

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ANÁLISE, PLANEJAMENTO E GESTÃO AMBIENTAL**

GILIANDER ALLAN DA SILVA

**DINÂMICA HIDROGEOMORFOLÓGICA E CENÁRIOS SAZONAIS EM
NASCENTES DO RIO SÃO FRANCISCO, NA SERRA DA CANASTRA,
MINAS GERAIS**

**Uberlândia/MG
2019**

Giliander Allan da Silva

DINÂMICA HIDROGEOMORFOLÓGICA E CENÁRIOS SAZONAIS EM
NASCENTES DO RIO SÃO FRANCISCO, NA SERRA DA CANASTRA,
MINAS GERAIS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, do Instituto de Geografia, da Universidade Federal de Uberlândia, como pré-requisito à obtenção do título de doutor em Geografia.

Área de Concentração: Análise, Planejamento e Gestão Ambiental.

Orientador: Professor Doutor Silvio Carlos Rodrigues

**Uberlândia/MG
2019**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

S586d Silva, Giliander Allan da, 1985-
2019 Dinâmica hidrogeomorfológica e cenários sazonais em nascentes do Rio São Francisco, na Serra da Canastra, Minas Gerais [recurso eletrônico] / Giliander Allan da Silva. - 2019.

Orientador: Sílvio Carlos Rodrigues.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Geografia.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.te.2019.636>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Geografia. 2. Geomorfometria. 3. Relevos quartzíticos. 4. Hidrogeomorfologia. I. Rodrigues, Sílvio Carlos, 1965- (Orient.) II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

CDU: 910.1

Gerlaine Araújo Silva - CRB-6/1408

BANCA EXAMINADORA

Tese de Doutorado

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ANÁLISE, PLANEJAMENTO E GESTÃO AMBIENTAL**

Giliander Allan da Silva

DINÂMICA HIDROGEOMORFOLÓGICA E CENÁRIOS SAZONAIS EM
NASCENTES DO RIO SÃO FRANCISCO, NA SERRA DA CANASTRA,
MINAS GERAIS

Comissão julgadora

Prof. Dr. Silvio Carlos Rodrigues (orientador) - UFU

Prof. Dr. Miguel Fernandes Felipe - UFJF

Prof. Dr. Renato Emanuel Silva – IFTM (*Campus Patrocínio*)

Prof. Dr. Jorge Luis Silva Brito - UFU

Prof. Dr. Roberto Rosa - UFU

Data: ____/____/____

AGRADECIMENTOS

Sinceros agradecimentos:

Em primeiro lugar, a Deus pela oportunidade de viver este momento.

Aos familiares, pai João e mãe Nair, irmãs Geisa e Gisele, sobrinhos Victor, Miguel e Benício, e namorada Andressa, pelo suporte constante e compreensão nas ausências.

Ao meu orientador professor Doutor Silvio Carlos Rodrigues, pela disposição e interesse em me auxiliar e encarar este assunto, oferecendo suporte para tal.

Aos grandes amigos da vida e das pesquisas Renato, Thallita e Henrique, pelas valiosas leituras, trabalhos de campo e ilustrações, sempre dispostos a me ajudar.

Aos amigos do LAGES (Laboratório de Geomorfologia e Erosão de Solos) pela companhia cotidiana, Fabi, Dani, Vivi, Ju, Jean, Anna, Paula, sobretudo, àqueles que encararam os desafios dos trabalhos de campo na Serra da Canastra, Vinicius, Borges e Jefferson. Aos demais amigos que acompanharam de perto este período oferecendo suporte.

À amiga Lauana, pela residência que nos abrigou em várias campanhas de campo.

Aos professores que participaram das bancas que antecederam este momento, professor Doutor Miguel Felipe, professor Doutor Renato Emanuel e professor Doutor Roberto Rosa.

Ao Programa de Pós-graduação em Geografia do Instituto de Geografia e seus funcionários, pela oportunidade e auxílio.

Ao técnico Josildo do Laboratório de Topografia da Faculdade de Engenharia Civil (UFU), pelo auxílio com os GPS's.

Ao ICMBio – São Roque de Minas, pela parceria.

À CAPES pela bolsa ao longo de quase quatro anos da pesquisa e à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais pelo financiamento do projeto FAPEMIG - APQ-00231-16, que culminou com este trabalho dentre outros desenvolvidos no laboratório.

Aos demais pesquisadores citados ao longo do texto, cujos estudos publicados me foram úteis neste trabalho.

RESUMO

As nascentes compõem a parte inicial do ciclo hidrológico na superfície. Elas representam o contato da água subterrânea e subsuperficial com a parte externa da litosfera, dando início aos canais que formam a rede de drenagem. O estudo se desenvolveu em sete nascentes no Chapadão Diamante, na Serra da Canastra, Minas Gerais, cujas características morfológicas a configura como um “dispersor de drenagem” e, por isso, abrigam inúmeras nascentes de vulto, que originam rios de importância nacional e regional. Em áreas serranas são comuns os materiais de cobertura ser rasos, o que torna as nascentes mais sensíveis às pequenas mudanças de pluviosidade. Embora tenham características importantes, não se percebe merecida atenção às áreas de início dos canais de drenagem, que são carentes de estudos no cenário nacional. A dinâmica das nascentes estudadas procede das características pluviométricas e da litoestrutura local, que condiciona os materiais superficiais, as microformas do relevo nas cabeceiras e cobertura vegetal, mas, também são muito influenciadas pela existência das estradas e atividades de manutenção das mesmas. Desta maneira, objetiva-se caracterizar as nascentes estudadas com base nos processos hidrogeomorfológicos envolvidos, sejam eles naturais e/ou antrópicos. As nascentes foram distinguidas quanto à origem da nascente, vazão, morfologia, tipos de exfiltração, sazonalidade (atividade constante ou intermitente) e mobilidade da nascente. Mapeamento seguido de modelagem do relevo em ultra detalhe foi realizado por RPAs a fim de identificar as microformas das cabeceiras e sua função na dinâmica da infiltração. Os materiais inconsolidados foram caracterizados quanto à sua granulometria. A litologia tem grande contribuição para a dinâmica hidrogeomorfológica das nascentes pesquisadas. Das sete nascentes, seis foram caracterizadas como intermitente e uma como perene. A delgada camada do material inconsolidado que está condicionada pela resistência da rocha quartzítica, implica em menor retenção de água da chuva, desencadeando o escoamento rápido de água para o exultório, resultando em baixa contribuição do fluxo de base para a perenidade do sistema de drenagem. As áreas de maior condição de infiltração e retenção de água estão vinculadas aos bolsões de deposição. Estes tendem a ocorrer principalmente em cabeceiras com alinhamento SE-NO, pela direção e mergulho das camadas arqueadas no período de metamorfismo, que oferecem barramento ao transporte do material coluvial.

Palavras-chave: Áreas de exfiltração; áreas de recarga; mapeamento de detalhe; relevos quartzíticos; Geomorfometria.

ABSTRACT

The springs make up the initial part of the hydrological cycle on the surface. They represent the contact of groundwater and subsurface with the outside of the lithosphere, initiating the channels that form the drainage network. The study was carried out in seven springs in the Chapadão Diamante, in Serra da Canastra, Minas Gerais, whose morphological characteristics constitute it as a "drainage diverter" and, therefore, harbor innumerable large springs that originate rivers of national and regional importance. In mountainous areas it is common for cover materials to be shallow, which makes springs more sensitive to small changes in rainfall. Although they have important characteristics, they do not deserve attention to the areas of beginning of the drainage channels, which are lacking studies in the national scenario. The dynamics of the springs studied come from pluviometric features and local lithostructure, which conditions surface materials, relief microforms in headwaters and vegetation cover, but are also strongly influenced by the existence of roads and maintenance activities. In this way, we aim to characterize the springs studied based on the hydrogeomorphological processes involved, be they natural and / or anthropic. The sources were distinguished according to the origin of the source, flow, morphology, types of exfiltration, seasonality (constant or intermittent activity) and spring mobility. Mapping followed by ultra-detail relief modeling was performed by RPAs in order to identify the headform microforms and their function in the infiltration dynamics. The uncooled materials were characterized by their granulometry. The lithology has a great contribution to the hydrogeomorphological dynamics of the sources studied. Of the seven springs, six were characterized as intermittent and one as perennial. The thin layer of the unconsolidated material that is conditioned by the resistance of the quartzitic rock, implies a lower retention of water from the rain, triggering the rapid flow of water to the reef, resulting in low contribution of the base stream to the perennality of the drainage system. The areas with higher water infiltration and retention conditions are linked to the deposition pockets. These tend to occur mainly in headwaters with SE-NO alignment, by the direction and dip of the arched layers in the period of metamorphism, which provide a bus to the transport of the coluvial material.

Keywords: Areas of exfiltration; recharge areas; mapping detail; quartzitic reliefs; Geomorphometry.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figuras

Figura 1 - Unidades tectônicas da Faixa Brasília com ênfase no Chapadão Diamante.....	21
Figura 2 - Mapa de Unidades Geológicas do Parque Nacional da Serra da Canastra.....	22
Figura 3 - Mapa de Unidades Geomorfológicas do Parque Nacional da Serra da Canastra.....	23
Figura 4 - Formações e fitofisionomias que ocorrem nas cabeceiras estudadas.....	27
Figura 5 - Ciclo hidrológico com taxas de evaporação, precipitação e drenagem para os oceanos.....	28
Figura 6 - Movimento da água de precipitação em superfície e subsuperfície.....	29
Figura 7 - Fluxograma da dinâmica da água até chegar ao canal de drenagem.....	30
Figura 8 - Processo de escoamento em vertentes e condicionantes principais.....	31
Figura 9 – Esquema ilustrativo das regiões de água no solo.....	33
Figura 10 – Esquema de representação do lençol empoleirado numa vertente.....	34
Figura 11 – Modelo Digital do Terreno (MDT) do efeito da estrada no fluxo de água.....	36
Figura 12 - Efeito da estrada na densidade da drenagem.....	37
Figura 13 - Canais de primeira ordem e tipos de segmentos conforme fornecimento de água pelo sistema.....	43
Figura 14 - Representação de um projeto de voo executado.....	45
Figura 15 - Equipamentos GNSS Promark 200 e Promark 2.....	47
Figura 16 - Ortorretificação: A) imagem não corrigida (erro superior a 2 metros); B) imagem corrigida.....	48
Figura 17 - Localização e detalhamento fotográfico da Nascente GP1.....	55
Figura 18 - Localização e detalhamento fotográfico da Nascente GP2.....	57
Figura 19 - Localização e detalhamento fotográfico da Nascente GP3.....	59
Figura 20 - Localização e detalhamento fotográfico da Nascente GP4.....	61
Figura 21 - Localização e detalhamento fotográfico da Nascente GP5.....	63
Figura 22 - Localização e detalhamento fotográfico da Nascente GP6.....	65
Figura 23 - Localização e detalhamento fotográfico da Nascente GP7.....	67
Figura 24 - Áreas de captação das sete nascentes com alguns parâmetros morfométricos.....	73
Figura 25 - Formas de vertentes: Curvatura vertical e horizontal (à esquerda); Curvatura longitudinal e transversal (à direita).....	76
Figura 26 – Cinco perfis topográficos na cabeceira da nascente GP1.....	80
Figura 27 - Cinco perfis topográficos na cabeceira da nascente GP2.....	82
Figura 28 - Cinco perfis topográficos na cabeceira da nascente GP3.....	84
Figura 29 - Cinco perfis topográficos na cabeceira da nascente GP4.....	86
Figura 30 - Áreas de deposição dos sedimentos advindos do leito carroçável.....	87
Figura 31 - Cinco perfis topográficos na cabeceira da nascente GP5.....	88
Figura 32 - Quartzitos de maior resistência alinhados perpendiculares ao canal de primeira ordem.....	90
Figura 33 - Cinco perfis topográficos na cabeceira da nascente GP6.....	91
Figura 34 - Cinco perfis topográficos na cabeceira da nascente GP7.....	93

Figura 35 – Compilação dos dados pluviométricos de 1980 a 2009, por estações do ano e média anual, destacando (última imagem) a estação climatológica em São Roque de Minas.	99
Figura 36 - Cachoeira Casca D’Anta: matações de diversos diâmetros que são transportados pelo Rio São Francisco em regime chuvoso.	102
Figura 37 – Nascente GP6 com fluxo em época seca.	104
Figura 38 - Nascente GP6 antes de depois da manutenção da estrada.	108
Figura 39 – Esquema da evolução das AVA's conforme condições de pluviosidade.	111
Figura 40 - Área Variável de Afluência das cabeceiras das sete nascentes.	113
Figura 41 - Nível saturado a 25 cm em bolsões de deposição adjacente à nascente GP1.	116
Figura 42 – Adjacências da nascente GP1: dois pontos com detecção do nível saturado até 10 cm de profundidade.	117
Figura 43 – Triângulos texturais das amostras GP1, GP5, GP6 e GP7.	118
Figura 44 – Nascente GP2: parte da feição erosiva promovida pela nascente com destaque à camada enriquecida por ferro.	120
Figura 45 – Triângulos textural da amostra GP2.	121
Figura 46 – Triângulos textural da amostra GP3.	123
Figura 47 – Triângulos textural da amostra GP4.	124
Figura 48 – Nascente GP1: bolsões de deposição condicionados pelos afloramentos rochosos.	125
Figura 49 - Exemplificação do comportamento da água em áreas com afloramentos.	126
Figura 50 - Blocodiagrama da nascente GP1.	128
Figura 51 - Vegetação de diferentes portes e seus sistemas radiculares.	130
Figura 52 - Evolução da feição erosiva pela ação do fluxo subterrâneo e subsuperficial.	131
Figura 53 - Blocodiagrama da nascente GP2.	132
Figura 54 - Variação do nível hidrostático e deslocamento do ponto de exfiltração.	133
Figura 55 - Blocodiagrama da nascente GP3.	135
Figura 56 - Área de deposição no canal gerado pela nascente GP4.	137
Figura 57 - Blocodiagrama da nascente GP4.	138
Figura 58 - Adjacências da nascente GP5 com os afloramentos e as áreas de acumulação de material superficial e armazenamento de água em subsuperfície.	139
Figura 59 - Blocodiagrama da nascente GP5.	140
Figura 60 - Blocodiagrama da nascente GP6.	142
Figura 61 – Nascente GP7: canal sem funcionamento no ponto de medição de vazão, em Agosto de 2018.	144
Figura 62 - Blocodiagrama da nascente GP7.	145

Gráficos

Gráfico 1 - Precipitação acumulada (dados da Portaria 1) e episódios de aferição da vazão, em 2017.....	102
Gráfico 2 - Média da precipitação acumulada (dados da estação CEMIG) e episódios de aferição da vazão, em 2017.	103
Gráfico 3 - Precipitação acumulada (dados da Portaria 1) e episódios de aferição da vazão, em 2018.....	105
Gráfico 4 – Dados de vazões aferidos nas sete nascentes em 2017 e 2018.	106
Gráfico 5 - Média da precipitação acumulada (dados da estação CEMIG) e episódios de aferição da vazão, em 2018.	106
Gráfico 6 - Precipitação diária em março de 2018 (Portaria 1).....	107
Gráfico 7 - Relação entre a capacidade de infiltração e a textura.	114
Gráfico 8 – Curvas Granulométricas do material superficial das quatro nascentes assentadas sobre os MCaCB.....	119
Gráfico 9 – Curva Granulométrica da amostragem na nascente GP2.	121
Gráfico 10 – Curva Granulométrica da amostragem na nascente GP3.	122
Gráfico 11 – Curva Granulométrica da amostragem na nascente GP4.	124

Mapas

Mapa 1 - Localização da área de estudo.	15
Mapa 2 – Hipsometria e Rede de drenagem da área de estudo.	40
Mapa 3 - Localização das sete nascentes estudadas no contexto das cabeceiras do rio São Francisco, no ChD.	52
Mapa 4 - Transecto de situação topográfica das nascentes.	69
Mapa 5 - Tamanho em escala das áreas de captação das sete nascentes.....	74

Quadros

Quadro 1 - Classificação do comportamento hidrológico de superfície nas nove formas.	77
Quadro 2 - Estação da CEMIG: precipitação acumulada e média por mês, de 2012 a 2018.	100
Quadro 3 - Estação da Portaria 1 do PNSC: precipitação acumulada e média por mês, de 2012 a 2018.....	100

