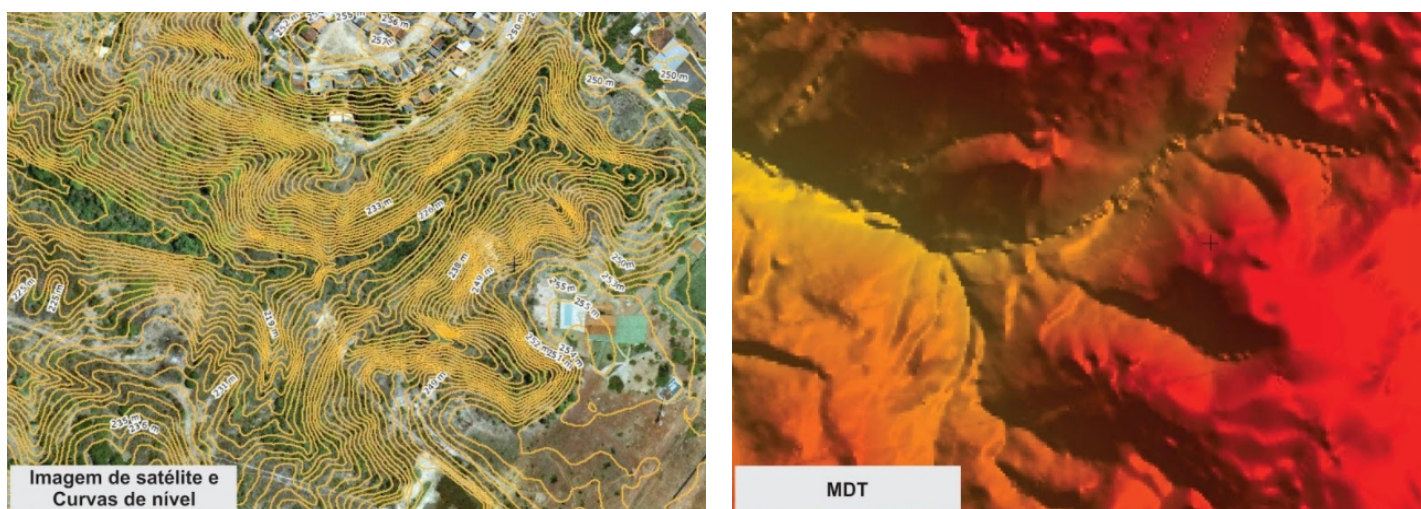


Figura 4 - Imagem de satélite com as curvas de nível do terreno e MDT do mesmo local.

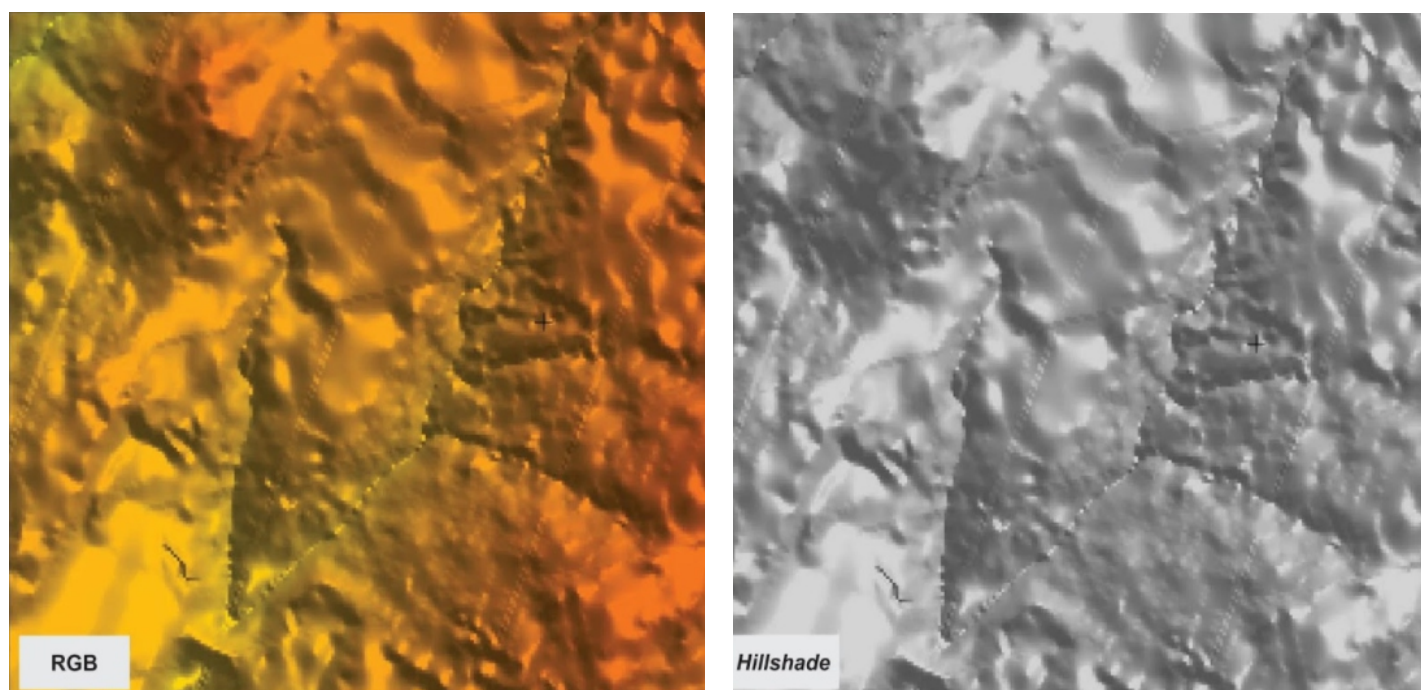


Figura 5 - MDT em RGB e em Hillshade.

2.1.3. Base hidrográfica

Uma base de hidrografia, gerada a partir de fotointerpretação de imagens de satélite, foi utilizada para reconhecer os cursos d'água existentes no município de Cuiabá. Convém ressaltar que esses fluxos representados no mapa referem-se a todo tipo de curso d'água, independentemente de sua fonte, ou seja, talvegues efêmeros e canais originados por surgência natural são representados com a

mesma feição.

A gênese de um talvegue está relacionada à erosão provocada pelo fluxo laminar. A água existente no canal e os sedimentos desagregados, quando combinados com a declividade, propiciam uma aceleração no escoamento superficial. O fluxo com maior velocidade, combinado com a presença de sedimentos, adquire característica abrasiva, formando, assim, a incisão do canal de escoamento.

2.1.4. Imagens de satélites e fotografias aéreas

As imagens de satélites e fotografias aéreas representam uma importante ferramenta para o mapeamento remoto de áreas de possíveis nascentes. Tendo a zona urbana como área de estudo, são necessárias imagens de alta resolução para a correta interpretação visual e posicionamento das possíveis nascentes. Por isso, imagens de média e baixa resolução (por exemplo, imagens do satélite LANDSAT 8) não são utilizadas no processo de mapeamento remoto preliminar de possíveis nascentes.

A zona urbana de Cuiabá está registrada em uma série histórica de imagens de satélite e fotografias aéreas que permitem avaliar os processos de ocupação das nascentes. Essas imagens são de grande importância para a caracterização desses pontos de surgência, comprovando de forma concreta a degradação desses locais.

Sendo assim, a base de dados do SIG Geocloud foi customizada com as seguintes imagens: Google Satélite 2016, HERE, Pleiades 2014, WordView 2010; e fotografias aéreas de 1998, 2005/2006, 2010 e 2012.

No mapeamento preliminar das áreas com possíveis nascentes, as imagens de alta resolução permitem a visualização de canais hídricos ou de faixas de vegetação que acompanham os canais, em uma análise temporal em que é possível identificar a dinâmica de ocupação das áreas nos últimos vinte anos. Também é possível identificar áreas úmidas formadas por nascentes do tipo difusa, bem como barramentos e tanques construídos sobre as nascentes.



Figura 6 - Canais de drenagem identificados por fotografia aérea do ano de 2005.