Tabelas

Tabela 1 - Número de visitantes do Parque Nacional da Serra da Canastra, de 2007 a 2017.	17
Tabela 2 - Períodos das campanhas de campo.	39
Tabela 3 - Índices dos erros antes e depois do uso dos pontos de controle obtidos com GPS Geodésico.	48
Tabela 4 - Diâmetro das frações granulométricas adotadas no ensaio de peneiramento.	49
Tabela 5 - Características das nascentes em estudo, do Rio São Francisco.	51
Tabela 6 - Coeficiente de Compacidade (Kc) das áreas de contribuição das nascentes.	75
Tabela 7 - Estatística aos valores de curvatura vertical em cada classe de geocobertura do ChD.	77
Tabela 8 - Valores de vazão (Q) obtidos em períodos sazonais nas nascentes estudadas.	101
Tabela 9 - Produtividade de água nas sete nascentes, em cenários sazonais.	109

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATH – Assinaturas topográficas humanas
AVA – Área Variável de Afluência
ACD – Área de Contribuição Dinâmica
CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais
ChD – Chapadão do Diamante
CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DEM – *Digital Elevation Model*
FAPEMIG – Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais
GSD – *Ground Sample Distance*
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IG – Instituto de Geografia
LACAR – Laboratório de Cartografia e Sensoriamento Remoto
LAGES – Laboratório de Geomorfologia e Erosão dos Solos
MDE – Modelo Digital de Elevação
MDT – Modelo Digital do Terreno
MMA – Ministério do Meio Ambiente
PARNA – Parque Nacional
PNSC – Parque Nacional da Serra da Canastra
POP – Procedimentos Operacionais Padrão
RPAS – *Remotely Piloted Aircraft Systems*
SIG - Sistema de Informações Geográficas
SISBio - Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade
UC – Unidade de Conservação
UFU – Universidade Federal de Uberlândia
UTM – Universal Transversa de Mercator (sistema de coordenadas)
VANT - Veículo Aéreo Não-tripulado

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	3
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	6
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	10
SUMÁRIO.....	11
1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Localização da área de estudo, pontos amostrais e vias de acesso	14
2. JUSTIFICATIVA.....	16
3. OBJETIVOS.....	19
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	20
4.1. Geologia.....	20
4.2. Geomorfologia	23
4.3. Drenagem	24
4.4. Clima.....	25
4.5. Vegetação.....	26
5. REFERENCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL	28
5.1. Processos hidrológicos	28
5.2. A análise hidrogeomorfológica voltada a nascentes	30
5.3. O conceito de nascentes e a sua importância como elemento hidrogeomorfológico.....	31
5.4. As atividades humanas no desenvolvimento das nascentes antropogênicas.....	34
5.5. Estradas não pavimentadas e seus impactos na dinâmica da água.....	35
6. MATERIAIS E MÉTODOS	38
6.1. Síntese dos procedimentos.....	38
6.2. Trabalhos de campo	38
6.3. Coleta de amostras, ensaios <i>in situ</i> e demais anotações	41
6.4. Sobre a caracterização das nascentes	42
6.5. Sobrevoos com o VANT/ RPAS e demais mapeamentos	44
6.6. Ortorectificação das imagens do VANT.....	46
6.7. Análises em laboratório.....	48
6.8. Dados de precipitação	49
7. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	51
7.1. Relação das nascentes em estudo	51

8. GEOMORFOMETRIA DAS NASCENTES	71
8.1. Parâmetros morfométricos	72
9. CENÁRIOS DA DINÂMICA HIDROGEOMORFOLÓGICA.....	97
9.1. Áreas Variáveis de Afluência	110
9.2. Material superficial e sua importância para a dinâmica hidrogeomorfológica ...	114
10. CONSIDERAÇÕES FINAIS	146
REFERÊNCIAS	149
APÊNDICE I – Ficha de Campo	156

1. INTRODUÇÃO

Dentre inúmeras funções que a água exerce, estudos fundamentados pela hidrogeomorfologia observam com maior detalhe a interação dela com os recursos naturais tornando-se agente modelador de relevo. Desempenhando este papel, a água atua a pedogênese, na erosão, no transporte e deposição de sedimentos (GOERL; KOBIYAMA; SANTOS, 2012).

As nascentes compõem a parte inicial do ciclo hidrológico na superfície. Elas representam o contato da água subterrânea e subsuperficial com a parte externa da litosfera, dando início aos canais que formam a rede de drenagem (TUCCI, 2012).

Desta maneira, se observada sua ação em escala local, pode-se compreender sua fundamental importância no relevo. Contudo, há de certa forma, uma negligência ao se tratar das águas que não são evidentes em superfície, ou seja, as águas subsuperficiais e subterrâneas.

Além disso, no contexto atual, praticamente toda a superfície terrestre já foi modificada por ações humanas. As atividades antrópicas imprimem na natureza mudanças em várias escalas e intensidades. Em alguns locais, o relevo se encontra fortemente alterado exprimindo respostas diante das modificações sofridas, que por vezes, são prejudiciais à dinâmica natural das águas.

Dentre as modificações promovidas na natureza, a execução de estradas tem grande vulto. Embora não seja tão evidente, as estradas compõem um dos tipos mais agressivos de alteração do relevo e, conseqüentemente, da dinâmica de água subsuperficial e superficial, pois afeta os fluxos de energia e matéria (ANTONELLI; THOMAZ, 2016; BLANTON; MARCUS, 2009; FORMAN; ALEXANDER, 1998).

Importantes situações impulsionaram esta pesquisa. O relevo bastante movimentado da área de estudo (geomorfologia), a dinâmica da água subsuperficial e os impactos gerados por ações humanas e suas conseqüências na alteração da dinâmica hidrogeomorfológica. Verifica-se, portanto, causas e conseqüências intimamente relacionadas.

Desta maneira, destaca-se a Serra da Canastra, cujos eventos de cunho geológico possibilitaram esta área ser um orógeno limítrofe entre duas importantes bacias hidrográficas brasileiras, definindo os caminhos pelos quais as águas, oriundas deste relevo devem verter.

Este fator é imprescindível para que ali se desenvolva pesquisas e amplie o conhecimento humano sobre o comportamento da água em superfície e subsuperfície, sobretudo nas nascentes como elemento fundamental para a sobrevivência de espécies (animais e humanas) (JAEGER, 2004).

Valente e Gomes (2011, p. 46) citam a importância de se conhecer adequadamente o comportamento das chuvas, já que elas “[...] constituem a matéria prima processada nas pequenas bacias hidrográficas para a produção de água.”

Neste contexto, o intuito é entender os processos hidrodinâmicos nos caminhos delineados pela água, sobretudo, proveniente das precipitações, até sua exsudação e desague num curso d’água (SANTOS, 2009).

1.1. Localização da área de estudo, pontos amostrais e vias de acesso

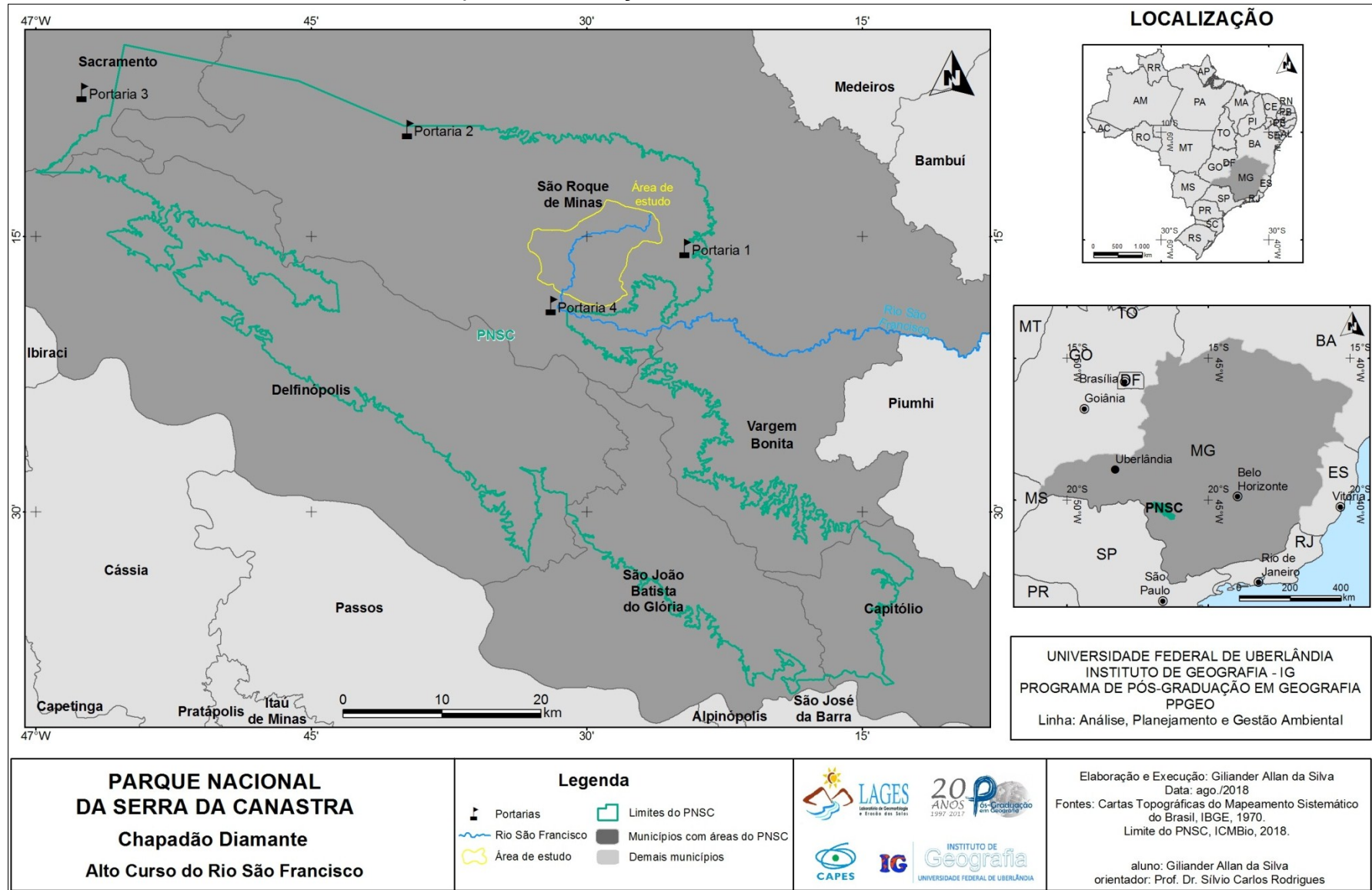
O Chapadão Diamante é uma área de grande representatividade e caracterização da Serra da Canastra. Ele é composto por uma estrutura rochosa metamorfisada e complexa, cuja sustentação se dá principalmente por rochas quartzíticas puras e micáceas (SIMÕES *et al.*, 2015).

As fortes marcas estruturais também são observadas pelos arranjos lineares da drenagem que origina o Rio São Francisco. O Chapadão Diamante abriga mais de 200 nascentes, sendo algumas delas, graças às suas singularidades e representatividades para a área, elencadas para estudo.

São estudadas sete nascentes inseridas numa subbacia hidrográfica que se estende por 77 quilômetros quadrados. Estão concentradas nas áreas mais elevadas (1300 a 1500 metros de altitude), ou seja, compõem as cabeceiras de drenagem do Rio São Francisco, no Chapadão do Diamante, inserido na porção leste do Parque Nacional da Serra da Canastra, como apresenta o Mapa 1.

Esta Unidade de Conservação localiza-se a sudoeste do estado de Minas Gerais. Sua área abrange 2.000 quilômetros quadrados e distribuem-se em parte dos municípios de Sacramento, São Roque de Minas, Vargem Bonita, Delfinópolis, São João Batista do Glória e Capitólio. A capital mineira, Belo Horizonte e a cidade de Uberlândia, distam cerca de 350 e 320 quilômetros, respectivamente do parque, variando conforme a portaria que se refere.

Mapa 1 - Localização da área de estudo.



2. JUSTIFICATIVA

Toda grande bacia hidrográfica é formada pela união de várias pequenas bacias. Estas, por sua vez, têm seu princípio através das cabeceiras de drenagem e as nascentes. De forma geral, as pequenas bacias hidrográficas apresentam celeridade nos processos hidrogeomorfológicos, especialmente por se localizarem nas áreas de maior movimentação do relevo. Nestas áreas também são mais comuns materiais de cobertura rasos, o que torna as nascentes mais sensíveis às pequenas mudanças de pluviosidade. Embora tenham características importantes, não se percebe merecida atenção às áreas de início dos canais de drenagem, que são carentes de estudos no cenário nacional.

Pela sua característica morfológica, a Serra da Canastra abriga inúmeras nascentes de vulto, que originam rios de importância nacional e regional. Por esta e outras razões, foi criado o Parque Nacional da Serra da Canastra (PNSC). Esta é uma área de grande importância para a dinâmica hidrológica a nível regional.

Conforme enfatiza Ferreira (2010), as características geomorfológicas da Serra da Canastra a configura como “dispersor de drenagem”, ou seja, um divisor de águas na plataforma brasileira, pois é interflúvio das bacias hidrográficas do rio São Francisco (drenando para a Região Norte) e Paraná (drenando para a Região Sul). Logo, entender a dinâmica da água, sobretudo, nas nascentes é de grande importância para balizar tomadas de decisões pelos órgãos mantenedores desta Unidade de Conservação (UC).

Segundo os dados que documentam as pesquisas no PNSC, entre os anos de 1972 a 2002 foram realizadas 45 investigações, cuja análise centrou-se, quase que exclusivamente, nos aspectos de fauna e flora. Neste âmbito, reitera-se a necessidade de estudos do meio físico, sobretudo, da água, um dos principais atrativos turísticos naturais. Neste âmbito, foi observado que o Plano de Manejo do Parque Nacional da Serra da Canastra, elaborado pelo Ministério do Meio Ambiente em 2005, já destacava como marcante problema ambiental na área do parque a “descaracterização dos cursos de água e da vegetação ciliar”. (MMA/IBAMA, 2005, p. 28).

Conforme salienta Ibama (2005), o número de visitantes do parque tem crescido desde 1996, e o aumento coincide com meses de férias escolares (janeiro, junho, julho e dezembro). Igualmente importante, o mesmo órgão assinala que o

turismo também se baseia no ecoturismo e turismo rural, já que o queijo e o café são conhecidos nacionalmente pela alta qualidade com identidade de origem.

A Tabela 1, apresenta dados de visitação dos últimos 10 anos, cedidos pelo ICMBio, sediado em São Roque de Minas. Com base nestas informações torna-se evidente a importância do Parque para o turismo nacional e internacional, atualmente contando com uma média mensal de 5 a 6 mil turistas. Com este aumento gradativo de visitantes, torna-se indispensável o desenvolvimento de pesquisas para que se possa subsidiar a gestão do parque, seja na área de infraestrutura como na demanda por informações aos turistas. Além disso, acredita-se que as publicações das pesquisas ali desenvolvidas geram maior divulgação da Serra da Canastra.

Substancial importância deve ser dada à infraestrutura das vias de acesso para dos visitantes, pois, há uma rodovia estadual (MG 341) não pavimentada que secciona o Chapadão da Canastra de Leste a Oeste. O Chapadão Diamante, inserido neste primeiro, possui mais de 90 quilômetros de estradas. Considerando apenas a área de estudo, as vias de acesso estendem-se por mais de 26 quilômetros. As características litológicas exigem manutenção quase constante dessas vias, o que é um potencial gerador de impacto nos recursos hídricos, especialmente nas nascentes.

Tabela 1 - Número de visitantes do Parque Nacional da Serra da Canastra, de 2007 a 2017.

ANO	PAGANTES BRASILEIROS	PAGANTES ESTRANGEIROS*	NÃO PAGANTES	TOTAL
2007	38.827	-	2.603	41.430
2008	32.824	-	2.939	35.763
2009	39.901	-	1.840	41.741
2010	33.848	-	4.242	38.090
2011	29.124	-	5.736	34.860
2012	32.879	-	8.028	40.907
2013	37.289	-	8.024	45.313
2014	38.347	-	10.023	48.370
2015	43.115	193	9.365	52.673
2016	50.118	241	17.978	68.337
2017	49.431	181	31.258	80.870

*Alguns anos cujos dados não foram informados. Fonte: ICMBio (2018a).

A ocorrência de queimadas também é impactante no PNSC e podem impactar as nascentes. Magalhães *et al.* (2011) levantaram registros de queimadas no Parque de 1988 a 2008. Assinalam os autores que a maioria dos incêndios ocorridos foi de

grande proporção. Classificando-os conforme sua duração, na área regularizada do parque, os eventos de Classe III (de 121 a 480 minutos) aproximam-se de 53% e eventos de Classe IV (acima de 480 minutos) foram quase 43%. Contudo, sabe-se da fundamental importância da vegetação para a retenção de água no solo e reabastecimento do sistema de drenagem, por isso a importância de estudos voltados às nascentes localizadas no Parque Nacional da Serra da Canastra.

Já nas primeiras incursões a campo, grande interesse foi despertado pela dinâmica da água em superfície e subsuperfície. Presencialmente em época úmida, notou-se grande número de pontos de exfiltração ao longo dos taludes das estradas dando origem aos caminhos preferenciais. Estes fatores foram suficientes para verticalizar os estudos nesta abordagem.

3. OBJETIVOS

A dinâmica das nascentes estudadas procede das características pluviométricas e da litoestrutura local, que condiciona os materiais superficiais, as microformas do relevo nas cabeceiras e cobertura vegetal, mas, também são muito influenciadas pela existência das estradas e atividades de manutenção das mesmas.

Baseando-se nesta hipótese, o estudo objetiva caracterizar as nascentes estudadas com base nos processos hidrogeomorfológicos envolvidos, sejam eles naturais e/ou antrópicos.

Elencam-se os objetivos específicos que vão auxiliar no objetivo geral:

- Tecer uma caracterização geral das nascentes estudadas em relação ao relevo estruturante;
- Caracterizar as sete nascentes estudadas quanto à vazão, morfologia, tipo de exfiltração, mobilidade e sazonalidade;
- Relacionar os índices pluviométricos aos valores de vazão obtidos em cenários de medições nas sete nascentes;
- Explicar as interações entre as microformas do relevo com a dinâmica das nascentes a partir dos modelos digitais produzidos pela cobertura aerofotogramétrica com RPAS e observações em campo;
- Explicar os processos morfodinâmicos atuantes no alto curso do rio São Francisco e suas principais implicações nas nascentes apresentando a partir de blocodiagramas de cada nascente estudada.

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Convém destacar a importância destes elementos enquanto suas características. Principalmente geologia, geomorfologia, clima, drenagem e vegetação, compõem a caracterização física da paisagem em estudo, e, em conjunto, fornecem condições a explicar a dinâmica hidrogeomorfológica das nascentes em questão.

4.1. Geologia

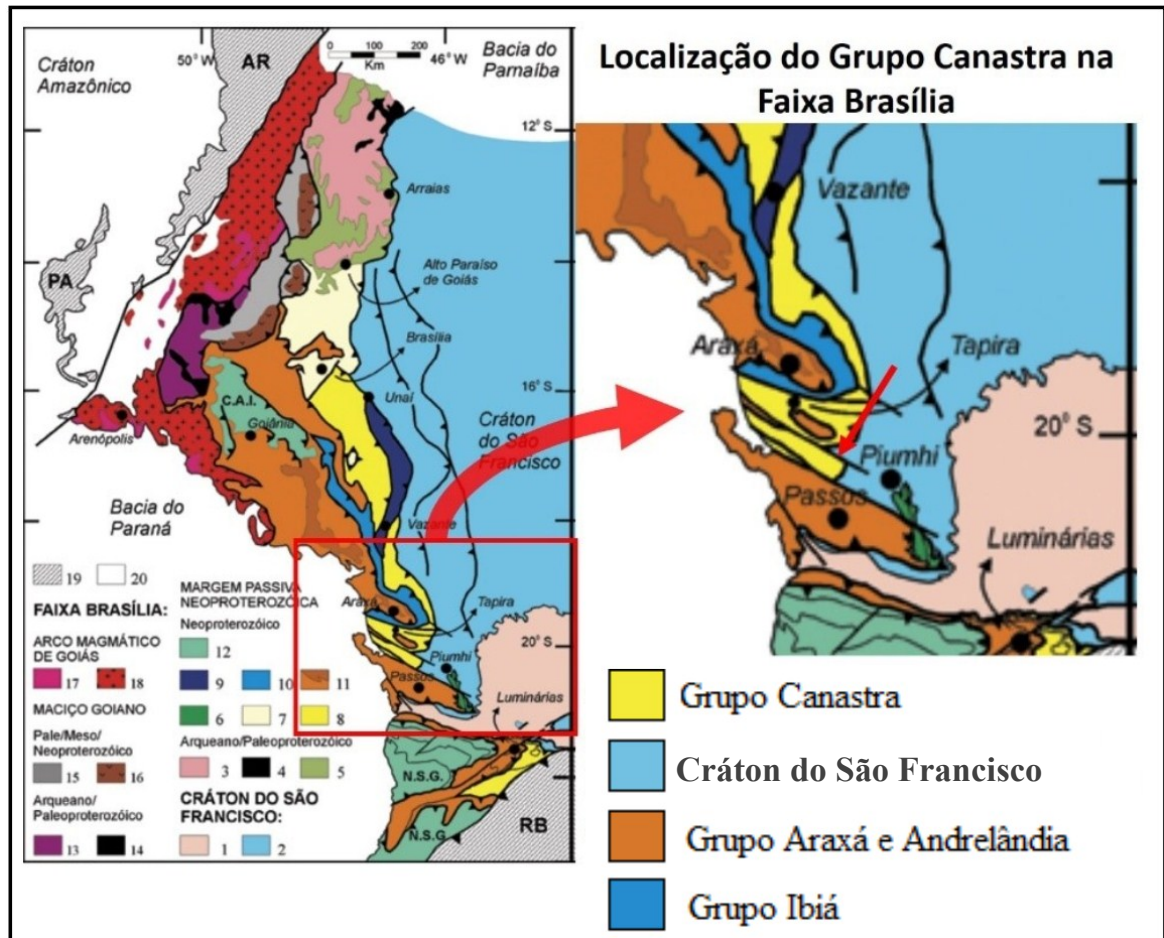
O arcabouço geológico-estrutural da Serra da Canastra é bastante complexo. Esta área se encontra na porção sul da Faixa de Dobramentos Brasília ou Faixa Brasília ou Cinturão Brasília, a qual teve sua formação no Sistema Orogênico Neoproterozóico da Província Tocantins gerado por eventos colisionais datados de 900 a 520 Ma, denominados como Ciclo Brasileiro. Desta maneira, severas deformações, metamorfismos, magmatismos e retrabalhamento destes materiais são responsáveis por toda complexidade estrutural da área (SIMÕES, 1995).

Uhlein *et al.* (2012) distingue a Faixa Brasília em duas devido aos ramos de orientação e estilos metamórfico-deformacionais diferentes. Então, com orientação para NE denomina-se de Faixa Brasília Setentrional (FBS), e, com orientação para NW, recebe o nome de Faixa Brasília Meridional (FBM). A primeira dá-se pela interação entre o Cráton São Francisco e o Amazônico, e a segunda, originou-se da interação entre o Cráton São Francisco e o Paranapanema, onde caracteriza os relevos serranos da Serra da Canastra.

Chaves *et al.* (2008a, 2008b) consideram que a Serra tem marcas de forte cavalgamento resultando em transporte de Sudoeste para Nordeste. Braun e Baptista (1978 apud VASCONCELOS *et al.*, 2010) defendem que a gênese da serra se deu pelo soerguimento de blocos por falhamento inverso, com reativações transcorrentes.

O comportamento estratigráfico não é totalmente definido, porém, podem-se distinguir quatro Grupos geológicos: Araxá, Canastra, Bambuí e Bauru (Figura 1), e duas camadas sobrejacentes, Quaternária e do fim do Terciário. Em relação aos Grupos geológicos, os três primeiros são datados do pré-cambrianos, e o último do Mesozóico (CHAVES *et al.*, 2008b; PEREIRA *et al.*, 2013).

Figura 1 - Unidades tectônicas da Faixa Brasília com ênfase no Chapadão Diamante.



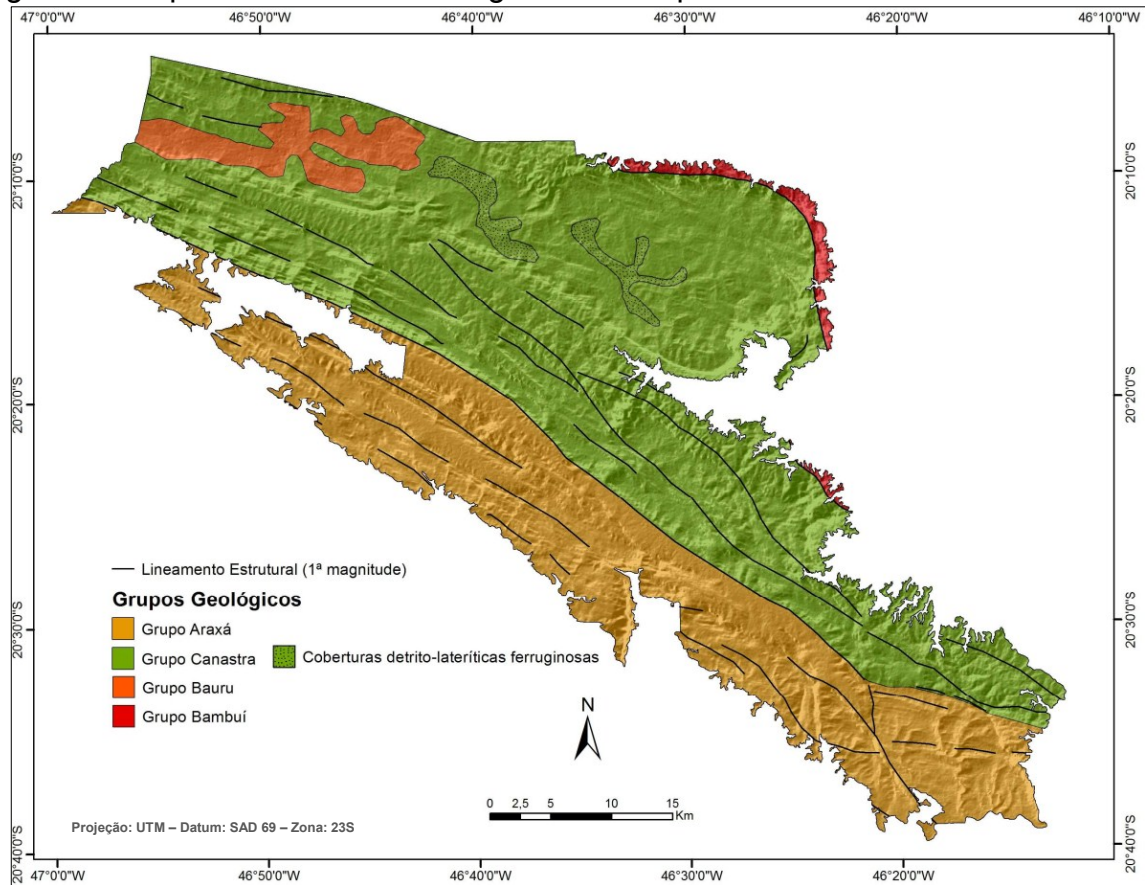
Fonte: Valeriano *et al* (2004 apud; NAZAR, 2018).

Conforme pode ser observada na Figura 2, no Chapadão Diamante, área na qual se localizam as nascentes pesquisadas, ocorre o Grupo Canastra. Sua litologia é originária de sedimentos continentais de margem passiva do Neoproterozóico, com baixo grau de metamorfismo cujas zonas de empurrão colocaram em contato outras unidades geológicas: Vazante, Paranoá e Bambuí (SIMÕES *et al.*, 2015).

Em termos litoestratigráficos, Simões *et al.* (2015) destaca a existência de três escamas tectônicas distinguindo três conjuntos de rochas. O primeiro a Norte, relacionada aos Subgrupos Chapada dos Pilões e Paracatu, onde se apresentam clorita-muscovita xisto fino, do primeiro subgrupo e quartzo-muscovita xisto, xistos grafitos e muscovita quartzo-xisto do segundo subgrupo. A escama central e sul não são correlacionáveis e, portanto foram chamadas de Canastra Indeterminado. Os litotipos característicos são muscovita filitos, quartzo filitos, quartzitos puros a micáceos e filitos moscovíticos, sendo os dois últimos, responsáveis pela sustentação do Chapadão Diamante, em que, as rochas mais puras estão

sobrepostas às micáceas (Figura 15) (SILVA *et al.*, 2012; SIMÕES, 1995; SIMÕES *et al.*, 2015).

Figura 2 - Mapa de Unidades Geológicas do Parque Nacional da Serra da Canastra.



Fonte: Messias (2014).

Dos quatro Grupos verificados, o que merece maior importância para este estudo é o Grupo Canastra, que ocupa maior parte do parque, estendendo-se pelo Chapadão Diamante, onde se localizam as sete nascentes. Este é constituído basicamente por quartzitos puros silicosos (esbranquiçados e finos), argilosos sericíticos e cloríticos, com intercalações de filitos, sendo os ortoquartzitos responsáveis por sustentar as notáveis escarpas e os chapadões, também sendo chamados de contrafortes (BENITEZ, 2009; PEREIRA *et al.*, 1994; PESSOA, 2002).

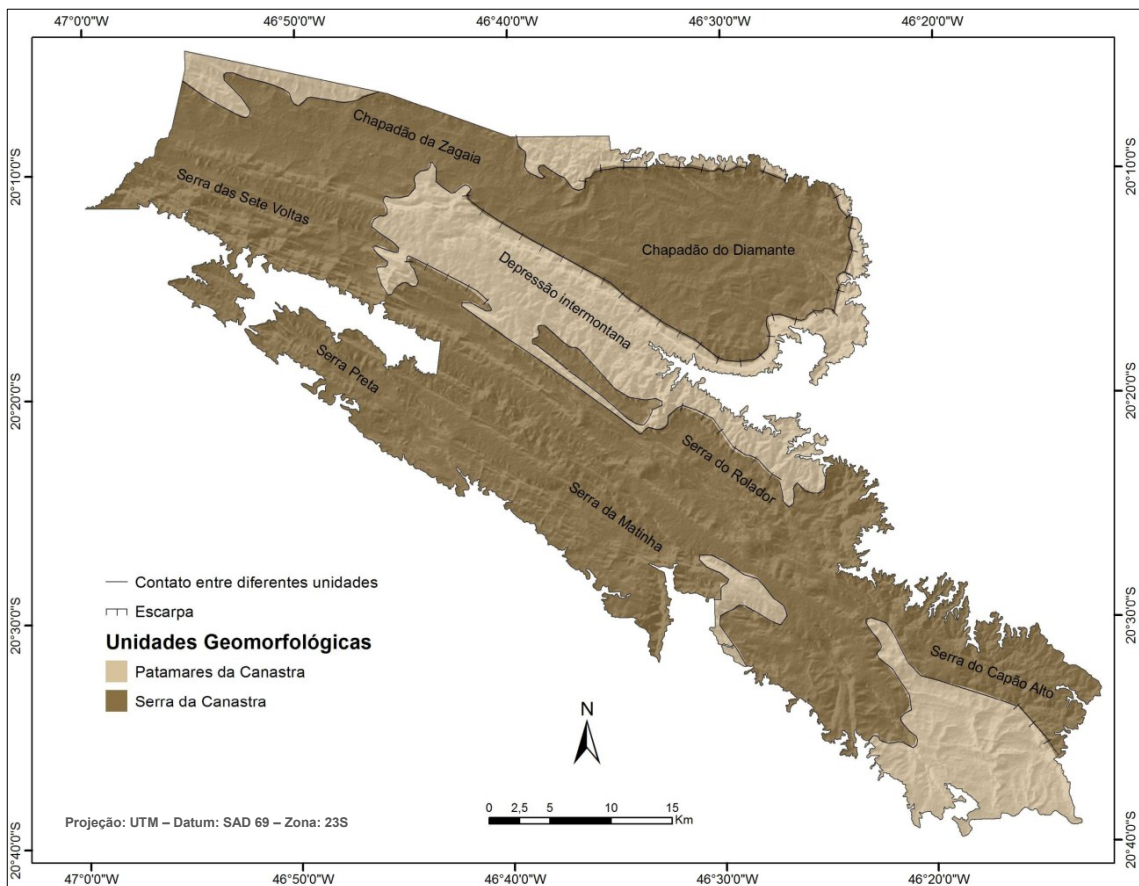
As porções de topo são marcadas por sedimentos quaternários aluvionares. Estes são sequenciados por coberturas detrito-lateríticas nas superfícies aplainadas das chapadas (PESSOA, 2002).