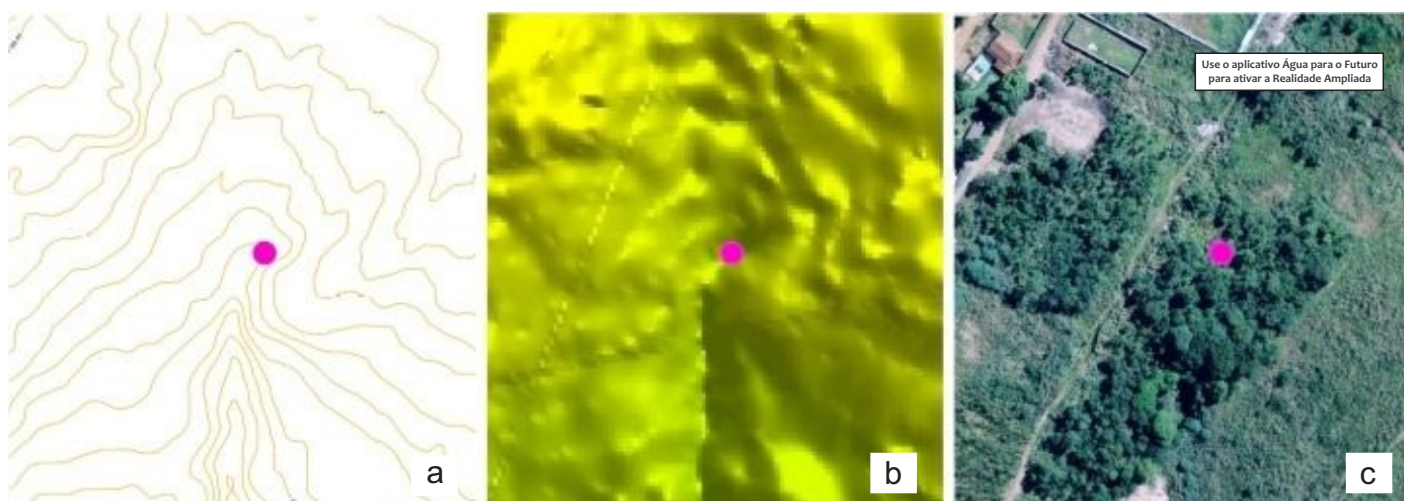


Figura 7 - Mapeamento remoto preliminar de uma possível nascente (círculo rosa) utilizando (a) curva de nível, (b) Modelo Digital de Terreno e (c) fotografia aérea.

2.2. Automatização do mapeamento de áreas com possíveis nascentes

A automatização do mapeamento remoto com o uso de ferramentas de geoprocessamento e análise espacial foi adotada com o intuito de facilitar o procedimento de identificação de possíveis áreas de nascentes. Em conjunto com a interpretação visual, essa nova ferramenta tornou o processo mais eficiente e menos subjetivo. O método seguido consiste na extração da rede de drenagem da área, sendo possível identificar, posteriormente, os pontos a montante de cada canal.

Em posse da nuvem de pontos cotados pela Prefeitura Municipal de Cuiabá, gera-se o Modelo Numérico do Terreno (MNT) da área urbana do município, por meio de uma interpolação bilinear. O software utilizado para o

processamento geográfico dos dados foi o SIG ArcGIS, o qual disponibiliza o interpolador *Topo to Raster*, que gera uma grade retangular regular utilizando a técnica de diferença finita iterativa.

Segundo o *Environmental Systems Research Institute* (ESRI), tal ferramenta é otimizada para ter a eficiência computacional de métodos de interpolação local, como a interpolação ponderada a distância inversa (IDW), sem perder a continuidade da superfície de métodos de interpolação global, como *Kriging* e *Spline*. É essencialmente uma técnica de *Spline* de placa fina discretizada (Wahba, 1990), para a qual a penalidade de rugosidade foi modificada para permitir que o MDT ajustado siga mudanças abruptas no terreno, como córregos, cumes e penhascos.

A escolha do tipo de interpolador deve considerar características do terreno da área de estudo. Nesse caso, como a ferramenta *Topo to Raster* utiliza um padrão de superfície do terreno com muitos topos de colina (máximos) e poucos sumidouros (mínimos) para impor restrições no processo de interpolação, o MDT gerado viabiliza uma boa representação da geomorfologia da área urbana de Cuiabá.

Feita a interpolação, aplica-se a ferramenta *Fill* no modelo regular gerado, para remover pequenas imperfeições nos dados, como pias e picos, devido a erros na resolução ou no arredondamento das elevações para o valor inteiro mais próximo; por exemplo, células espúrias com elevação maior do que seria esperado, dada a tendência da superfície circundante.

Posteriormente, por meio da ferramenta *Flow Direction*, calculou-se a direção do fluxo do MDT gerado a partir da correção anterior, determinado pela direção da descida mais íngreme de cada célula. Vale ressaltar que, para o processamento hidrológico, o Modelo Digital do Terreno deve estar necessariamente no formato binário, uma vez que a distância é calculada



Figura 8 - Grade retangular regular corrigida (a) e possíveis nascentes (b).

entre os centros de cada célula.

Criado o raster de peso, o *software* calcula o fluxo acumulado, identificando canais hidrológicos na presença de células com alta acumulação. A partir daí, é feita uma avaliação condicional que permite extrair apenas células de fluxo concentrado, gerando, assim, a rede de fluxo resultante, a qual é remanejada como a hidrografia da área urbana.

Por fim, de posse da rede de drenagem, aplicou-se uma ferramenta alocando pontos a montante de cada linha de fluxo, possibilitando, dessa forma, a identificação automatizada de possíveis nascentes (figura 8).

2.3. Avaliação

Todas as informações coletadas utilizando os procedimentos descritos anteriormente são compiladas e avaliadas pelos técnicos do projeto Água para o Futuro, que se reúnem e fazem uma interpretação visual dos resultados obtidos, para verificar se todos os pontos de localização das possíveis áreas de nascentes são coerentes, podendo ser feitas correções de localização ou mesmo a exclusão de pontos.

A avaliação também permite uma prévia caracterização do estado de conservação e degradação das áreas de possíveis nascentes e de seu entorno. Nesse momento, pode-se identificar quais das possíveis nascentes se encontram conservadas e quais foram aterradas entre os anos de 1998 e 2018.

Essa caracterização prévia da situação ambiental das nascentes possibilita um planejamento estratégico dos trabalhos de campo, porque a equipe prioriza a análise da situação das nascentes ameaçadas, a fim de fornecer subsídios à Promotoria de Justiça, que iniciará as ações de proteção ao meio ambiente.

3. Procedimentos para a confirmação *in loco* de nascentes

3.1. Nascentes com surgência

A técnica utilizada para a confirmação *in loco* de nascentes é a localização do ponto inicial do canal ou dos canais de drenagem. Com base na localização das nascentes remotamente identificadas, deve-se encontrar o canal ou canais relacionados ao ponto da nascente e em seguida verificar a existência de surgências hídricas.

Então, é realizada uma classificação prévia da nascente confirmada de acordo com suas características hidrológicas. Ressalta-se que a classificação definitiva se dará durante os procedimentos de caracterização das nascentes (item 6).

O projeto Água para o Futuro adotou o seguinte sistema de classificação de tipos de nascentes:

(a) nascente difusa: não apresenta um ponto específico de surgência, ou seja, ocorrem afloramentos em vários pontos do terreno, mas não é possível definir um único ponto;

(b) nascente pontual: apresenta a ocorrência do fluxo d'água em um único local do terreno;

(c) nascente múltipla: apresenta diversas exfiltrações, sendo possível identificar especificamente cada ponto.



Figura 9 - Vista de uma nascente difusa localizada na zona urbana de Cuiabá.



Figura 10 - Vista de uma nascente pontual localizada na zona urbana de Cuiabá.



Figura 11 - Vista de uma nascente múltipla apresentando três pontos de surgência.

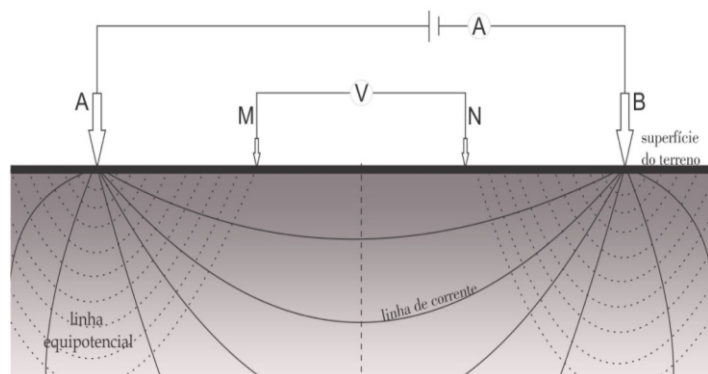


Figura 12 - Arranjo dos eletrodos (denominados de A, M, N e B) para investigação do subsolo. Injeta-se corrente elétrica no solo pelos eletrodos A e B e afere-se a diferença de potencial nos eletrodos M e N.

Em seguida, realiza-se a tradagem manual com o objetivo de caracterizar o solo e identificar (i) se há indícios de oscilação do lençol freático e (ii) qual a sua profundidade. Por fim, na área de entorno são observadas previamente a situação da APP, a existência de ocupações, a presença de resíduos sólidos, o despejo de efluentes e queimadas. Essas informações serão necessárias à caracterização das nascentes confirmadas.

3.2. Nascentes aterradas

Os técnicos do projeto Água para o Futuro visitaram cerca de 700 locais, confirmando a existência, até o momento, de 180 nascentes na área urbana de Cuiabá.

No entanto, em muitos pontos de possíveis nascentes (aproximadamente 250), não foi viável a confirmação em face do alto grau de degradação (canalização, entubamento, aterramento etc).

Nessas situações, é necessária a utilização de métodos indiretos (elétricos e eletromagnéticos) e métodos diretos (abertura de trincheiras) de investigação do subsolo.

3.2.1. Métodos elétricos

Os métodos elétricos consistem em basicamente dois grandes tipos: (a) aqueles que utilizam propriedades elétricas naturais do solo, como o potencial espontâneo, e (b) aqueles que requerem a introdução no solo de correntes elétricas geradas por uma fonte artificial, como baterias, por exemplo.