4.2. Geomorfologia

O complexo da Serra da Canastra se configura como uma serra residual associadas à faixa de dobramentos Brasília (ROSS, 1985). Conforme o autor são resquícios de antigas dobras, ora evidenciando anticlinais erodidos, ora sinclinais alçadas, com presença de falhas indiscriminadas e de empurrão (RADAMBRASIL, 1983). As escarpas resultam do tectonismo e litologia derivadas com presença de falhamentos e alta atividade erosiva (DE SOUZA; RODRIGUES, 2014). Também ocorrem topos planos em forma de chapadas, vinculados às superfícies de erosão pré-cretácea com reafeiçoamentos mais atuais.

Conforme Radambrasil (1983) duas unidades geomorfológicas compõe a área da serra: Serras da Canastra e Patamares da Canastra (Figura 3). As nascentes em estudo estendem-se pelas Serras da Canastra, que correspondem ao nível topográfico superior, em torno de 1400 metros de altitude.

Figura 3 - Mapa de Unidades Geomorfológicas do Parque Nacional da Serra da Canastra.



Fonte: Messias (2014).

As unidades das Serras da Canastra são circundadas pela unidade sotoposta, Patamares da Canastra. Como principais característica, exibem topos planos das

chapadas, com predominância quartzíticas descontínuas e vales encaixados que entalham as rochas mais susceptíveis à erosão linear, os filitos, por exemplo (RADAMBRASIL, 1983).

Em escala compatível a 1:100.000, pode-se compartimentar a área do parque em cinco unidades: chapadas, depressões intermontanas, morros alongados elevados, morros alongados e colinas com vertentes convexas e superfícies suavemente onduladas (PILÓ, 2002).

Os tipos de coberturas superficiais estão intimamente relacionados à litologia. Desta forma, no Chapadão Diamante há o predomínio de Neossolos Litólicos comumente associados a afloramentos rochosos. Presença de solos mais desenvolvidos como os Latossolos é mais evidente em áreas planas e suavemente onduladas no interior do chapadão com ocorrências de concreções ferruginosas em alguns pontos (MESSIAS, 2014).

4.3. Drenagem

Conforme expõe o Plano de Manejo do PNSC (MMA/IBAMA, 2005), a litologia é atributo responsável pelo comportamento dos fluxos de água. A importância geológica se expressa na estruturação das formas do relevo, pela dinâmica subterrânea, pelo padrão da rede de drenagem e pela qualidade natural da água.

As áreas topograficamente elevadas que compõem a Serra da Canastra são consideradas importantes zonas de recarga como enfatiza Mma/Ibama (2005). São os topos de colinas, serras e chapadas, em nível regional, Diamante, Zagaia e Babilônia. Localmente, serra de Sete Voltas, Cemitério, Preta, Furna, Bateinha, Santa Maria, Canteiros, Ciganos, Prata, Baú e Capão Alto.

As características da drenagem do cerrado mencionadas por Ab'Sáber (2005) condizem com as cabeceiras no alto da Serra da Canastra. Verifica-se perenidade dos principais cursos d'água durante o ano, com desaparecimento de canais de menor ordem na época seca. Nota-se também um agrupamento de ravinas organizadas paralelamente devido ao pronunciado entalhamento pelos escoamentos concentrados, que originam boa parte dos canais de primeira ordem, afluentes dos rios São Francisco e Grande (MMA/IBAMA, 2005).

Sendo um divisor de águas, o PNSC verte para três diferentes bacias hidrográficas: do rio São Francisco, do rio Grande e do rio Paranaíba. Enfatizando a

bacia do rio São Francisco, este curso d'água drena por três biomas (Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica) e pelos estados de Minas Gerais, Bahia, Pernambuco, Alagoas e Sergipe e o Distrito Federal. A rede de drenagem configura-se por grande densidade de nascentes e canais de pequena extensão, condicionada pela estruturação do relevo (MMA/IBAMA, 2005).

Araújo (2017) estudou a morfometria de canais localizados na porção norte da Serra da Canastra. Destaca a autora que as nascentes principais da sua área de estudo estão vinculadas aos compartimentos superiores topográficos, soerguidos pelos dobramentos cuja composição litológica é basicamente quartzitos do Grupo Canastra e filitos.

Ao buscar entender as anomalias morfométricas dos canais, a pesquisa aponta dois fatores. O primeiro está vinculado às escarpas, falhas e lineamentos estruturados quando no processo de formação da Faixa Brasília, e o segundo fator, está atrelado à heterogeneidade litológica da região, ou seja, transições de litotipos. (ARAÚJO, 2017).

Conforme mencionam Silva *et al.* (2003), estudos da Codevasf alteraram a nascente oficial do rio São Francisco para a Serra do Araxá, em Medeiros. Contudo, o PNSC ainda possui em seu perímetro, nascentes importantes para o rio, sobretudo, a nascente histórica, que é um dos mais visitados pontos.

4.4. Clima

Com base nas análises da ANA (2002), as áreas de cabeceiras do Rio São Francisco situam-se na região de clima Tropical do Brasil Central. Como principais características tem-se o predomínio de temperaturas sub quentes e clima semiúmido, com aproximadamente 4 a cinco meses secos, de maio a setembro. Para o mesmo período, dados de temperatura registrados entre 1999 a 2002, mostrou oscilações entre 0,9°C a 29,1°C e 16,5°C a 18,9°C para períodos úmidos.

Novais (2011) teceu uma classificação climática para o Triângulo Mineiro e Serra da Canastra. Conforme preconiza o autor, a região em que este estudo se desenvolve, possui um clima local do tipo subtropical. Assim, se caracteriza por verão moderadamente quente e inverno moderadamente frio. Apresenta três meses secos (junho a agosto), com temperatura média anual entre 18°C e 20°C, sendo

abaixo de 15°C no mês mais frio e pluviosidade média anual entre 1500mm a 1800mm, concentrados nos meses de novembro a março.

Conforme Mma/Ibama (2005), o clima na Serra da Canastra apresenta uma sazonalidade bem característica, com chuvas no verão e invernos secos. As chuvas se concentram nos meses de dezembro a fevereiro, gerando excedente hídrico, e, conseqüentemente, tornando o escoamento superficial mais ativo nesse período.

Dados capturados pela estação meteorológica da Cemig, instalada dentro do PNSC mostram uma predominância da direção dos ventos durante a época seca. Provavelmente conformando com a disposição topográfica da serra, persistiram ventos na direção NW/SE, ou seja, seguindo os corredores morfológicos do relevo, entre serras e vales. (MMA/IBAMA, 2005).

4.5. Vegetação

O Parque Nacional da Serra da Canastra insere-se no domínio fitogeográfico do cerrado, sendo um dos mais antigos do Brasil, datado do final do terciário e quaternário Ab'Sáber (2005). Ao menos três particularidades vegetativas são notadas, conforme os ambientes e as condições do meio físico. As matas de galerias se desenvolvem em áreas com declividade superior a 15° e nos arredores dos corpos hídricos. Campos úmidos se apresentam onde há possibilidade de acúmulo de água. Os campos rupestres são vistos nas áreas de afloramentos rochosos. Já os campos sujos apresentam vegetação arbustiva herbácea esparsa e o campo limpo é notado por ausência de árvores (MESSIAS, 2014).

Por sua vez, os campos sujos são caracterizados por vegetação arbustiva herbácea esparsa, que se diferenciam do cerrado sentido restrito pelo menor desenvolvimento das plantas. O campo limpo é observado pelo estrato herbáceo com poucos arbustos, ausência de árvores e vegetação não fotossinteticamente ativa nos meses de seca, que se desenvolve em grandes variações altimétricas e relevo plano a suave ondulado (COUTO JÚNIOR *et al.*, 2010).

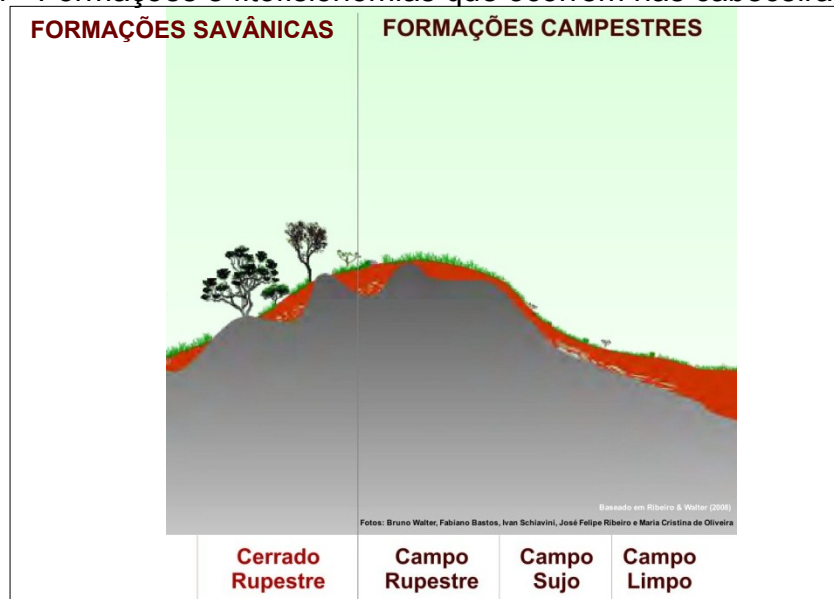
Conforme caracteriza Mma/Ibama (2005, p. 10) o cerrado ocorre

[...] sobre solos lixiviados aluminizados, apresentando sinúsias de hemicriptófitos, geófitos (plantas herbáceas com órgãos de crescimento no subsolo), caméfitos (plantas sublenhosas ou ervas com gemas e brotos de crescimento acima do solo) e fanerófitos

(plantas lenhosas com gemas e brotos com crescimento acima de 0,25 m do solo) de pequeno porte [...]

Com o objetivo de caracterizar a vegetação de forma mais específica, a Figura 4 apresenta as fitofisionomias comuns às áreas das nascentes em questão. Em geral as áreas são compostas por vegetações de formações savânicas e campestres, com predomínio desta última, sobretudo do Campo Rupestre.

Figura 4 - Formações e fitofisionomias que ocorrem nas cabeceiras estudadas.



Fonte: Embrapa (2019).

Dentre as características principais, destacam-se o tipo fitofisionômico herbáceo-arbustivo, com eventuais e espaçadas arvoretas de no máximo dois metros. Este tipo de vegetação situa-se em áreas com micro relevos em meio a afloramentos rochosos e solos litólicos pobres em nutrientes. Tais características são comuns em relevos soerguidos onde há presença constante de ventos e grande amplitude térmica entre os dias e as noites. Por vezes, os indivíduos lenhosos concentram-se nas fendas das rochas (RIBEIRO; WALTER, 1998).

As formas de uso, inadequadas e anteriores à criação do parque, contribuíram para que as formações florestais sofressem alterações, encontrando-se hoje em estágio secundário (MMA/IBAMA, 2005).

Estudos notificaram incêndios realizados no PNSC. Segundo as pesquisas, grandes proporções da área delimitada pelo parque são acometidas durante os eventos ocasionando grande perda ambiental, sobretudo, da flora. Além disso, entre os anos de 1991 a 2011 foi notado um aumento das áreas atingidas pelo fogo além de maior recorrência destes eventos. (LEMES, 2013; LEMES *et al.*, 2014; MAGALHÃES; LIMA; RIBEIRO, 2011).

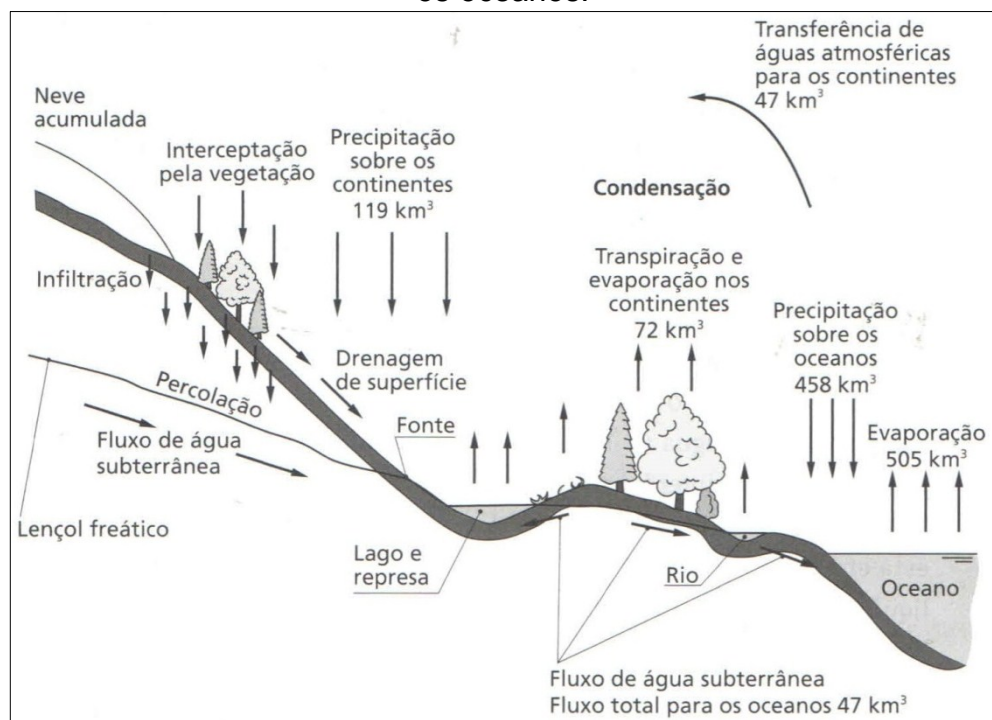
5. REFERENCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL

5.1. Processos hidrológicos

A água no planeta é incluída em um sistema de circulação fechado, impulsionado pela energia solar, denominado Ciclo da Água (Figura 5) (TUCCI, 2012). As variações das condições climáticas ocorridas mais recentemente, têm impactado na distribuição desta água, seja na forma líquida, sólida ou gasosa.

O volume de água doce da Terra é diminuto se comparado à água salgada, apenas 3%. Deste montante, somente 15% está disponível para a população, já que o restante está na forma de calotas polares (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2011).

Figura 5 - Ciclo hidrológico com taxas de evaporação, precipitação e drenagem para os oceanos.



Fonte: Tundisi; Matsumura-Tundisi (2011).

Magalhães Jr. *et al.* (2007) mencionam a valorização da água em relação à sua disponibilidade natural. Segundo o autor, a água se torna elemento fundamental para se compreender a ocupação histórica de uma bacia hidrográfica, sobretudo, do seu processo de estruturação demográfica e econômica.