O método da resistividade pode ser utilizado para o estudo de discontinuidades e anomalias de condutividade elétrica, em que toda anomalia elétrica apresentada é função direta do meio que está sendo investigado (Brooks et al., 2009).

A resistividade do meio investigado

constitui uma importante propriedade eletromagnética do solo e da rocha para identificação de diferentes materiais geológicos. A presença de matacões, o grau de fraturamento e a saturação hídrica, por exemplo, podem ser observados pela variação da condutividade elétrica em relação ao meio.

Um meio saturado em água, na maioria dos casos, apresenta baixos valores de resistividade, devido à dissolução de sais como cloreto de sódio (NaCl), comum em águas subterrâneas. Um meio saturado em água, na maioria dos casos, apresenta baixo valor de resistência, devido à dissolução de sais como cloreto de sódio (NaCl), comum em águas subterrâneas. Ou seja, a presença de sais na água favorece o caráter condutivo do meio, reduzindo a sua resistência. Isso justifica a detecção de baixos valores de resistividade, quando aferidos (Braga, 2016).

O resistímetro é um equipamento capaz de emitir corrente elétrica produzida em uma bateria. Através da cravação de eletrodos no solo e da utilização de configurações de disposição dos eletrodos (figura 12), a corrente elétrica é introduzida no solo em diversas profundidades de investigação, enquanto a diferença de potencial é mensurada.

3.2.2. Método eletromagnético - radar de penetração do solo

O radar de penetração do solo, conhecido como GPR (*Ground Penetrating Radar*), é um método de investigação de subsuperfície não destrutivo. Similar a um perfil sísmico, um pulso curto de radar é introduzido no solo e a velocidade de propagação das ondas é controlada pela constante dielétrica do meio.

Esse método, devido a sua praticidade e análise não destrutiva, pode ser utilizado em ambientes urbanos e sensíveis para compreensão das características do solo, das estruturas de rochas, dos canais enterrados, das tubulações, da prospecção arqueológica e também do nível d'água. A água possui constante dielétrica de 80, ao passo que a maioria dos materiais geológicos possui constante dielétrica compreendida entre 4 e 8.

O procedimento consiste em realizar caminhamentos sobre a superfície aterrada que se deseja investigar (figura 13); para tanto, uma antena transmissora gera um pulso de ondas de rádio enquanto a antena receptora realiza amostragens em uma taxa fixa, resultando em um radargrama (Brooks et al., 2009).

A interpretação dos dados obtidos contempla sempre a geologia do meio, e os padrões de reflexão apresentados possuem escala centimétrica, configurando alta resolução espacial dos dados.

3.2.3. Método direto - abertura de trincheiras

A partir das indicações da presença de umidade no subsolo geradas pelos métodos indiretos, são realizadas escavações em locais estratégicos visando à confirmação da existência de água e/ou solo hidromórfico abaixo do aterro.



Figura 13 - Exemplo da aplicação do método eletromagnético em áreas aterradas no município de Cuiabá-MT.



Figura 14 - Abertura de trincheira para a confirmação do aterramento de uma nascente.

4. Aplicativo para *mobile*

O aplicativo para *mobile* do projeto Água para o Futuro representa importante ferramenta na identificação de novas nascentes. Com o aplicativo, qualquer cidadão pode informar à coordenação do projeto a existência de novas nascentes ou monitorar as nascentes já identificadas.

Na identificação de uma nova nascente, o usuário envia uma fotografia georreferenciada da possível nascente, juntamente com um texto (opcional) com informações adicionais da área.

No monitoramento das nascentes já identificadas, o usuário pode enviar informações acerca de evento de degradação que esteja ocorrendo em alguma nascente, como aterramento, desmatamento, lançamento de

efluentes, ocupações irregulares, obras de drenagem etc.

Até o momento, 10% das nascentes foram identificadas a partir de informações oriundas do aplicativo, enviadas pela população. Vale ressaltar que elas foram localizadas em lugares inusitados, como dentro de casas, em quintais, em canteiros centrais de avenidas, em praças e em outras áreas já bastante alteradas pela urbanização.

Nesses locais, devido ao alto grau de alteração antrópica, os métodos de mapeamento remoto utilizados pelo projeto não geram informações acerca da existência de possíveis nascentes, sendo essencial a participação da sociedade na identificação.

A partir das informações enviadas ao projeto, uma equipe multidisciplinar formada por geólogos, hidrogeólogos e biólogos analisa os dados da possível nascente informada, para confirmar ou negar sua existência.

O APP Água para o Futuro agora conta com a tecnologia da **Realidade Ampliada**. Essa inovadora ferramenta permite ao usuário acessar vídeos específicos a partir do reconhecimento de imagens nos materiais produzidos pelo projeto. A Realidade Ampliada já está inserida em pareceres técnicos, em ações civis públicas iniciadas com base em dados fornecidos pelo projeto Água para o Futuro - auxiliando significativamente na demonstração e esclarecimento dos fatos - e nesta publicação.



Figura 15 - Tela inicial do aplicativo Água para o Futuro.



Figura 16 - Algumas nascentes em locais inusitados, informadas pela população, localizadas via aplicativo.

5. Procedimentos metodológicos para a caracterização das nascentes confirmadas

5.1. Meio abiótico

A confirmação das nascentes e a caracterização do meio físico são atividades realizadas pelas equipes de geologia e hidrogeologia do projeto Água para o Futuro.

5.1.1. Confirmação e caracterização hidrogeológica das nascentes

O método utilizado para confirmação e caracterização hidrogeológica das nascentes e áreas úmidas consiste em estudo da bibliografia existente sobre a área, análise de imagens de satélite, reconhecimento geológico de campo, perfurações a trado com duas polegadas de diâmetro para coleta de informações sobre o solo e sobre o posicionamento do nível freático na área e análise macroscópica das amostras de solo coletadas.

Essas amostras são obtidas em uma profundidade de 0,20m a 2,73m e são analisadas macroscopicamente, *in loco*, e em laboratório. Para determinação das características texturais é utilizado o protocolo padrão proposto pela Embrapa. Para a identificação de solos

hidromórficos é utilizado o reagente ferricianeto de potássio, juntamente com a carta de Munsell.

O solo hidromórfico é gerado na zona de alteração do nível d'água, na qual ocorre, ao longo do tempo, a oxidação do ferro (Fe) no solo, transformando Fe+2 em Fe+3. O reagente ferricianeto de potássio ($C_6N_6FeK_3$) identifica a presença de ferro oxidado (Fe+3), confirmando o hidromorfismo nas amostras.

No reconhecimento geológico de campo, as nascentes são classificadas quanto ao tipo de surgência (pontuais, difusas, múltiplas). Também são observados os aspectos litológicos e geomorfológicos e os processos físicos atuantes na nascente e em sua APP.



Figura 18 - Identificação de solo hidromórfico com a utilização do reagente ferricianeto de potássio ($C_6N_6FeK_3$).



Figura 17 - Coleta de informações hidrogeológicas.



Figura 19 - Destaque para a coloração esverdeada gerada pelas reações químicas.



Figura 20 - Exemplos de nascentes pontuais em afloramentos rochosos (A, B e E) e nascentes difusas (C e D) caracterizadas na área urbana da cidade de Cuiabá.

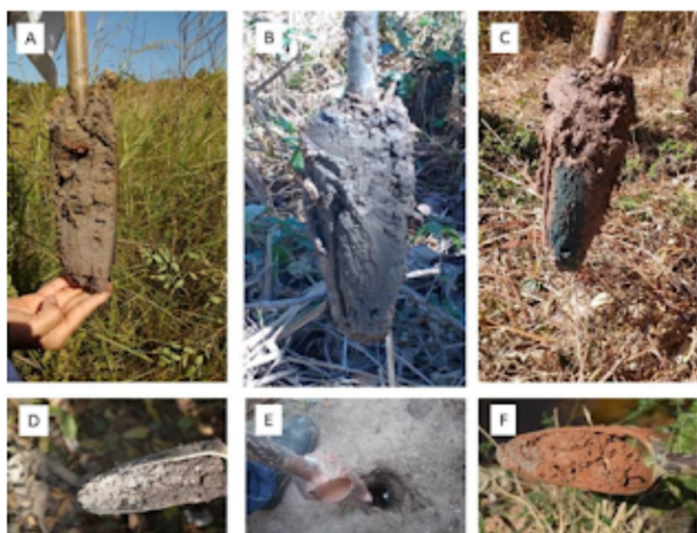


Figura 21 - Solos hidromórficos amostrados em nascentes difusas (A, B, C, D, F). Em (C) o detalhe em azul é referente à aplicação do reagente químico para determinação objetiva de solos hidromórficos. Durante a sondagem a trado é observado o nível da água no solo (E).



Figura 22 - Surgência hídrica em um veio de quartzo na zona urbana de Cuiabá. Nascente pontual.



Figura 23 - Surgência hídrica com a indicação da presença de ferro solúvel.