Importante analisar os elementos condicionantes das águas superficiais e subsuperficiais. O primeiro responde pelos atributos naturais que envolvem todos os componentes do ciclo hidrológico. O outro diz respeito às características oriundas

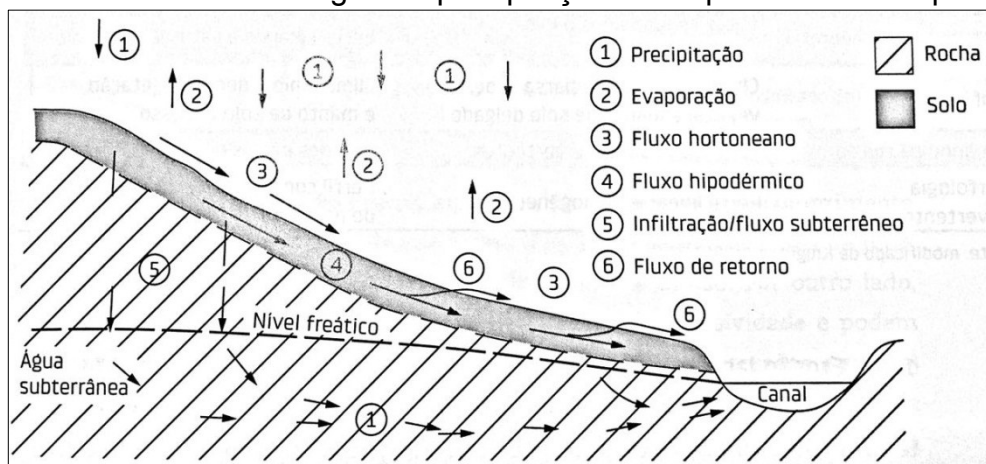
das atividades humanas no ambiente. Tais implicações podem ser de ordem qualitativa e quantitativa (PESSOA, 2002).

Em nível regional são verificadas duas tipologias litológicas e aquíferas no PNSC. A primeira é, em grande parte, composta por rochas quartzíticas e xistosas do Grupo Canastra e Araxá. A segunda é constituída por metassedimentos do Grupo Bambuí. Ambos são predominantemente fraturados e com discontinuidades, podendo ocorrer, em locais isolados, sistemas cárstico/fissural. Também há presença de aquíferos granulares vinculados ao manto de intemperismo, embora ocorram em zonas pontuais e com menor expressão, dependendo da espessura das coberturas inconsolidadas (PESSOA, 2002).

Afirma Pessoa (2002) que as zonas de recarga são responsáveis pela maior taxa de infiltração da água meteórica que vai reabastecer os aquíferos. Na região da serra em questão, estas áreas estão vinculadas aos topos das chapadas, sobretudo, às zonas extensas e relativamente planas com formação de camada superficial. As principais zonas de recarga são o Chapadão Diamante, Zagaia e Babilônia.

Contudo, para que ocorra a infiltração após um episódio de chuva, vários processos devem ser analisados em uma vertente. Ao verticalizar o estudo, outros elementos fundamentais neste processo são levados em consideração. Desta maneira, atenta-se ao elemento “6” presente na Figura 6, que ocorre devido à saturação da camada subsuperficial do material inconsolidado por conta da diferença de permeabilidade entre os perfis, gerando aquíclude. Este ponto de exsudação tende a dar origem a uma nascente, que pode ser perene ou temporária.

Figura 6 - Movimento da água de precipitação em superfície e subsuperfície.

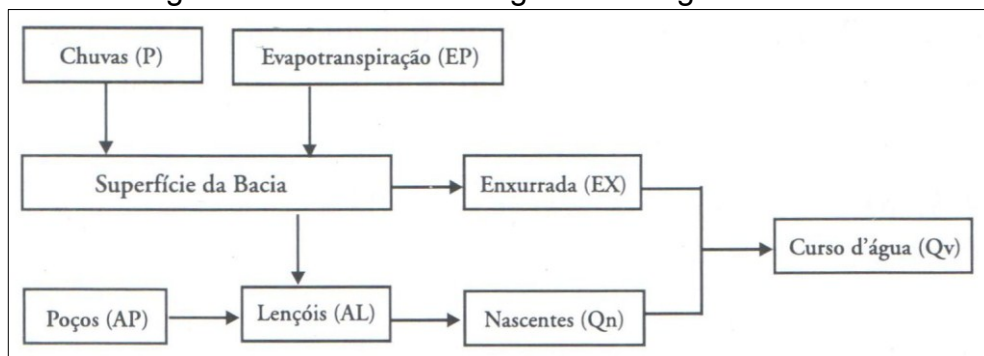


Fonte: Stevaux e Latrubesse (2017, p. 51).

Nesta perspectiva, acredita ser de fundamental importância compreender como ocorre esta dinâmica em nascentes na Serra da Canastra, uma vez que este complexo orogênico tem grande responsabilidade pela produção de água do Brasil. Contudo, a hidrogeomorfologia fornece subsídios para entender a simbiose de processos hidrológicos e geomorfológicos na paisagem.

Valente e Gomes (2011) argumentam a respeito do abastecimento de água nas nascentes. Para que elas tenham água com regularidade, são importantes esforços que garantam que as águas das chuvas infiltrem e movimentem-se preferencialmente através do lençol. A Figura 7 apresenta os caminhos percorridos pela água até chegar ao canal de drenagem.

Figura 7 - Fluxograma da dinâmica da água até chegar ao canal de drenagem.



Fonte: Valente e Gomes (2011, p. 42).

5.2. A análise hidrogeomorfológica voltada a nascentes

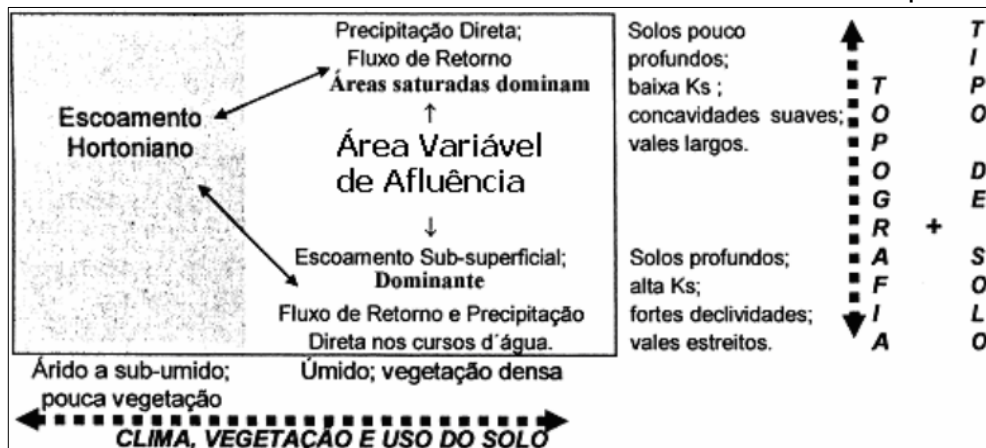
Sabe-se que a bacia hidrográfica é uma unidade espacial primordial aos estudos da dinâmica das águas. A topografia é o elemento principal para delimitar uma área, logo, denotando a íntima relação entre a hidrologia e a geomorfologia. Nesta perspectiva, em que se faz um análise integrada entre estes dois ramos das ciências da terra define-se a hidrogeomorfologia (SANTOS, 2009).

Para tanto, apropria-se do conceito de Hidrogeomorfologia. Conforme pressupostos de Sidle e Onda (2004), esta ciência trata de processos hidrológicos e geomorfológicos. Sua interdisciplinaridade torna-a capaz de verificar as interações dos processos geomorfológicos com as águas subsuperficiais e superficiais.

Babar (2005) utiliza a etimologia para sintetizar que a Hidrogeomorfologia, em seus estudos, aborda a água (superficial e subterrânea), a terra e as formas da paisagem. Em outras palavras, esta ciência estuda em quais condições hidrológicas tem evoluído determinada paisagem, no âmbito de suas formas.

A Figura 8 apresenta os processos atuantes na dinâmica de vertente. Observa-se que os fatores de maior dominância (clima, vegetação, uso do solo, topografia e tipo de solo) são controladores da geração do escoamento. Entretanto, conforme assevera Santos (2009), a área variável de afluência fica representada como a zona de expansão e contração da zona saturada.

Figura 8 - Processo de escoamento em vertentes e condicionantes principais.



Fonte: Dunne (1978 *apud* SANTOS, 2009).

5.3.O conceito de nascentes e a sua importância como elemento hidrogeomorfológico

Destacam Felipe e Magalhães Jr. (2013) que, embora as nascentes tenham fundamental importância nos sistemas ambientais, ainda há poucos estudos sobre elas. Defendem os autores que este pode ser o principal fator do conceito não ser tão discutido, ocorrendo comumente erros acerca do seu significado.

Ainda lembram que em algumas línguas, não há uma tradução literal do termo podendo incorrer em dupla conotação. Nascente em inglês é *spring*, em espanhol é *fuelle* ou *manantial*, em francês é *source d'eau*, em alemão é *quelle* e em italiano é *fonte*. Desta maneira, somente na língua portuguesa é possível diferenciar nascente de fonte, surgência ou manancial.

Felipe (2009) consultou especialistas para propor um conceito mais preciso. Após reflexão, pontua três elementos essenciais na conceituação das nascentes: i) a exfiltração da água subterrânea de modo perene ou não; ii) a formação de um canal de drenagem a jusante; iii) a naturalidade da exfiltração nas nascentes, ou seja, condições em que não haja bombeamento.

No Brasil, oficialmente, conceitua-se as nascentes pela Resolução CONAMA nº 303/2002. Esta afirma que nascente é um “local onde aflora naturalmente, mesmo que de forma intermitente, a água subterrânea”. (BRASIL, 2002). Vários conceitos de nascentes estão estritamente vinculados a uma descarga de água. Entretanto, em campo, nem sempre é possível ter esta confirmação visual.

Ademais, Felipe e Magalhães Jr. (2013) através do conceito de nascente chamam a atenção para a complexidade do assunto. Corroboram-se com os apontamentos dos autores que consideram a nascente como um sistema ambiental, com trocas de matéria e energia, com distinção pelas formas e processos envolvidos na sua conformação, além da importância geomorfológica, sobretudo, pela sua localização na vertente, e, conseqüentemente o papel geomorfológico que é capaz de exercer. Ademais, a morfologia da nascente deriva das características geológicas-geomorfológicas locais, além de envolver componentes vegetacionais e sociais na constituição da mesma (FELIPPE, 2013).

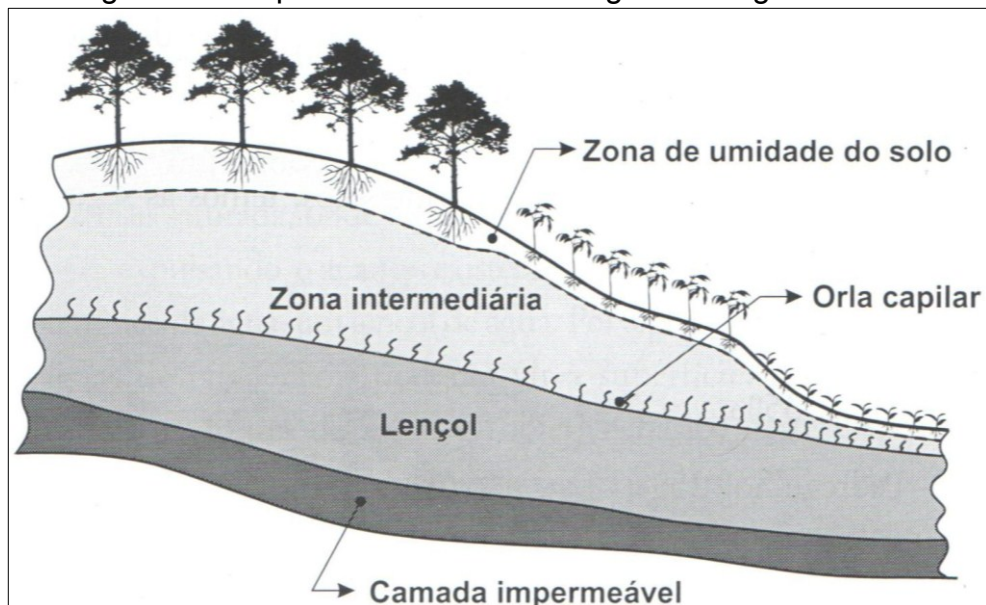
É importante destacar que a nascente está intimamente relacionada a um lençol subterrâneo já que é a manifestação dele na superfície. Desta maneira a nascentes representa a transição entre a água subterrânea e superficial, demarcando grande importância hidrogeomorfológica, pois, a água exfiltrada carrega componentes geoquímicos desnudacionais. Mesmo que, com quantidade de água diminuta, se comparada aos canais fluviais, o grau de mineralização das nascentes tende a ser maior, variando de 10 kg/ ano ao máximo de 45 ton/ano (FELIPPE; MAGALHÃES JR., 2013). Neste aspecto, ressaltam Valente e Gomes (2011) que para se conservar uma nascente é importante garantir bons armazenamentos de água nos lençóis durante os períodos de chuva.

Todo curso d'água, independente da vazão, entendida como o volume de água exfiltrado pela nascente por unidade de tempo, faz parte de uma bacia hidrográfica. Se estiverem localizadas na extremidade de uma grande bacia, podem ser chamadas de bacias de cabeceiras. Estas, em geral, caracterizam por áreas com maior declividade, onde as nascentes surgem em concavidades ou anfiteatros. Apontam Valente e Gomes (2005, 2011) que a classificação de bacias pelo seu tamanho, ou seja, pela sua área de abrangência, costumam não ter objetivos práticos, e, por isso, torna-se mais interessante classificá-las diante de critérios pautados em comportamentos hidrológicos

Relatam Valente e Gomes (2011) que obter valores de vazão é de fundamental importância para avaliar o comportamento da água em uma bacia hidrográfica. Entretanto, até que a água precipitada chegue ao curso d'água, inúmeros processos decorrem.

Conforme destacam Valente e Gomes (2011), a existência e distribuição da água no perfil do material inconsolidado estão estreitamente vinculada à porosidade, ou seja, a porcentagem de vazios em relação ao volume considerado. Quando a água da chuva infiltra no solo, podem-se caracterizar as regiões de água no perfil pela maneira que ela é retida. A Figura 9 distingue cada uma delas.

Figura 9 – Esquema ilustrativo das regiões de água no solo.



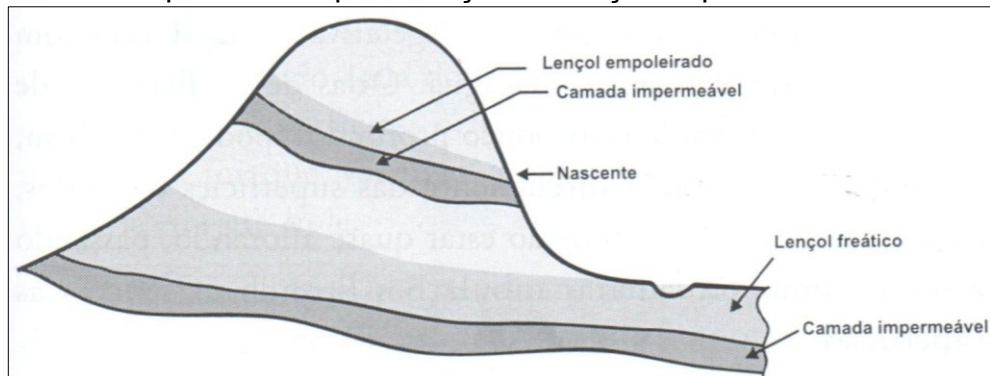
Fonte: Valente e Gomes (2011, p. 100).

A região/zona de umidade situa-se logo abaixo da superfície, e sua profundidade depende diretamente do porte das raízes. É uma região bastante dinâmica e por isso é muito importante, sobretudo em pequenas bacias hidrográficas. Na área em estudo, a altitude elevada em relação às adjacências e o relevo bastante movimentado, esta camada é delgada e exige cuidados. Por esta razão, devida atenção deve ser dada ao fluxo de base, pois, em épocas de baixo regime de chuvas, ele ainda garante o fluxo dos canais (VALENTE; GOMES, 2011).

Embora o modelo apresentado pela figura supracitada demonstre uma regularidade na distribuição da água ao longo dos perfis, na paisagem muitas vezes não ocorre desta maneira. O lençol empoleirado representa uma irregularidade nos perfis, em que uma camada de baixa permeabilidade situa-se sobreposta a camadas

permeáveis, criando subníveis de saturação no solo, tendendo a criar pontos de exfiltração ao longo da vertente, conforme mostra a Figura 10.

Figura 10 – Esquema de representação do lençol empoleirado numa vertente.



Fonte: Valente e Gomes (2011, p. 109).

O volume de água produzido pelas nascentes depende da riqueza do lençol freático que as originam. Este, por sua vez, depende diretamente da quantidade de água da chuva que infiltra no período de ocorrência. Assim, a nascente é considerada uma área de passagem quase sempre úmida, porém a água dela é proveniente de infiltrações à montante da bacia hidrográfica (VALENTE; GOMES, 2011).