5.1.2. Análise da qualidade da água subterrânea

São realizadas coletas de amostras de água nos poços de monitoramento para análises hidrogeoquímicas (pH, sólidos, magnésio, fosfato total, dureza total, condutividade elétrica, cálcio, alcalinidade e inorgânicos) e análises isotópicas (oxigênio 18, deutério e trítio). Os parâmetros de temperatura do ar e da amostra, pH, cloro residual e cloro total são medidos em campo. Essas amostras são encaminhadas a um laboratório de análise de água devidamente certificado.

Para análise dos isótopos, as amostras são encaminhadas ao Centro de Isótopos Estáveis, na Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho - UNESP, campus Botucatu, no Estado de São Paulo.

5.1.3. Poço de monitoramento

O poço de monitoramento é uma ferramenta geotécnica utilizada para identificar

o nível freático e coletar amostras de água para análises físico-químicas. Para instalação do poço são utilizados os seguintes materiais: trado manual de 2"; cano de PVC de 50mm, soldável; tampa (capa) para o cano de PVC de 50mm, soldável; malha fina de poliéster; tesoura; braçadeira de plástico; serra para cano de PVC; cola para cano de PVC; areia e cimento.

A confecção do poço de monitoramento segue as etapas abaixo:

1. O poço é locado estrategicamente a montante da nascente;
2. A perfuração do poço é realizada com o auxílio do trado manual, sendo o limite da profundidade do furo determinado pela geologia local;
3. Os poços são construídos com tubos de PVC com diâmetro de 50 mm e com ranhuras de aproximadamente 2 mm. As ranhuras são feitas com serra, em cortes de 2 a 4 cm de comprimento, perpendicular ao comprimento do cano e distantes 2 cm um do outro, alinhados em duas ou três sequências. As ranhuras são distribuídas nos últimos metros do cano, de acordo com a profundidade do nível freático;
4. A seção filtrante é envolta com uma malha fina de poliéster para diminuir a infiltração de sedimentos;
5. São colocadas duas tampas no tubo de PVC: uma na extremidade inferior (soldada) e outra na parte superior (rosqueada);
6. O espaço anelar entre o tubo de PVC e o furo é preenchido com areia até 50 cm acima da seção filtrante, a qual faz papel de um pré-filtro;
7. Por fim, é construída uma laje sanitária de concreto na superfície em volta do cano do poço.

O nível d'água no poço é monitorado com periodicidade mensal, pelo método direto, com o auxílio de um medidor de nível d'água modelo HSNA300.

5.1.4. Medição de vazão

A vazão representa o volume de água exfiltrado por unidade de tempo (m^3/s) e com essa medida é possível avaliar o número de pessoas abastecidas por dia.

Em cada nascente confirmada é realizada a medição da vazão pelos métodos convencionais: molinete hidrométrico ou volumétrico. Para medir a vazão de uma nascente é necessário selecionar uma seção do canal que concentre o maior volume de água exfiltrada. Então, utilizando recipientes com escalas de medidas e um cronômetro, é coletada a água da seção do canal por um determinado período de tempo. Em locais de difícil posicionamento dos recipientes de medida, utiliza-se uma sacola plástica para coletar a água, que posteriormente é medida em recipiente apropriado (figura 24).

A vazão de uma nascente determina sua classificação como de 1ª magnitude (superior a 2800 L/s) até a 8ª magnitude (inferior a 8 mL/s) (Meinzer, 1927). Não há registros, no Brasil, de nascentes de magnitude maior que a 3ª; entretanto, a maioria avaliada na área urbana de Cuiabá foi classificada como de 5ª ou 6ª magnitudes.



Figura 24 - Procedimento de medição de vazão utilizando uma sacola plástica para a coleta da água de uma seção do canal formado por uma nascente.

5.2. Meio biótico

A caracterização do meio biótico se dá após a confirmação da existência de uma nascente pelas equipes de geologia e hidrogeologia do projeto Água para o Futuro. A partir dessa confirmação, são realizados levantamentos rápidos de fauna e flora com o objetivo principal de identificar bioindicadores de ambientes úmidos e de qualidade ambiental.

5.2.1. Fauna

O diagnóstico da fauna associada às áreas das nascentes, tendo como foco principal a herpetofauna, deve ser feito mediante procura ativa (visual e auditiva) durante deslocamentos lentos, geralmente a pé, em período de tempo previamente determinado (procura limitada por tempo – PLT), no ponto amostral e no entorno (figura 25). As buscas devem ser realizadas nos períodos diurno e noturno. Durante o inventário, procura-se registrar a presença de animais no entorno das nascentes (até 50 metros), por meio de visualização direta de espécies e/ou suas vocalizações.

Deverão ser tomadas fotografias de representantes das espécies encontradas e registradas as respectivas coordenadas geográficas. Em caso de os animais não estarem no local, qualquer evidência de sua presença - como excremento, ovos ou indícios de reprodução no sítio - deverá ser registrada.

Todo o procedimento de campo do diagnóstico da biodiversidade de fauna deve ser registrado em fotos, gravações e filmagens, e consignada em relatório a real situação do ambiente amostrado. Após levantamento dos dados de fauna dos pontos amostrais, é necessário disponibilizá-los, juntamente com as imagens do procedimento, na plataforma do Geocloud.



Figura 25 - Realização de atividades de campo (períodos diurno e noturno) consistente em procura ativa de espécies da fauna urbana em áreas de nascentes de Cuiabá (MT).



Figura 26 - Sagui (*Mico melanurus*) registrado no entorno de nascente urbana.



Figura 27 - Cobra-cipó (*Leptophis ahaetulla*) registrada no entorno de nascente urbana.



Figura 28 - Casal de rãzinha-de-nascente (*Pseudopaludicola ameghini*), em amplexo - registrado em nascente urbana de Cuiabá.



Figura 31 - Perereca (*Scinax nasicus*) - indivíduo registrado em área de nascente urbana de Cuiabá.



Figura 29 - Tartaruga-cabeça-de-sapo ou cágado (*Mesoclemmys vanderhaegei*) - registrado em nascente urbana de Cuiabá.



Figura 32 - Rã-chorona (*Physalaemus albonotatus*) - indivíduo registrado em nascente urbana de Cuiabá.



Figura 30 - Perereca diminuta (*Dendropsophus nanus*) - indivíduo registrado em nascente urbana de Cuiabá.



Figura 33 - Jacaré-paguá (*Paleosuchus palpebrosus*) - indivíduo registrado em área de nascente urbana de Cuiabá.

5.2.2. Vegetação

Para a caracterização da vegetação das nascentes confirmadas são realizadas campanhas de amostragem qualitativa com o objetivo de identificar e fotografar todas as espécies de árvores, arbustos, subarbustos, ervas, epífitas e pteridófitas que ocorrem em um raio de 50 metros no entorno das nascentes pontuais e por toda a extensão e entorno das nascentes difusas.

As espécies que se encontram em estágio reprodutivo (apresentando estruturas florais, frutos ou esporos) são coletadas e levadas ao laboratório para que se proceda à herborização do material botânico.

Algumas espécies de plantas das nascentes e áreas úmidas avaliadas que não se apresentam em estágio reprodutivo são coletadas e mantidas vivas em locais apropriados (casa de vegetação), até que produzam as estruturas reprodutivas necessárias para sua correta identificação taxonômica.

As espécies identificadas são classificadas de acordo com sua probabilidade estimada de ocorrência em ambientes úmidos, podendo servir como bioindicadoras de possíveis nascentes, mesmo durante o período de estiagem.

O projeto Água para o Futuro adota a seguinte classificação para as espécies de plantas:

(a) planta obrigatória de áreas úmidas (AUs) – quase sempre ocorre em áreas úmidas (probabilidade estimada > 99%) em condições naturais;

(b) planta facultativa de AUs – normalmente ocorre em áreas úmidas (probabilidade estimada de 67% a 99%), porém ocasionalmente ocorre em ambientes exclusivamente terrestres;

(c) planta facultativa – igualmente provável de ocorrer em zonas úmidas (probabilidade estimada de 34% a 66%);

(d) planta facultativa de áreas altas – usualmente ocorre em áreas altas (probabilidade estimada de 67% a 99%), mas ocasionalmente ocorre em áreas úmidas (probabilidade estimada de 1% a 33%);

(e) planta obrigatória de áreas altas – ocorre quase sempre (probabilidade estimada > 99%) em áreas altas.



Figura 34 - Cipó-de-arraia-liso (*Cissus erosa* - VITACEAE), registrado no entorno de nascente urbana de Cuiabá.



Figura 35 - Cruz-de-malta (*Ludwigia tomentosa* - ONAGRACEAE), espécie exclusiva de ambientes úmidos.



Figura 36 - Planta carnívora (*Drosera montana* - DROSERACEAE), espécie exclusiva de ambientes úmidos.



Figura 39 - Capim-rabo-de-burro (*Andropogon bicornis* - POACEAE), espécie comum em ambientes úmidos.



Figura 37 - *Melochia arenosa* - MALVACEAE, planta facultativa de áreas úmidas.



Figura 40 - Lagartixa (*Sagittaria guyanensis* - ALISMATACEAE), espécie exclusiva de ambientes úmidos.



Figura 38 - *Rhynchanthera novemnervia* - MELASTOMATACEAE, planta exclusiva de áreas úmidas e muito comum nas nascentes de Cuiabá.



Figura 41 - Renda-portuguesa (*Pityrogramma calomelanos* - PTERIDACEAE), planta facultativa de áreas úmidas.

5.3. Avaliação da situação ambiental das nascentes

A avaliação da situação ambiental das nascentes urbanas é realizada a partir da identificação de fatores de degradação que podem comprometer a integridade desses ambientes. Todos os profissionais envolvidos no projeto registram os danos às nascentes e suas APPs a partir de registros fotográficos, filmagens, imagens obtidas por drones (RPAS), imagens de satélite, exames laboratoriais ou qualquer outra forma de comprovação da degradação.

Assim, os passivos ambientais são avaliados de forma multidisciplinar, com a produção de relatos técnicos que abordam diferentes óticas acerca dos impactos ao meio ambiente.

Nessa caracterização, os bioindicadores são de grande importância para a definição da situação ambiental do entorno das nascentes, uma vez que algumas espécies de plantas e animais são indicadoras de degradação ambiental (por exemplo, *Leucaena leucocephala* - planta exótica invasora), enquanto outras indicam certa qualidade ambiental (por exemplo, jacaré-paguá - *Paleosuchus palpebrosus*).

Após os levantamentos remoto e de campo, são realizadas reuniões com todos os profissionais envolvidos, para a definição da situação ambiental de cada nascente avaliada. Nesse momento, as nascentes são classificadas em preservada, conservada, parcialmente degradada ou degradada. Via de regra, não há discordância entre os profissionais em relação à avaliação, uma vez que os danos ambientais sobre as nascentes (aterramento, desmatamento da APP, lançamento de esgoto, entre outros) são bastante visíveis.

Até o momento, a maior parte das nascentes confirmadas pelo projeto Água para o

Futuro apresenta degradação ambiental, ocasionada pela ocupação desordenada do solo, ante a falta de uma eficiente fiscalização pelo Poder Público municipal. Os tipos de degradação consistem, geralmente, em aterramento, drenagem, erosão, supressão da mata ciliar, disposição de resíduos sólidos, lançamento de efluentes de esgoto etc.

A conservação de nascentes urbanas proporciona ambientes adequados para a manutenção de populações de fauna silvestre e de serviços ambientais na Baixada Cuiabana, e tanto a supressão da vegetação como a contaminação do solo e da água afetam negativamente essas populações e serviços.



Figura 42 - Fatores de degradação mais comuns observados nas nascentes urbanas de Cuiabá: aterramento (a), resíduos sólidos (b), canalização (c), *Leucaena leucocephala* - espécie exótica e invasora agressiva (d), lançamento de esgoto (e) e ocupação irregular (f).

5.4. Catalogação das nascentes

A partir das metodologias propostas pelas equipes técnicas, além da experiência de campo adquirida e do conhecimento consolidado por diversas capacitações, foi elaborado um protocolo de catalogação com fundamento nas informações de grande relevância para a caracterização de cada nascente.

Inspirado no trabalho do Dr. Miguel Felipe, renomado pesquisador de nascente e professor titular da Universidade Federal de Juiz de Fora, os técnicos do projeto Água para o Futuro adaptaram um formulário padrão com as características dos meios físico e biótico do bioma Cerrado, para a identificação de danos ambientais e do nível de degradação das APPs.

Essa ficha de catalogação de nascentes utilizada pelo projeto Água para o Futuro está disponível em

<https://aguaparaofuturo.mpmt.mp.br/imprensa/publicacoes>.

5.5. Qualidade da água

Para a identificação e caracterização das nascentes urbanas do município de Cuiabá são avaliadas amostras da qualidade da água a partir da verificação de 16 parâmetros físico-químicos e microbiológicos.

Os resultados obtidos nas coletas são comparados com os valores-padrão constantes nas Resoluções CONAMA n. 357/2005 e n. 430/2011, estabelecidos para corpos d'água Classe 2.

Os parâmetros amostrados por laboratório certificado são: cor, dureza, sólidos totais dissolvidos, sólidos suspensos totais, sólidos totais, turbidez, alcalinidade total, oxigênio dissolvido, alcalinidade de bicarbonatos, alcalinidade de carbonatos, alcalinidade de hidróxidos, fluoreto, fósforo total, sulfato, nitrato, nitrogênio amoniacal,

cálcio, magnésio, sódio, potássio, ferro, condutividade eletrolítica, sílica solúvel, pH, DBO e DQO, coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*, óleos vegetais e gorduras animais.



Figura 43 - Coleta de amostra de água de nascentes da área urbana de Cuiabá para caracterização de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos da água.

5.5.1. Índice de Qualidade da Água (IQA)

Utilizado para avaliar a qualidade da água, o IQA reflete a contaminação da água em decorrência da presença de matéria orgânica e fecal, sólidos e nutrientes. O índice sumariza os resultados de nove parâmetros (oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrato, fosfato total, variação da temperatura da água, turbidez e sólidos totais).

Os valores do índice variam entre zero e 100 e os níveis de qualidade são classificados como péssimo ($0 \leq IQA \leq 25$); ruim ($26 < IQA \leq 50$); razoável ($51 < IQA \leq 70$); bom ($71 < IQA \leq 90$) e ótimo ($91 < IQA \leq 100$).

5.5.2. Índice de Estado Trófico (IET)

O IET é calculado para avaliar a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e crescimento excessivo de algas. Os seguintes estados tróficos foram adotados: ultraoligotrófico ($IET \leq 47$); oligotrófico ($47 < IET < 52$); mesotrófico ($52 < IET < 59$); eutrófico ($59 < IET < 63$); supereutrófico ($63 < IET < 67$) e hipereutrófico ($IET > 67$).

6. Mapeamento e monitoramento das nascentes urbanas por RPAS/drone

O projeto Água para o Futuro realiza o mapeamento das nascentes confirmadas utilizando sistemas de aeronaves remotamente pilotadas (RPAS - Remoted Pilot Aircraft Sistem).

Para tanto, são planejadas e realizadas missões de voo para obtenção de imagens ortorretificadas de alta precisão e resolução.

Acessoriamente são feitas filmagens em alta resolução (4K) das nascentes monitoradas e de seu entorno.

Para o mapeamento utilizando RPAS são realizados os procedimentos detalhados nos próximos itens.

6.1. Elaboração das missões de voo

Os projetos das missões de voo são elaborados em laboratório, utilizando o aplicativo PIX4DCapture instalado em sistema IOS, e visam delimitar as Áreas de Preservação Permanente das nascentes e parte do entorno, em especial as regiões de cabeceira dos corpos hídricos.

Na elaboração do projeto da missão, o técnico deve atentar para o tamanho da área a ser mapeada e a altura em que o voo será realizado, respeitando a autonomia das baterias das aeronaves. Dessa forma, para o mapeamento de áreas extensas (maiores que 10 hectares) é necessário mais de um voo.

6.2. Realização das missões de mapeamento

Os voos para a realização das missões de mapeamento são realizados de forma automatizada e somente em condições climáticas favoráveis. Para otimizar o uso das baterias e por questão de segurança, procura-se posicionar o ponto de decolagem (homepoint)

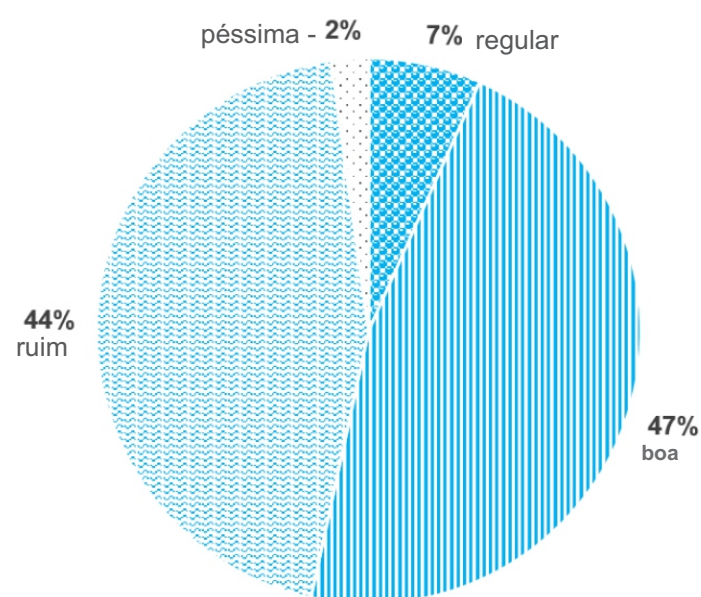


Figura 44 - Índice de Qualidade de Água das nascentes urbanas do município de Cuiabá, Mato Grosso, avaliadas até o ano de 2018 pelo projeto Água para o Futuro.