Entretanto, conforme apostam Valente e Gomes (2011, p. 119), “[...] mesmo as nascentes com menos de um litro por minuto são importantes pois são responsáveis pelo primeiro pequeno córrego de um grande rio”. Este é o caso das nascentes pesquisadas neste trabalho, que contribuem para a vazão do Rio São Francisco.

5.4. As atividades humanas no desenvolvimento das nascentes antropogênicas

As atividades humanas alcançam, nos dias de hoje, grande capacidade em condicionar processos morfodinâmicos, sendo o homem tratado como agente modelador da paisagem (SIMON; CUNHA, 2008). Contudo, há elementos discutidos pela Hidrogeomorfologia que são muito vulneráveis às atividades antrópicas, como as nascentes.

O Tecnógeno traz em discussão a capacidade do homem como agente transformador do relevo, ou seja, agente condicionador de processos morfodinâmicos. Conseqüentemente, o ser humano passa então a gerar condições

para que a haja exfiltração de água onde naturalmente não haveria. Em outras palavras, as intervenções tecnogênicas podem alterar diretamente a dinâmica dos cursos d'água. Neste sentido, conceituam-se as nascentes antropogênicas, que são caracterizadas pelos fluxos de água na superfície originados pela exfiltração de água por conta da intervenção humana no fluxo subsuperficial (FELIPPE, 2009; FELIPPE *et al.*, 2013).

Uma vez que o fluxo subsuperficial entra em contato com a rede de drenagem, dois elementos merecem destaque. O primeiro deles se refere à formação de uma nova superfície topográfica como consequência da retirada de material na vertente. O segundo diz respeito ao aumento da possibilidade de interceptação superficial do nível freático (FELIPPE, 2009).

Baseando-se na afirmativa de que Felipe *et al.* (2013, p. 281) “[...] a concepção de uma nascente antropogênica exige, de antemão, a interpretação de suas condições genéticas”. Neste âmbito, atenção é dada às intervenções geradas nas vertentes do PNSC devido à manutenção das estradas.

5.5. Estradas não pavimentadas e seus impactos na dinâmica da água

Ao se buscar uma análise ambiental integrada de uma bacia hidrográfica, é indispensável observar, além dos tipos de uso, a relação estabelecida entre os usuários à montante e jusante de um sistema de drenagem. A ação humana é uma variável extrínseca ao ambiente natural e pode favorecer a instalação de processos modificadores deste, bem como alterar a dinâmica hidrológica (PESSOA, 2002). Se tratando da área interna ao PNSC, portanto sendo uma Unidade de Conservação (UC), atenta-se especialmente às estradas e aos manejos promovidos pela sua manutenção.

O PNSC possui estradas principais e secundárias não pavimentadas em várias direções. A principal delas corta o parque longitudinalmente por 67 quilômetros, interligando as portarias de São Roque de Minas, Sacramento e São João Batista da Canastra (MMA/IBAMA, 2005). Estas vias são utilizadas para a administração da Unidade, para o turismo, passagem de moradores adjacentes, transporte de cargas, para pesquisa, entre outras finalidades.

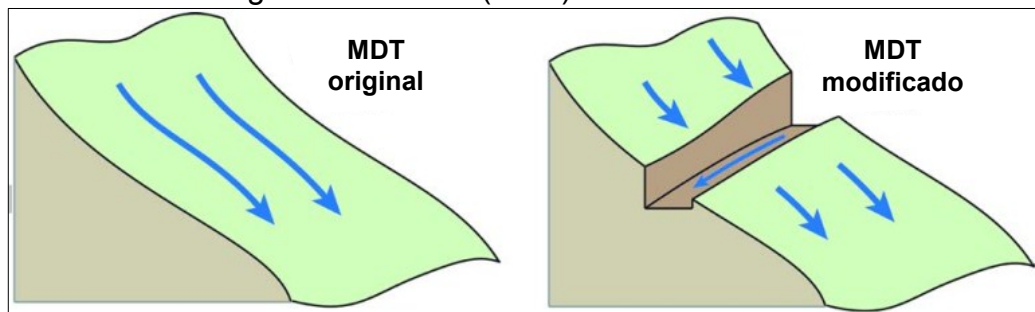
Entretanto as características geológicas da serra exigem atividades de manutenção das estradas, principalmente nos períodos de chuva. Rochas

quartzíticas pouco permeáveis e pouco erodíveis à água oferecem ruins condições de rodagem já que intensificam o escoamento superficial. No intento de recuperação das estradas, são necessários constantes trabalhos com tratores para recuperar as vias. Estas manutenções implicam no rebaixamento do nível da estrada pela remoção do material superficial e subsuperficial (alguns pontos).

Alguns estudos relacionados às estradas não pavimentadas buscam mostrar os impactos destas na paisagem. Dentre as pesquisas, a produção de sedimentos, impermeabilização de áreas, aumento da densidade da drenagem e escoamento superficial, desencadeamento de processos erosivos, entre outros (JONES, 2000; LA MARCHE; LETTENMAIER, 2001; SOULIS; DERCAS; PAPADAKI, 2015; SVORAY; MARKOVITCH, 2009; WEMPLE; JONES; GRANT, 1996).

Soulis *et al.*, (2015) estudaram os impactos das estradas florestais na resposta hidrológica. Como defendem os autores, a presença da estrada interfere diretamente no volume total do fluxo superficial e no tempo do escoamento para a rede de drenagem. Aumenta o volume e intensifica a velocidade do fluxo (Figura 11). Para estes autores a presença da estrada aumenta as taxas de fluxo superficial pela redução da capacidade de infiltração do solo, interrompe o fluxo subterrâneo e subsuperficial por conta dos cortes das estradas nas vertentes e acelera o escoamento através das valas (SOULIS; DERCAS; PAPADAKI, 2015).

Figura 11 – Modelo Digital do Terreno (MDT) do efeito da estrada no fluxo de água.

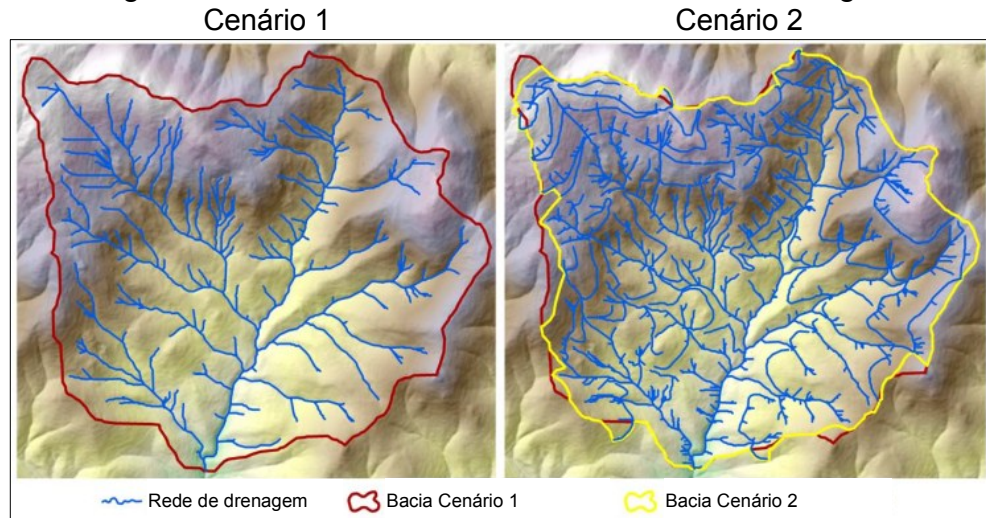


Fonte: Soulis *et al.* (2015).

Outro aspecto que merece atenção se refere à alteração da densidade de drenagem pelas estradas rurais não pavimentadas. Os autores afirmam que as estradas funcionam como uma extensão dos rios, pois, captura e reencaminha o escoamento superficial. A Figura 12 apresenta dois cenários, no cenário 1, uma rede de drenagem sem estradas e no cenário 2, a presença de estradas na bacia hidrográfica. Para o cenário dois, o comprimento total da rede de drenagem e a densidade é praticamente o dobro em relação ao cenário 1.

Neste âmbito, a Serra da Canastra se torna uma área indispensável para pesquisas. Sua complexidade geológica e características geomorfológicas MMA/Ibama (2005) confere a área importância singular para a dinâmica das águas superficiais e subsuperficiais, sendo que, estas últimas são de grande expressão em regiões úmidas (SAYAMA *et al.*, 2011). Embora seja uma Unidade de Conservação, as intervenções promovidas pela manutenção das estradas carecem de estudos, sejam corretivos e/ou preventivos.

Figura 12 - Efeito da estrada na densidade da drenagem.



Fonte: Soulis *et al.* (2015).

6. MATERIAIS E MÉTODOS

6.1. Síntese dos procedimentos

Tendo a nascente como objeto de estudo e considerando a complexidade do seu funcionamento, uma série técnicas e métodos foram necessários. Assim, procedimentos de cunho geográfico, geomorfológico, hidrogeomorfológico, geotecnológico e topográfico foram utilizados para auxiliar na interpretação dos elementos naturais e antrópicos impactantes nas nascentes. Para tanto, foram gerados dados primários, resultante de coletas de amostras nos trabalhos de campo, e, além disso, foram utilizados dados secundários no que diz respeito à pluviosidade na área de estudo.

Estudos efetuados em Geografia Física tendem a realização de trabalhos de campo. Com a pesquisa em questão não foi diferente, baseando-se em levantamento de dados primários, ocorreram várias campanhas de campo. Desta maneira, houve a necessidade da sistematização do calendário para as idas a campo, sendo que, a viabilidade financeira, a sazonalidade e a disponibilidade de equipamentos, como o GPS Geodésico, foram fatores determinantes para a realização das pesquisas em campo.

6.2. Trabalhos de campo

As pesquisas no Parque Nacional da Serra da Canastra requerem um bom planejamento prévio. Para o acesso ao parque com finalidade científica, antecipadamente, é realizado o cadastro do projeto de pesquisa na plataforma Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (SISBio), junto ao órgão gestor do parque Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) do Ministério do Meio Ambiente (MMA).

O deslocamento da cidade de Uberlândia até o parque ultrapassa os 300 quilômetros. Desta forma, além de recurso financeiro com apoio institucional para este deslocamento, é importante planejar as datas, de forma a lograr melhor aproveitamento entre os dias em contato com a área de estudo. Além disso, o deslocamento dentro do parque é demorado, pela distância a ser percorrida entre as nascentes e pela dificuldade de trafegar nas estradas de relevo bastante movimentado, muito comuns na Serra da Canastra.

No período de outubro de 2016 a agosto de 2018, conforme apresenta a Tabela 2, foram realizados os trabalhos de campo. A primeira campanha ateve-se em avaliar a área de estudo, bem como identificar e elencar as nascentes a serem pesquisadas. Em gabinete, foram mapeadas várias por análise de imagens orbitais.

Posteriormente, considerando os critérios distribuição espacial, representatividade amostral, viabilidade no acesso e evidências de ação antrópica, foram definidas sete nascentes para estudo. O penúltimo critério foi preponderante, já que se constatou mais de duzentas áreas de exfiltração que contribuem para a vazão do Rio São Francisco, no Chapadão Diamante (Mapa 2).

O recorte em estudo tem alta densidade de drenagem. Contudo, por diversas características do meio físico, descritas ao longo do estudo, explicam a efemeridade dos canais. Entretanto, nas sete nascentes pesquisadas, durante as visitas em épocas chuvosas, foi possível quantificar a vazão.

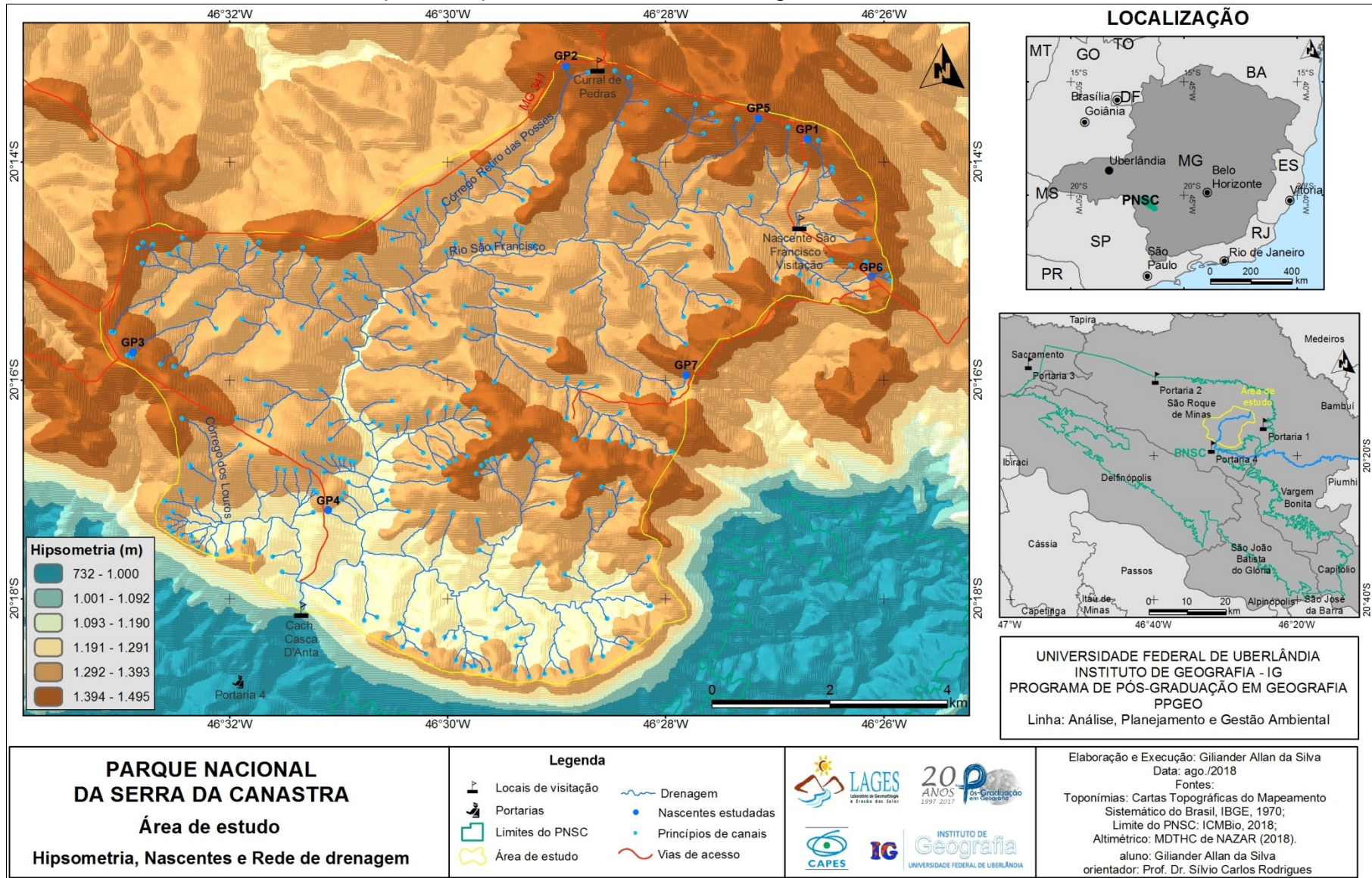
Tabela 2 - Períodos das campanhas de campo.

DATAS DAS CAMPANHAS DE CAMPO			
DIAS	MÊS	ANO	CARACTERÍSTICA
28 a 30	OUTUBRO	2016	Campo para avaliação e reconhecimento da área de estudo
28 a 31	JANEIRO	2017	campo específico da pesquisa
8 a 11	JUNHO	2017	campo específico da pesquisa
18 a 20	AGOSTO	2017	campo da equipe do LAGES
14 a 16	DEZEMBRO	2017	campo específico da pesquisa
15 a 18	MARÇO	2018	campo específico da pesquisa
06 a 10	AGOSTO	2018	campo da equipe do LAGES

Fonte: próprio autor, 2018.