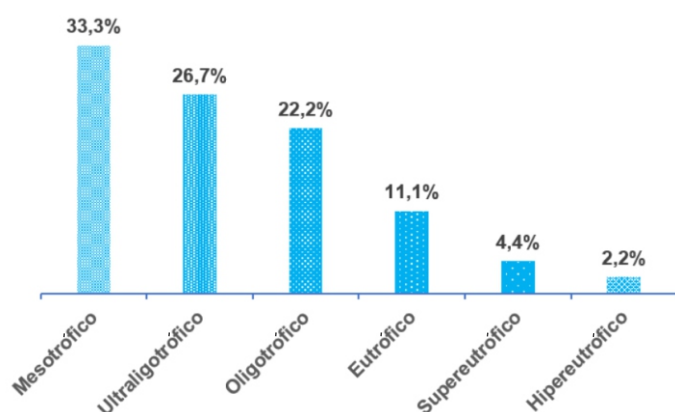


Figura 45 - Classificação da água das nascentes urbanas avaliadas até o ano de 2018 pelo projeto Água para o Futuro quanto ao Índice de Estado Trófico.

próximo ao ponto final da missão, agilizando o retorno da aeronave.

Antes da realização da missão, a câmera da aeronave deve ser regulada de forma manual, considerando a condição de luminosidade no momento do voo. Os horários mais indicados são os de sol a pino (10h até 14h), porque nesse período a formação de sombras sobre a superfície é menor, fator que melhora a qualidade do mapeamento.

6.3. Processamento dos dados obtidos na missão

Para o processamento dos dados obtidos pelos RPAS é utilizado o *software* Agisoft PhotoScan Professional, realizando o seguinte fluxo de trabalho: 1 - alinhamento das fotografias aéreas e geração da nuvem esparsa (*Align photos*), 2 - construção da nuvem densa de pontos (*Bild dense cloud*), 3 - construção da malha (*Bild mash*), 4 - construção da textura (*Bild texture*), 5 - construção do modelo digital de elevação e de terreno (*Bild DEM*) e, por derradeiro, 6 - a construção do ortomosaico das fotografias aéreas alinhadas (*Bild Ortomosaic*), gerando uma imagem georreferenciada atual e de alta resolução da nascente e do seu entorno.



Figura 46 - Nuvem densa de pontos obtida por missão de voo utilizando RPA. Aplicativo PIX4DCapture para IOS.

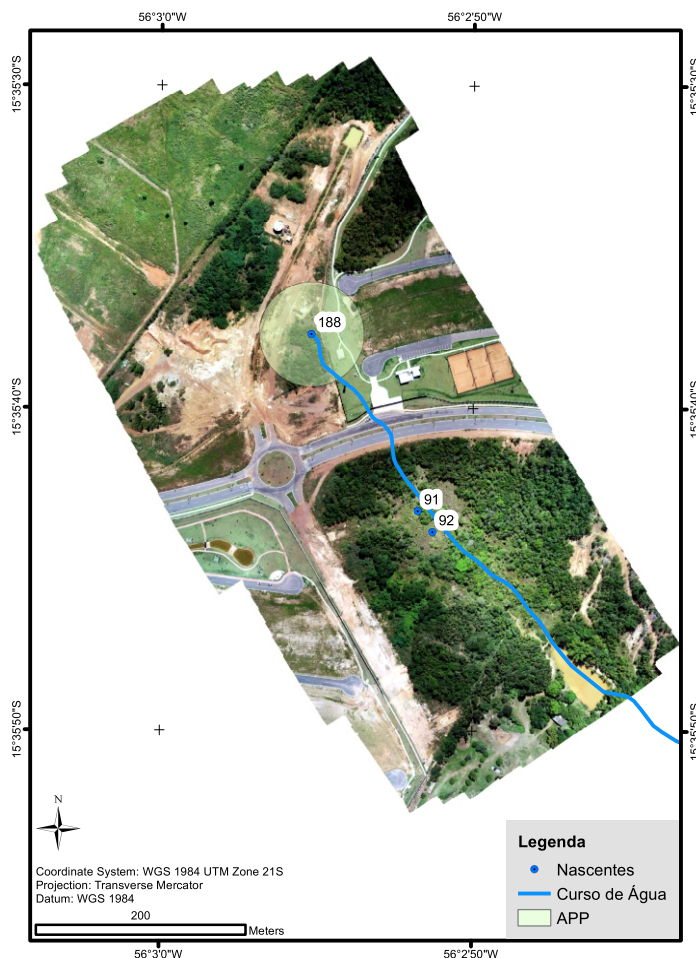


Figura 47 - Exemplo de mapeamento utilizando o ortomosaico construído a partir de fotografias aéreas. Software Agisoft PhotoScan Professional.

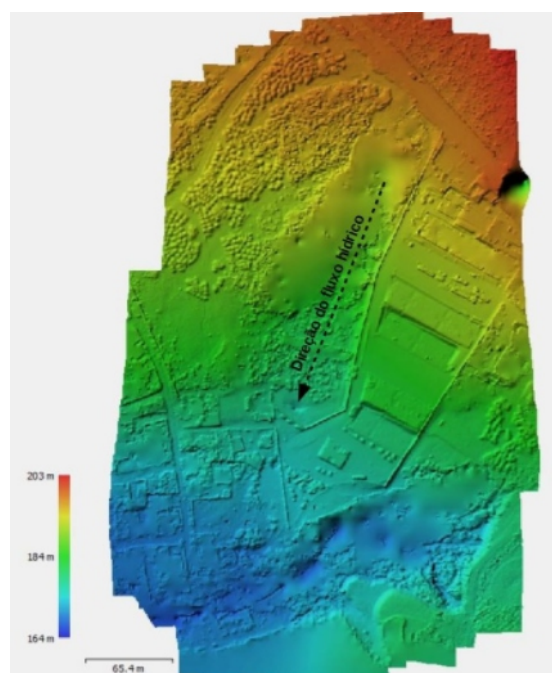


Figura 48 - Exemplo de construção do Modelo Digital de Terreno. Software Agisoft PhotoScan Professional.

7. Investigação e busca de reparação dos danos em nascentes no âmbito da 17ª Promotoria de Justiça Cível de Cuiabá

7.1. Atuação do Ministério Público na defesa do meio ambiente em Cuiabá

Em Cuiabá existem quatro Promotorias de Justiça com atuação no meio ambiente, sendo atribuição das 15ª e 16ª Promotorias de Justiça Cível (PJC) atuar, judicial e extrajudicialmente, na proteção do meio ambiente natural. A defesa do meio ambiente urbano é incumbência das 17ª e 29ª PJC.

À 17ª Promotoria de Justiça Cível compete atuar, judicial e extrajudicialmente, na proteção do meio ambiente urbano da comarca de Cuiabá, inclusive de forma complementar às Promotorias de Justiça que integram a região metropolitana do Vale do Rio Cuiabá e de seu entorno. Atua, também, na tutela de bens e direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico e paisagístico.

É de sua atribuição (Resolução n. 104/2015 - PGJ e Ato n. 01/2013 do Núcleo das Promotorias de Justiça do Meio Ambiente de Cuiabá): poluição sonora; poluição visual ou estética; saneamento básico, compreendendo a distribuição e o tratamento de água, coleta e tratamento de esgoto, bem como gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos; poluição hídrica, quando proveniente de lançamento de esgoto; ocupação irregular do solo urbano e regularização fundiária; área de preservação permanente, na hipótese em que se constate dano decorrente de implantação de loteamento, prédios ou outros tipos de empreendimentos.

7.2. Nascentes urbanas - atuação

Como idealizador do projeto de identificação, preservação e recuperação das

nascentes urbanas de Cuiabá, cabe ao titular da 17ª Promotoria de Justiça de Defesa da Ordem Urbanística e do Patrimônio Cultural de Cuiabá atuar, também, em todos os procedimentos investigatórios referentes a nascentes urbanas, conforme, inclusive, entendimento mantido, à época (início da execução do projeto Água para o Futuro), com os titulares das demais Promotorias de Justiça do Meio Ambiente da capital.

7.3. Procedimentos investigatórios

O Conselho Superior do Ministério Público de Mato Grosso regulamenta na Resolução n. 052/2018 a atuação dos Órgãos de Execução do Ministério Público do Estado de Mato Grosso na área de interesses ou direitos difusos, coletivos, individuais homogêneos e individuais indisponíveis.

As investigações são deflagradas em decorrência de reclamações formuladas pela população ou mediante a instauração, de ofício, pelo Membro do Ministério Público, ao tomar conhecimento de irregularidade que demande a atuação do órgão.

As reclamações podem ser apresentadas por intermédio da Ouvidoria-Geral do Ministério Público, que as encaminhará ao Núcleo das Promotorias de Justiça com atribuição para investigar o relatado.

É possível, ainda, que sejam redistribuídos à 17ª Promotoria de Justiça procedimentos originários de outras promotorias, em razão da apuração, no decurso das investigações, da possibilidade de existência de nascente na área objeto do feito.

Os procedimentos investigatórios são classificados taxonomicamente como notícia de fato, procedimento preparatório e inquérito civil.

As reclamações dirigidas ao Ministério Público são autuadas como notícia de fato, para,

preliminarmente, ser apurado se há indícios de veracidade no fato delatado e se configura lesão ou ameaça de lesão aos interesses ou direitos tutelados pelo Ministério Público, no prazo determinado na Resolução n. 052/2018-CSMP.

Não sendo verificados os requisitos elencados, será a notícia de fato arquivada. Caso contrário, será instaurado procedimento preparatório ou inquérito civil.

Instaura-se procedimento preparatório caso não haja elementos para identificação dos investigados ou delimitação do objeto, devendo ser concluído no prazo fixado na norma regulamentadora. Ao final desse prazo ou ao serem obtidas as mencionadas informações, deverá o procedimento em questão ser convertido em inquérito civil, mediante portaria, ou, então, arquivado.

Por outro lado, se durante a tramitação da notícia de fato constatou-se a presença dos requisitos, instaura-se inquérito civil, sem a necessidade de procedimento preparatório.

Instaurado inquérito civil, serão levadas a cabo diligências objetivando colher as provas necessárias para demonstrar as irregularidades detectadas e os seus responsáveis.

Encerradas as diligências, decidirá o Membro do Ministério Público que presidir o feito pelo seu arquivamento ou pela propositura de ação civil pública.

Procede-se ao arquivamento do inquérito civil, por exemplo, diante da ausência de fundamento para propositura de ação civil pública ou quando celebrado Termo de Ajustamento de Conduta (TAC).

Não sendo caso de arquivamento, será proposta ação civil pública objetivando a integral reparação dos danos.

7.4. Aplicativo para *mobile* Água para o Futuro - procedimento

Conforme informado anteriormente, existe um aplicativo, para utilização em *mobiles*



Figura 49 - Projeto arquitetônico de recuperação da APP da nascente 83 e urbanização da área verde contígua.

(sistemas *android* e *IOS*), por intermédio do qual o cidadão comunica a existência de nascentes e também degradações naquelas já confirmadas pelo projeto.

Se a comunicação foi feita via aplicativo (item 5), o Promotor de Justiça titular da 17ª PJC exara despacho padrão determinando que sejam adotadas as seguintes providências:

a) autuação da informação como notícia de fato e registro no SIMP;

b) comunicação ao usuário acerca do recebimento da informação e da instauração de investigação sobre possível nascente ou degradação;

c) análise preliminar pelo núcleo de monitoramento de recursos hídricos do projeto Água para o Futuro, acerca da existência ou não da nascente, com certidão nos autos;

d) em se tratando de nascente já identificada, é feita a certificação da existência ou da inexistência de procedimento registrado no SIMP e o expediente é conclusivo;

e) caso se trate de nascente que ainda não integre a base de dados do projeto, é necessário encaminhar os autos ao coordenador técnico, para vistoria;

f) após a vistoria, junta-se o relatório e os autos são conclusivos.

7.5. Reparação de danos ambientais em nascentes urbanas

A responsabilização pelos danos ambientais, requerida judicialmente por meio de Ação Civil Pública ou, ainda, exigida por meio de Termo de Ajustamento de Conduta, objetiva, prioritariamente, a reparação *in natura* e *in situ*, tendo como condição *sine qua non* a elaboração e execução de Projeto de Recuperação de Área Degradada - PRAD, às expensas do degradador (princípio do poluidor-pagador) (Freitas, 2011).

Via de regra, exige-se que no PRAD sejam apresentadas informações sobre o objetivo do

projeto, as características ambientais da área alterada ou degradada, as características do dano ambiental, as medidas que serão adotadas para sua recuperação e os indicadores ambientais que serão avaliados ao longo do monitoramento (período mínimo de cinco anos). Além disso, também são exigidos cálculos de correção, cartas-imagem da área, análises físico-químicas do solo e fertilização, cronograma físico-financeiro ou outra medida que o caso concreto exigir.

Em muitas situações são observados processos erosivos nas áreas de preservação permanente das nascentes que podem comprometer a qualidade e quantidade de água exfiltrada; por isso, são exigidos projetos complementares para o controle da erosão (perda do solo). Para esses casos, é requerida, preferencialmente, a adoção de técnicas de engenharia natural (ou bioengenharia), que utilizam elementos inertes e biológicos para deter e prevenir as perdas de solo por processos erosivos, conferindo uma estética mais “natural” à paisagem (Durlo e Sutili, 2012).

Após a estabilização do solo, inicia-se a revegetação ou seu enriquecimento mediante preparo e correção, com posterior plantio de mudas (regeneração artificial) e/ou condução da regeneração natural. São adotadas espécies nativas da região de diferentes grupos ecológicos (pioneiras, secundárias e/ou clímax), que são plantadas em época e em topografia adequadas, de acordo com a disponibilidade hídrica e com suas características ecológicas, sobretudo relacionadas à tolerância ao sombreamento e às condições de umidade da área (figuras 50, 51 e 52).

Nos primeiros anos deve ser realizada a manutenção da área, a fim de garantir a efetiva recuperação ambiental, com o controle da competição com plantas exóticas e/ou invasoras, de pragas e doenças e o replantio, quando necessário. O monitoramento é

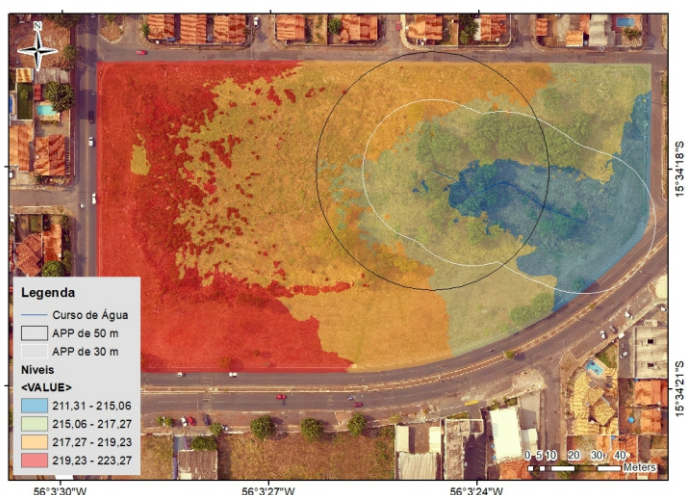


Figura 50 - Delimitação das APPs e das classes de cotas altimétricas da área do PRAD.



Figura 51 - Delimitação dos grupos de espécies (classes) a serem plantadas de acordo com as cotas altimétricas: Classe 1 - espécies de matas de galeria; Classe 3 - espécies de Cerrado *stricto sensu* e cerradão; Classe 2 - consórcio de espécies das classes 1 e 3.



Figura 52 - Modelagem 3D do plantio de mudas nas APPs da nascente e do córrego a serem recuperadas, de acordo com as cotas altimétricas.

realizado por meio do caminhamento e observação *in loco*, bem como utilizando técnicas de sensoriamento remoto, valendo-se de imagens de satélite com alta resolução espacial ou de fotografias aéreas registradas por RPAs.

Para a reparação dos danos ambientais, há ainda a possibilidade de ser requerida uma compensação ecológica, proporcional ao valor pecuniário da indenização pelos danos ambientais. Isso pode ocorrer quando a reparação *in natura* e *in situ* for prejudicada em razão da indisponibilidade de tecnologia ou do custo da atividade de recuperação em valores elevados, não justificando os benefícios ambientais a serem auferidos, podendo caracterizar a irreversibilidade do dano ambiental, de acordo com o princípio da proporcionalidade (Steigleder, 2004).

Em último caso, diante da impossibilidade técnica da reparação *in natura* e *in situ*, bem como da compensação ecológica equivalente, a indenização pecuniária será requerida. Os valores monetários a título de ressarcimento à sociedade pelos danos ambientais podem ainda cumular com as demais formas de reparação, seja devido ao lapso temporal entre a recuperação e a fruição dos bens e serviços ambientais, os chamados lucros cessantes, ou ainda pelos danos extrapatrimoniais, não reparáveis *in natura* e *in situ* (Steigleder, 2004; Freitas, 2011).

A precificação dos danos ambientais leva em conta critérios objetivos, como a utilização de preços de mercado relativos aos custos da recuperação e o tempo necessário para o retorno do ambiente ao mais próximo do *status quo ante*. O método adotado é o custo de reposição, que reflete uma medida mínima do benefício dos bens e serviços ambientais (Nogueira et al., 2000), e quando aplicado em fórmulas da matemática financeira, pode refletir valores em um horizonte temporal, permitindo

estimativas que considerem o tempo necessário para a recuperação ou, ainda, a perpetuidade do dano ambiental, quando for o caso.

Portanto, a responsabilização civil busca a reparação integral dos danos ambientais, ou seja, dos danos materiais e imateriais, priorizando a reparação *in natura* e *in situ* ao invés da indenização pecuniária quando os danos forem reversíveis, visando o retorno do ambiente ao *status quo ante*. Somente diante da impossibilidade técnica será requerida uma compensação ecológica equivalente, medida prioritária em relação à indenização pecuniária. Não obstante, as formas de reparação poderão cumular, principalmente quando a indenização pecuniária for a única possibilidade, sobretudo no caso de danos imateriais, inexistindo *bis in idem*, tendo em vista os fundamentos serem diferentes (Steigleder, 2004).