Destaca-se que o grupo de pesquisas vinculado ao LAGES desenvolve estudos nesta área há vários anos. Outras investigações, em nível de graduação a doutorado, ocorrem na Serra da Canastra, em grande medida, vinculados ao projeto FAPEMIG – APQ-00231-16. Desta forma, outros trabalhos de campo ocorreram ao longo dos anos supracitados, priorizando outras pesquisas.

Mapa 2 – Hipsometria e Rede de drenagem da área de estudo.



Desta maneira, vários critérios foram ponderados para a realização dos trabalhos de campo. Destaca-se que as incursões se balizaram nos índices pluviométricos dos últimos anos na área, almejando avaliar as nascentes em diferentes condições de sazonalidade. Para tanto, utilizaram-se previamente de trabalhos técnicos (MMA/IBAMA, 2005) e científicos (NOVAIS, 2011) já elaborados na região.

6.3. Coleta de amostras, ensaios *in situ* e demais anotações

As amostragens foram realizadas nas imediações das nascentes, ou seja, nas áreas de cabeceiras. Nestas mesmas áreas usou-se o trado para fazer várias perfurações, cujas prospecções permitiram avaliar as condições de umidade do material de cobertura, bem como, o nível freático e a profundidade do contato com a rocha. Este é um fator de grande importância para a dinâmica hídrica local (FELIPPE, 2013) e baliza os sítios de amostragem.

Em todas as cabeceiras foram coletadas amostras deformadas. Estes materiais são coletados com trado tipo caneco, ensacados e levados para o laboratório para se obter a granulometria. Ainda em campo, são avaliados, de forma breve, o grau de compactação do material, a matriz granulométrica predominante, e outros elementos, como: a presença de matéria orgânica, concreção ferruginosa, etc.

Anotações empíricas sobre as condições gerais e específicas de cada nascente e suas adjacências foram realizadas na Ficha de Campo (APÊNDICE I). Este momento consiste na tomada de informações organizadas por pontos de análise e facilita a qualificação de cada nascente. Esta etapa favorece a distinção das mesmas pelas descrições das condições da cobertura vegetal, do tipo de rocha presente, características do relevo e da profundidade e textura relativa dos materiais superficiais.

Ainda na Ficha de Campo são observadas outras características das nascentes. Com base em Felipe (2009) a morfologia das nascentes e os tipos de exfiltração são importantes parâmetros para distinguir e caracterizá-las. Apropria-se das ideias deste autor, que, em suas pesquisas apresenta sete tipos de formas: nascentes em concavidade, duto, afloramentos, talvezue, olho, cavidade e

intervenção, embora destaque que outras morfologias podem acontecer. Se tratando da exfiltração, o autor expõe três tipos de nascentes: pontuais, difusas e múltiplas.

Ademais, para caracterização da área foram capturadas fotos de ângulos, seja em solo (máquina convencional do celular) ou aéreas oblíquas com VANT.

6.4. Sobre a caracterização das nascentes

No âmbito da hidrogeomorfologia foram avaliados parâmetros para a caracterização das nascentes, desde que, dois elementos indispensáveis fossem contemplados: exfiltração natural e a formação de um canal à jusante. Dentre os elementos considerados importantes para distinção de cada nascente foram avaliados: origem da nascente, vazão, morfologia, tipos de exfiltração, sazonalidade (atividade constante ou intermitente) e mobilidade da nascente.

Quanto à origem das nascentes, foram utilizadas as idéias preconizadas por Valente e Gomes (2011). Segundo eles, as nascentes podem ser formadas por lençóis freáticos ou artesianos, surgindo no contato entre camadas impermeáveis e a superfície, por afloramento dos lençóis em concavidades do terreno, por falhas geológicas ou canais cársticos.

A vazão é um parâmetro muito importante de análise nas nascentes. Pela medição e quantificação do volume de água que escoar a partir de um sistema de exfiltração por um determinado tempo, torna-se possível diferenciar as nascentes e classificá-las conforme a sua magnitude. Ademais, o volume de água produzida está diretamente relacionado à oferta de água por todo o sistema de drenagem.

As medidas de vazão seguiram a metodologia adotada por Pinto *et al.*, (2004) e Felipe (2009). O volume de água foi quantificado de forma direta e o local sempre foi à jusante, mais próximo possível da zona de exfiltração onde se verifica um fluxo concentrado e há possibilidade de coleta por conta de ausência ou pouca vegetação e o canal é mais encaixado. Para isso, adicionalmente aos procedimentos já preconizados por Felipe (2009), foram criadas calhas metálicas de dois tamanhos, cujo objetivo central foi de direcionar o fluxo de forma a encaixar na proveta graduada, utilizada para medir o volume de água.

O tempo de coleta variou conforme a vazão, já que a proveta utilizada comporta 1000 ml de água. Assim, utilizou-se 10 segundos para cada coleta de água, entretanto, em nascentes que apresentaram volumes excedentes à

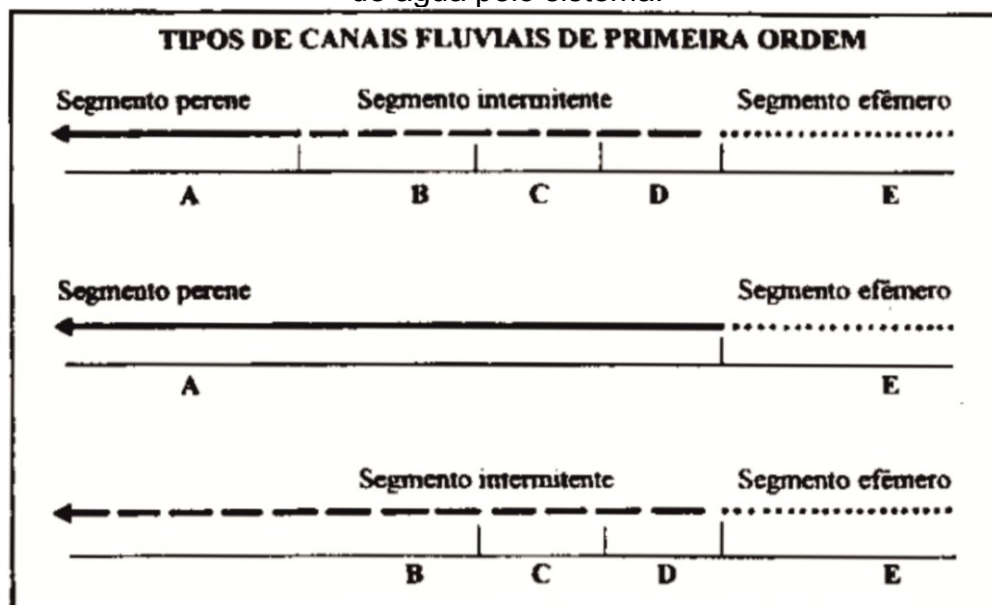
capacidade de armazenagem da proveta nesse tempo, as coletas foram realizadas no intervalo de 5s. Em todas as nascentes foram realizadas cinco repetições, sendo a vazão definida pela média aritmética dos eventos, dadas em ml/s.

Em relação ao modo de ocorrência da exfiltração, a classificação foi realizada com base em Felipe (2013). O autor avança nas ideias de Faria (1997) e acrescenta, além dos tipos pontual e difusa, a exfiltração múltipla. Esta última representando dois ou mais tipos pontuais de exfiltração num mesmo sistema.

Neste âmbito, as nascentes pontuais se caracterizam pelo escoamento de água em um único caminho (grotas e alto das serras) e as difusas para aqueles tipos de exfiltração sem fluxo preferencial, ou seja, vários olhos d'água (brejos, voçorocas e matas planas), respectivamente (FELIPPE, 2009; PINTO *et al.*, 2004).

O critério de sazonalidade das nascentes é observado sob três cenários. Elas podem ser classificadas como perenes, intermitentes e efêmeras (Figura 13). Perenes se alimentadas por todo ano hidrológico pelo fluxo de base. Intermitente se no período de escassez hídrica se torna inativa por falta de água. As efêmeras se caracterizam pela atividade da nascente somente durante o episódio chuvoso.

Figura 13 - Canais de primeira ordem e tipos de segmentos conforme fornecimento de água pelo sistema.



A) Segmento perene, dotado de fluxo em qualquer situação climática. B) Segmento intermitente inferior, onde os fluxos desaparecem apenas durante os períodos prolongados de estiagem. C) Segmento intermitente intermediário, com fluxo durante a maior parte do ano. D) Segmento intermitente superior, onde ocorre a formação de fluxo, alimentado pelo lençol freático apenas durante os períodos com umidade excessiva. E) Segmento efêmero, onde não existe fluxo alimentado pelo lençol freático. Fonte: (FARIA, 1997, p. 76).

Outro fator que representa sazonalidade refere-se à mobilidade das nascentes (móvel ou fixa). Esta consiste na variação da extensão do canal conforme a oscilação do nível freático ao longo do ano hidrológico. Isso quer dizer que, em épocas secas o canal regride pelo deslocamento à jusante. Nas épocas de chuva a nascente se desloca à montante, aumentando o canal em extensão.

O mapeamento das nascentes ocorreu em três momentos. Um mapa prévio de toda a bacia foi gerado por fotointerpretação, que amparou os primeiros trabalhos de campo. No segundo momento, em campo, o mapeamento foi realizado com GPS de navegação, tomando-se as coordenadas e altitude, apenas das nascentes em estudo. Na terceira fase, também em campo, foram realizados sobrevoos com drone com varreduras além da tomada de pontos por GPS Geodésico, para maior precisão no georreferenciamento e ortorretificações das imagens.

A delimitação das áreas de captação das cabeceiras se norteou pelo croqui preconizado por Montgomery e Dietrich (1989). A base de dados utilizada advém do Modelo Digital de Elevação de alta resolução gerado pelo processamento das fotografias capturadas por drone.

Se tratando de parâmetros morfométricos, como o Coeficiente de Compacidade (kc), este foi obtido pela equação:

$$Kc = \frac{P}{\pi D}$$

onde P é o perímetro da bacia e o D é o diâmetro do círculo da área igual ao da bacia.

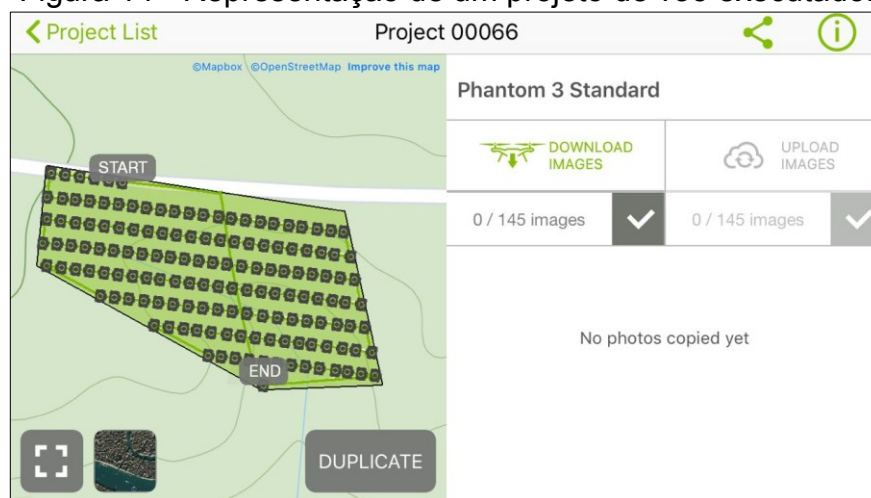
6.5. Sobrevoos com o VANT/RPAS e demais mapeamentos

Além das fotos aéreas para a caracterização de áreas, fizeram-se fotos com o VANT no sistema de varreduras. Este equipamento, obtido pelo LAGES, também chamado de drone ou RPAS (*Remotely Piloted Aircraft Systems*), dispõe, ao menos, de uma aeronave e uma estação de controle, tornando o equipamento remotamente pilotado. Este equipamento oferece condições de voo controlado manualmente e/ou de forma autônoma. Nesta última opção, usando aplicativos específicos, se pode gerar um polígono de varredura em que o drone alça voo e faz as fotos sem necessidade de controle do operador (pessoa) (MUNARETTO, 2017).

A Figura 14 ilustra um voo autônomo. Nesta situação, o “Project 00066” teve um voo com início do imageamento a norte e término na zona sul do polígono. Para cobertura da área foram feitas 145 fotos por, praticamente, oito faixas (ruas).

Especificamente neste estudo o equipamento utilizado foi um quadricóptero. Ele pesa 1.216 gramas e é produzido pela empresa chinesa DJI, nomeado de DJI Phantom III, da linha *Standard*. Conforme menciona Dji (2017), este equipamento é dotado de uma câmera de alta resolução que captura vídeos a 2.7k e fotos de 12 megapixels, com um *gimbal* de três eixos que estabiliza a câmera em voo.

Figura 14 - Representação de um projeto de voo executado.



Fonte: Pix4DCapture (2018).

Em relação à autonomia, os vãos são de até 25 minutos por bateria. As imagens em tempo real são transmitidas para um equipamento (*smartphone* ou *tablet*) acoplado ao controlador de voo via *WiFi*, cujo alcance máximo é de 1 quilômetro. Os dados digitais são armazenados em um microchip, podendo ser transferidos para um computador pelo próprio chip ou conexão via cabo USB.

Convém mencionar que a aeronave citada foi devidamente registrada junto ao órgão regulador brasileiro ANAC sob o número de cadastro PP-060913028, seguindo todos os parâmetros conforme o RBAC-E nº94, com validade em 24/05/2019 (DJI, 2017). Além disso, se tem percebido uma grande evolução na legislação para uso destes equipamentos, em que os órgãos competentes tem exigido solicitação de autorização de voo, visando maior segurança. Entretanto, na época em que os vãos foram realizados, ainda não havia tal normativa.

É de grande importância realizar um estudo para o planejamento prévio da coleta de dados pelo sobrevoo com VANT. Para tanto, faz-se necessário seguir uma lista de procedimentos para cada voo, sendo: escolha da área de estudo, análise de

segurança para o voo, planejamento do voo (realizado em aplicativo interativo), preparação dos equipamentos (aeronave, rádio (controle)), checagem dos equipamentos e coleta de dados.

A fase chamada de análise de segurança exige que alguns fatores sejam levados em consideração. Dentre eles destacam-se: condições legais da operação, possíveis obstáculos como torres e linhas de transmissão, proximidade a aeroportos e aeródromos, limites de áreas urbanas, morfologia do terreno, condições de vento e locais para pouso e decolagem.

Para executar a varredura são necessários alguns procedimentos. Primeiramente, traça-se os polígonos no *software* Google Earth Pro, representando a área que se deseja cobrir fotograficamente. Em seguida, faz-se a importação dos polígonos das nascentes para algum aplicativo desta função, neste caso, o Drone Deploy. Em seguida, faz-se a configuração sobre a taxa de recobrimento lateral e frontal (ambas 75%), altura do voo (40 metros para se obter resolução espacial abaixo de 10cm) e velocidade do voo (máxima de 15m/s).

Vários produtos são gerados a partir das fotografias aéreas obtidas pelo VANT. Em decorrência da pesquisa, maior foco é dado ao Modelo Digital de Elevação (MDE), porém a nuvem densa de pontos, o modelo tridimensional e o ortomosaicos georreferenciado são produtos indispensáveis para se chegar ao MDE. Sob as configurações supramencionadas, para as sete nascentes o GSD (*Ground Sample Distance*) ou a resolução por pixel do Modelo Digital de Elevação variou entre 3,1 a 5,4 cm/pix.

O procedimento de construção do MDE foi realizado no *software* Agisoft Photoscan. Este *software* é capaz de criar um conteúdo 3D com qualidade profissional a partir de imagens estáticas, neste caso, obtidas pelo RPAS. Desta maneira, as fotos podem ser obtidas de qualquer posição, desde que o objeto a ser reconstruído esteja visível em pelo menos 2 fotos.

6.6. Ortorretificação das imagens do VANT

Considerando o mapeamento de detalhe como base de dados para a pesquisa, as imagens geradas pelo RPAS requerem um procedimento de ortorretificação antes do seu uso. Para tanto, em cada nascente foram tomados de 4

a 5 pontos com GPS geodésico, no intento de gerar uma malha retangular equidistante aos limites das cabeceiras de drenagem.