7.6. Busca da solução consensual dos conflitos de natureza ambiental

No âmbito da 17ª Promotoria de Justiça de Defesa Ambiental, da Ordem Urbanística e do Patrimônio Cultural de Cuiabá, busca-se, sempre, a solução dos conflitos e a reparação integral dos danos de forma consensual, por meio de Termo de Ajustamento de Conduta (TAC).

O Ministério Público, de acordo com o que propugna a Lei de Ação Civil Pública, é legitimado para tomar dos interessados compromisso de ajustamento de conduta às exigências legais, mediante cominações. O TAC terá eficácia de título executivo extrajudicial, dispensando-se, dessa forma, a morosidade do processo de conhecimento e a incerteza do provimento jurisdicional.

Após a instauração de procedimento extrajudicial e o término das investigações, são realizadas audiências com o *desideratum* único de buscar a solução do litígio e a reparação do dano ambiental por intermédio de TAC.



Figura 53 - PRAD em execução mediante Termo de Ajustamento de Conduta, incorporando área verde contígua à APP da nascente.

Nas audiências, realizadas com a participação de técnicos especialistas nas matérias em discussão, quando há a aquiescência do investigado é elaborada a minuta do ajustamento de conduta e, após a sua celebração, ocorre a instauração de procedimento administrativo para o acompanhamento do cumprimento das obrigações assumidas.

Insta salientar que o procedimento administrativo, previsto no artigo 10 da Resolução n. 052/2018 do Conselho Superior do Ministério Público, é um instrumento próprio, sem caráter investigativo, instaurado, dentre outras hipóteses, para acompanhar o cumprimento das cláusulas de termo de ajustamento de conduta firmado.

De se registrar que, quando ocorre a celebração de TAC, a tutela e a reparação do dano ao meio ambiente, via de regra, são mais específicas, amplas e efetivas do que por provimento judicial (sentença).

Mesmo nas hipóteses em que é proposta ação civil pública, é buscada a solução consensual, com pedido de audiência de tentativa de conciliação, propondo-se o acordo judicial com fulcro no § 3º do artigo 3º do Código de Processo Civil.

7.6.1. Exemplos

É oportuno mencionar o Termo de Ajustamento de Conduta celebrado nos autos do inquérito civil SIMP 000597-097/2017, instaurado em decorrência de levantamento feito pelo projeto Água para o Futuro, que demonstrou aterramento de nascente por empreendimento imobiliário.

Em audiência ministerial designada durante o trâmite do inquérito civil, a indigitada empresa manifestou interesse em solucionar o conflito metaindividual mediante Termo de Ajustamento de Conduta.

No compromisso firmado, a compromissária se obrigou a elaborar e a executar Plano de Recuperação de Área Degradada, consistente, em resumo, na delimitação cartográfica e geográfica da área com identificação em campo, consignando as nascentes e áreas de preservação permanente existentes, informações ambientais da região que possibilitem o conhecimento dos fatores abióticos e bióticos que influenciam direta e indiretamente nas medidas a serem adotadas para a recuperação ou restauração ambiental, análise físico-química do solo realizada por laboratório credenciado, para identificar necessidades de correção e/ou fertilização do solo para recuperação ou restauração ambiental etc.

Além disso, em razão dos danos ambientais reversíveis e irreversíveis perpetrados na área, foram estipuladas obrigações, com subsídios da equipe técnica do projeto Água para o Futuro, a título de medida compensatória, consistentes em valor a ser aplicado em projeto socioambiental executado em Cuiabá e a obrigação de urbanização de área verde, que se exigiu que fosse estrategicamente localizada contígua à APP degradada, para possibilitar uma maior permeabilidade e recarga do aquífero.

É importante consignar que a instauração do inquérito civil com base nos relatórios dos técnicos do projeto Água para o Futuro e informações em nuvem ocorreu em 03 de julho de 2017, sendo quase imediatamente firmado o TAC, o que ocorreu no dia 18 do mesmo mês. No processo administrativo para acompanhamento do cumprimento desse TAC extrai-se que a empresa compromissária, no mês de agosto de 2017, apresentou comprovante de cumprimento das medidas compensatórias e protocolo do PRAD.

Outro exemplo é o acordo judicial firmado nos autos da ação de execução fundada em título executivo extrajudicial, Código n.10.375.

Diante do descumprimento pelo município de Cuiabá, foi realizado o cálculo da multa devida, que foi revertida, depois de novo acordo judicial celebrado em 30 de outubro de 2017, em providências para a restauração da nascente 83, identificada e confirmada pelo projeto Água para o Futuro, e urbanização de área verde (vide figura 49).

Para a restauração e urbanização da área verde contígua à mencionada nascente foi elaborado um plano de ação pelos técnicos do projeto Água para o Futuro, que contempla, em síntese, levantamento florístico das espécies arbóreas, delimitação da área verde, execução de projeto paisagístico, definição e locação das espécies a serem plantadas, iluminação do local, execução de calçadas, implantação de pergolado, bancos, passarela elevada etc.

O acordo prevê a execução total das obras e serviços, inclusive com o plantio de mudas, até o final de abril de 2018, restando, a partir dessa data, apenas o acompanhamento do PRAD.

Os exemplos apresentados demonstram que a solução consensual é mais efetiva e célere, gera melhores resultados para o meio ambiente e deve ser aprimorada pelo Ministério Público,

tanto no âmbito de procedimento investigatório como em sede de processo judicial.

8. Referências

BRAGA, A. C. O. Geofísica Aplicada: Métodos Geoeletricos em Hidrogeologia. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2016.

BRASIL, 2012. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis n. 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 n. 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória n. 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 18 fev. 2018.

BROOKS, M.; KEAREY, P.; HILL, I. Geofísica da Exploração. Tradução: Maria Cristina Moreira Coelho. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

DURLO, M. A.; SUTILI, F. J. Bioengenharia: manejo biotécnico de cursos de água. 2ª ed. Santa Maria: edição do autor, 2012.

ESRI. Environmental Systems Research Institute. How Topo to Raster Works. Disponível em: <<http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/3d-analyst/how-topo-to-raster-works.htm&prev=search>>

FREITAS, C. G. A. Valoração do dano ambiental: algumas premissas. In: MPMG. A valoração de serviços e danos ambientais. Revista do Ministério Público do Estado de Minas Gerais, Edição Especial Meio Ambiente, 2011.

IPEM. Instituto de Pesquisa Matogrosense, UFMT, Prefeitura de Cuiabá. Relatório técnico.

Caracterização e delimitação cartográfica das Áreas de Preservação Permanente (APPs) e de Zonas de Interesse Ambiental (ZIAs) na área urbana de Cuiabá. Cuiabá, 2008.

LOCH, R. E. N. Cartografia: representação, comunicação e visualização de dados espaciais. Florianópolis: Editora da UFSC, 2006.

MEINZER, O. E. Large springs in the United States. Water Supply Paper 557 – U.S. Government Printing Office. Washington – DC, USA.

NOGUEIRA, J. M.; MEDEIROS, M. A. A.; ARRUDA, F. S. T. Valoração econômica do meio ambiente: ciência ou empiricismo? Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília-DF, Volume 17, n. 2, 2000.

STEIGLEDER, A. M. Responsabilidade civil ambiental: as dimensões do dano ambiental no Direito Brasileiro. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2004.

SUGUIO, K. A Importância da Geomorfologia em Geociências e Áreas Afins. Revista Brasileira de Geomorfologia, Volume 1, n. 1, 2000.

STEVAX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. Geomorfologia Fluvial. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

WAHBA, G. Modelos *spline* para dados observacionais. Documento apresentado na Série de Conferências Regionais CBMS-NSF em Matemática Aplicada. Filadélfia: Soc. Ind. Appl. Matemáticas, 1990.



O projeto Água para o Futuro é uma iniciativa do Ministério Público do Estado de Mato Grosso, executado em conjunto com o Instituto Ação Verde e a Universidade Federal de Mato Grosso, com o objetivo de identificar, caracterizar, monitorar, preservar e recuperar as nascentes urbanas de Cuiabá, para garantir a segurança hídrica de Cuiabá e o abastecimento de água potável hoje e no futuro. Esta obra busca sistematizar os procedimentos utilizados pelas equipes técnicas do projeto Água para o Futuro no mapeamento de áreas de possíveis nascentes, bem como na confirmação *in loco* e caracterização dos meios físico e biótico das nascentes urbanas de Cuiabá e de suas APPs. Com a sua publicação, estes procedimentos poderão ser replicados em municípios com características ambientais e sociais similares às de Cuiabá ou adaptados para as particularidades de cada município brasileiro.



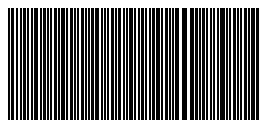
MINISTÉRIO PÚBLICO
DO ESTADO DE MATO GROSSO



INSTITUTO
Ação Verde



AGUAS
CUIABÁ



978-85-327-0647-8

EdUFMT
DIGITAL