Utilizaram os aparelhos: GPS Geodésico Ashtech Promark 200 e Promark 2 (Figura 15), obtidos no Laboratório de Cartografia (Instituto de Geografia) e Laboratório de Topografia (Faculdade de Engenharia Civil). O primeiro trabalha com antenas L1 e L2, e tem maior recepção de dados, foi utilizado como BASE e o segundo foi utilizado como ROVER. Em cada ponto o ROVER fez o rastreamento por 35 minutos e “o BASE” rastreou por, no mínimo, duas horas.

O processamento dos dados brutos foi realizado no software GNSS Solutions. A RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) utilizada foi a mais próxima da área de estudo, localizada na cidade de Franca (São Paulo) a quase 100 quilômetros de distância (linha reta), sigla SPFR. Como resultados das correções o erro máximo 15 centímetros e erro mínimo, menor que 1 centímetro.

Figura 15 - Equipamentos GNSS Promark 200 e Promark 2.

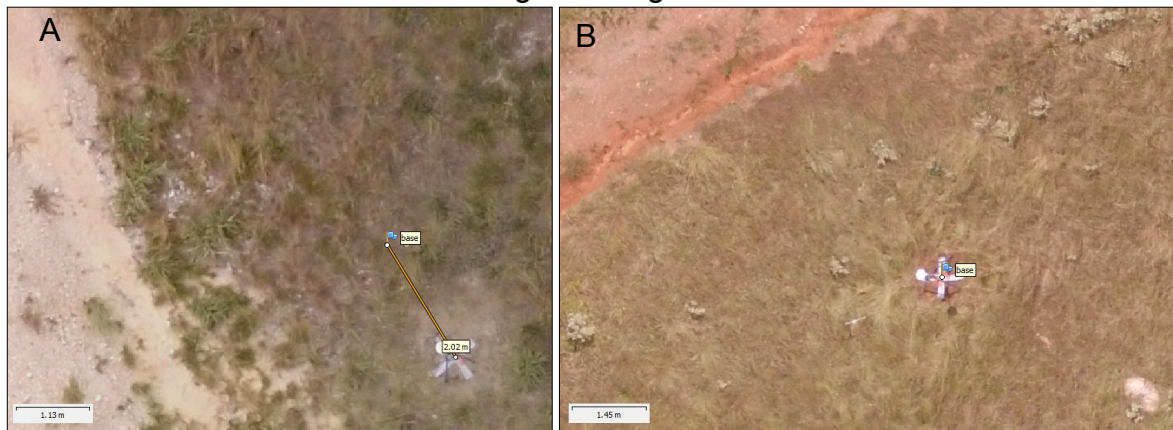


Fontes: All Comp (2018); Engecon (2018).

Após o processamento dos dados brutos, se obtém os pontos de controle de cada nascente. Em seguida, cria-se um arquivo no formato “.txt” com as coordenadas X, Y e Z (altitude) que é utilizado no software Agisoft Photoscan para realizar a correção das fotos.

A Figura 16 mostra duas etapas do processo de ortorretificação. Em “A”, a distância entre o “ponto real” (coletado pelo GPS geodésico) chamado de base e o ponto de controle na imagem (georreferenciado pelas coordenadas do VANT) apresenta uma distância (um erro) de superior a dois metros. Já em “B”, o ponto de controle demarcado no solo (rotulado como “base”) para a varredura foi corrigido com base nas coordenadas x, y e z, obtidas pelo GPS Geodésico.

Figura 16 - Ortorretificação: A) imagem não corrigida (erro superior a 2 metros); B) imagem corrigida.



Fonte: próprio autor, 2018.

Com o escopo de apresentar os índices dos erros pelo processamento das imagens capturadas pelo RPAS, segue a Tabela 3. Como se pode observar, após o reprocessamento das imagens, com a intervenção dos dados dos pontos de controle obtidos pelos aparelhos de GPS Geodésico, houve uma melhora significativa do posicionamento das imagens, corroborando o caso supracitado.

Tabela 3 - Índices dos erros antes e depois do uso dos pontos de controle obtidos com GPS Geodésico.

	GP1	GP2	GP3	GP4	GP5	GP6	GP7
Erro total inicial (m)	8,1	16,7	9,3	2,4	15	37,7	17,2
Erro total pós correção (cm)	6,5	7,5	20,5	5,3	67	6,8	7,9

Fonte: Agisoft (2017).

6.7. Análises em laboratório

Foram realizadas análises laboratoriais de amostras de materiais superficiais com o escopo de tecer uma caracterização dos mesmos. O comportamento da água nestas coberturas é variado, e, dados sobre a granulometria fornece parâmetros importantes para análise desta dinâmica.

Desta maneira, para obtenção da granulometria, utilizaram-se os ensaios de peneiramento e sedimentação para as amostras coletadas nas cabeceiras de drenagem. Estes procedimentos foram executados no Laboratório de Geomorfologia e Erosão dos Solos – LAGES, no Instituto de Geografia (IG). Seguindo os parâmetros estabelecidos em Teixeira *et al.* (2017) e Procedimentos Operacionais Padrão (POP) do LAGES (IG-UFU) foram peneiradas as amostras utilizando as malhas apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Diâmetro das frações granulométricas adotadas no ensaio de peneiramento.

Diâmetro (mm)	Denominação do material retido
3,35	Cascalho
2,00	Cascalho
1,70	Areia grossa
0,850	Areia Grossa
0,600	Areia grossa
0,425	Areia média
0,300	Areia média
0,212	Areia média
0,150	Areia fina
0,106	Areia fina
0,073	Areia fina
0,053	Areia fina
< 0,053	Silte/Argila

Fonte: Teixeira *et al.* (2017).

Para coleta de amostras indeformadas, alguns requisitos são importantes. As coberturas inconsolidadas precisam estar coesas para não escapar do anel volumétrico. Além disso, a camada delas precisa ser suficientemente profundas para retirada da amostra. Desta maneira, não foi possível coletar amostra indeformada em todas as cabeceiras, contemplando apenas a nascente GP2 e GP3.

As amostras indeformadas são indispensáveis para obtenção dos índices físicos (teor de umidade, massa específica natural, massa específica seca, índice de vazios e porosidade). Para tanto, seguiram-se os procedimentos preconizados por Zuquette (1987) e Zuquette e Gandolfi (2004), que se baseiam na secagem do material e pesagem, de forma a obter os índices por cálculos matemáticos.

6.8. Dados de precipitação

No estudo foram utilizados dados sobre a pluviosidade da região. O PNSC dispõe de uma estação analógica localizada na Portaria 1 (latitude 20°15'39.1"S e longitude 46°24'36.7"W) e de uma estação automática da CEMIG (código 2046033, latitude 20°11'42.4"S e longitude 46°34'17.9"W). Os dados da primeira estação são tomados pelos funcionários responsáveis da portaria. Na segunda estação, as informações são armazenadas em um aparelho *data logger*, sendo, posteriormente descarregadas em um computador por funcionários da CEMIG. A digitalização, organização, tratamento e formatação para apresentação destas informações foram realizados no *software* Excell.

Outras fontes de dados também foram consultadas a título de informação. Uma delas foi trabalho de Novais (2011) que fez uma caracterização climática do Triângulo Mineiro e adjacências com dados de 1980 a 2009 e o Plano de Manejo elaborado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA/IBAMA, 2005) que também cita dados climatológicos que serviram de parâmetro.

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1. Relação das nascentes em estudo

O Chapadão Diamante abriga diversas nascentes de importantes rios, dentre eles, do Rio São Francisco. Na bacia hidrográfica situada no alto deste grande compartimento morfológico, ultrapassam o número de duzentas, as cabeceiras que contribuem para a vazão dos primeiros quilômetros deste rio. Contudo, sendo uma área de grande extensão, foram selecionadas sete nascentes para investigação.

Neste capítulo, busca-se destacar as características gerais das nascentes e suas adjacências. Enfatiza-se a importância delas para o sistema ambiental local, seja como habitat de diversos seres animais e vegetais, mas também pela representatividade nacional já que dão início ao curso d'água que drena por grande extensão do país. Além disso, destaca-se a carência de estudos sobre nascentes no Brasil, sobretudo, daqueles que vislumbrem pormenorizar o funcionamento das nascentes em áreas de grande importância hidrológica.

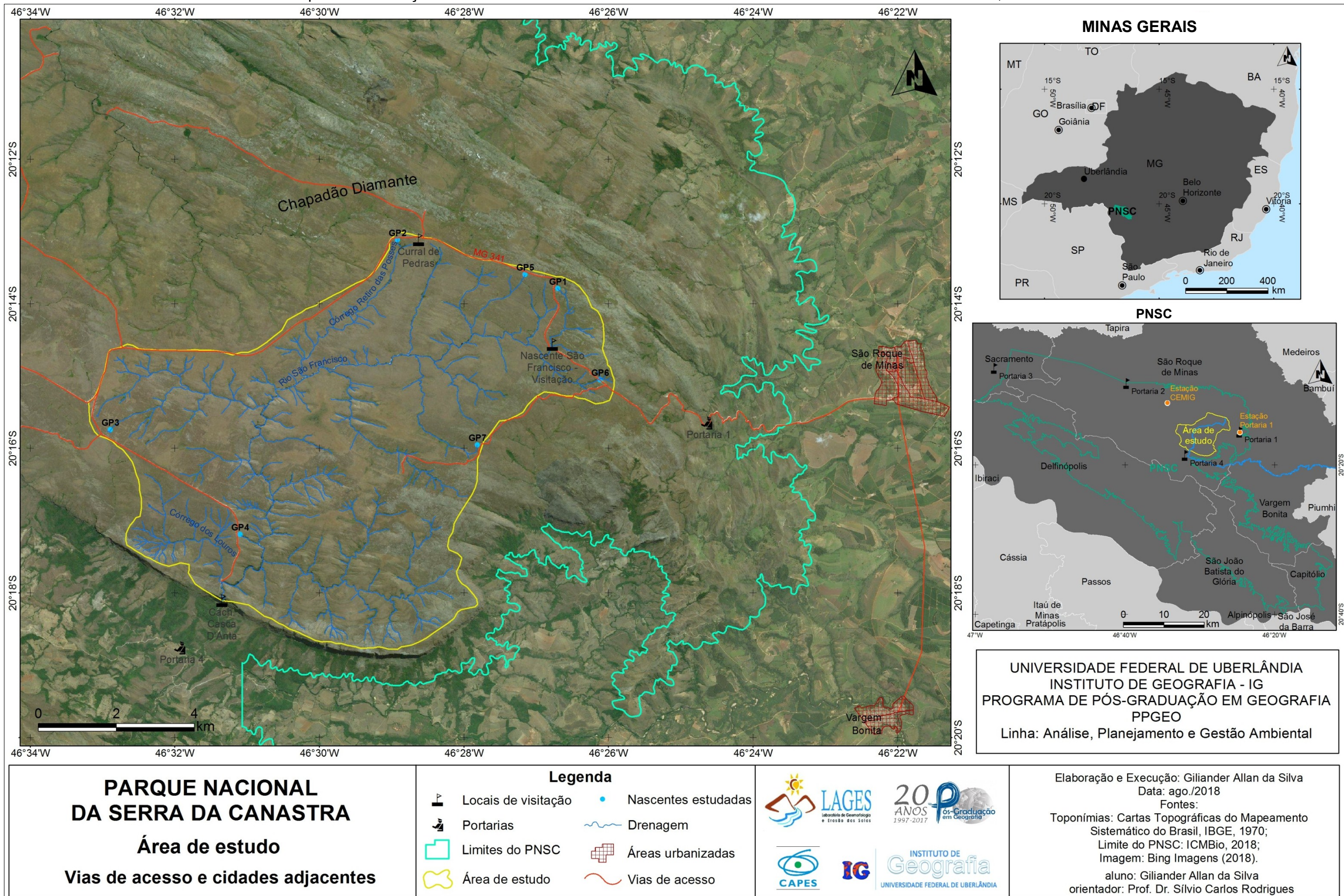
Desta maneira, a Tabela 5 sumariza características das sete nascentes. Com escopo parecido, o Mapa 3 apresenta a bacia hidrográfica do alto curso do rio São Francisco situando as nascentes pesquisadas em relação à todas as outras da mesma rede de drenagem.

Tabela 5 - Características das nascentes em estudo, do Rio São Francisco.

ID	Lat	Long	Altitude	Morfologia	Exfiltração	Mobilidade	Sazonalidade
GP1	20°13'48.22"S	46°26'41.15"O	1454	Afloramento	Difusa	Móvel	Intermitente
GP2	20°13'06.23"S	46°28'54.71"O	1436	Concavidade	Difusa	Móvel	Intermitente
GP3	20°15'47.31"S	46°32'56.85"O	1420	Afloramento	Múltipla	Móvel	Intermitente
GP4	20°17'11.01"S	46°31'06.25"O	1292	Afloramento	Múltipla	Móvel	Intermitente
GP5	20°13'35.24"S	46°27'08.85"O	1473	Afloramento	Pontual	Móvel	Intermitente
GP6	20°15'03.48"S	46°26'06.78"O	1389	Intervenção	Pontual	Fixa	Perene
GP7	20°15'56.82"S	46°27'48.50"O	1410	Afloramento	Pontual	Móvel	Intermitente

Fonte: próprio autor, 2018.

Mapa 3 - Localização das sete nascentes estudadas no contexto das cabeceiras do rio São Francisco, no ChD.



Importantes características influenciaram a seleção das nascentes para estudo. Dentre os critérios básicos, a distribuição espacial, representatividade amostral em relação às outras visitadas e viabilidade no acesso foram os principais.

Desta maneira a nascente GP1 representa uma das principais nascentes no alto curso do Rio São Francisco, já que origina o canal que é ponto de visitação no PNSC.

A nascente GP2 possui uma morfologia diferente das demais com retração da cabeceira. Além disso, é próximo à estrada, fator que facilita o acesso e, as valetas de drenagem da água pluvial que impacta na dinâmica desta e mereceu análise.

O processo de seleção da nascente GP3 baseou-se principalmente em dois fatores. O primeiro deles está relacionado à sua distribuição na bacia, pois, encontra-se no extremo oeste dela, em alinhamento com a drenagem gerada pelas nascentes GP1 e GP5. Outro fator é que, pela análise de imagens orbitais, notou-se um canal de grande extensão, denotando ser um importante afluente da margem direita do Rio São Francisco.

A nascente GP4 também foi de seleção indispensável. Dentre os fatores, a sua localização (próxima à estrada), a presença de sedimentos da estrada nas suas adjacências e por se localizar num relevo mais encaixado, próximo a áreas de afloramento. Outro fator a somar na escolha é a proximidade do exultório, conforme delimitação da área de estudo.

A nascente GP5 teve como principal critério a aparência da sua cabeceira. Está situada em área mais íngreme nas proximidades de uma ruptura do relevo. Dentre outros fatores, a drenagem se mostrou, a princípio, bastante condicionada por afloramentos quartzíticos.

De maneira singular, a nascente GP6 tem todos os indícios de ter sido gerada pela criação e manutenção da estrada. Logo, é uma nascente de intervenção e difere de todas as outras. Localiza-se na estrada e, por isso, tem acesso facilitado.

A GP7 foi a última nascente selecionada. Difere-se por situar no extremo leste da bacia, na margem esquerda do rio São Francisco. A estrada que dá acesso à nascente não é de uso comum, com isso, denota uma área menos impactada pela presença humana.

A partir das fotografias aéreas foi possível perceber várias características das nascentes. Pela visada mais abrangente, notou-se as formas das nascentes, os pontos iniciais de fluxo, as condições de vegetação, os afloramentos rochosos

quanto a sua localização e condicionante do relevo (topografia), o canal de drenagem e suas sinuosidades, a localização das estradas de acesso no contexto do canal de drenagem e as condições de manutenção das estradas. Não menos importante, as fotos em solo, juntamente com as descrições em campo, formam um conjunto importante para o levantamento de características das nascentes.

Desta maneira, a Figura 17 apresenta a nascente GP1 sob diversas escalas e ângulos. Também se buscou retratar procedimentos executados durante as campanhas de campo, como: trincheiras e perfurações com trado para coleta de amostras deformadas, medição da vazão, avaliação da espessura do material de cobertura e, conseqüentemente, nível freático, entre outros.

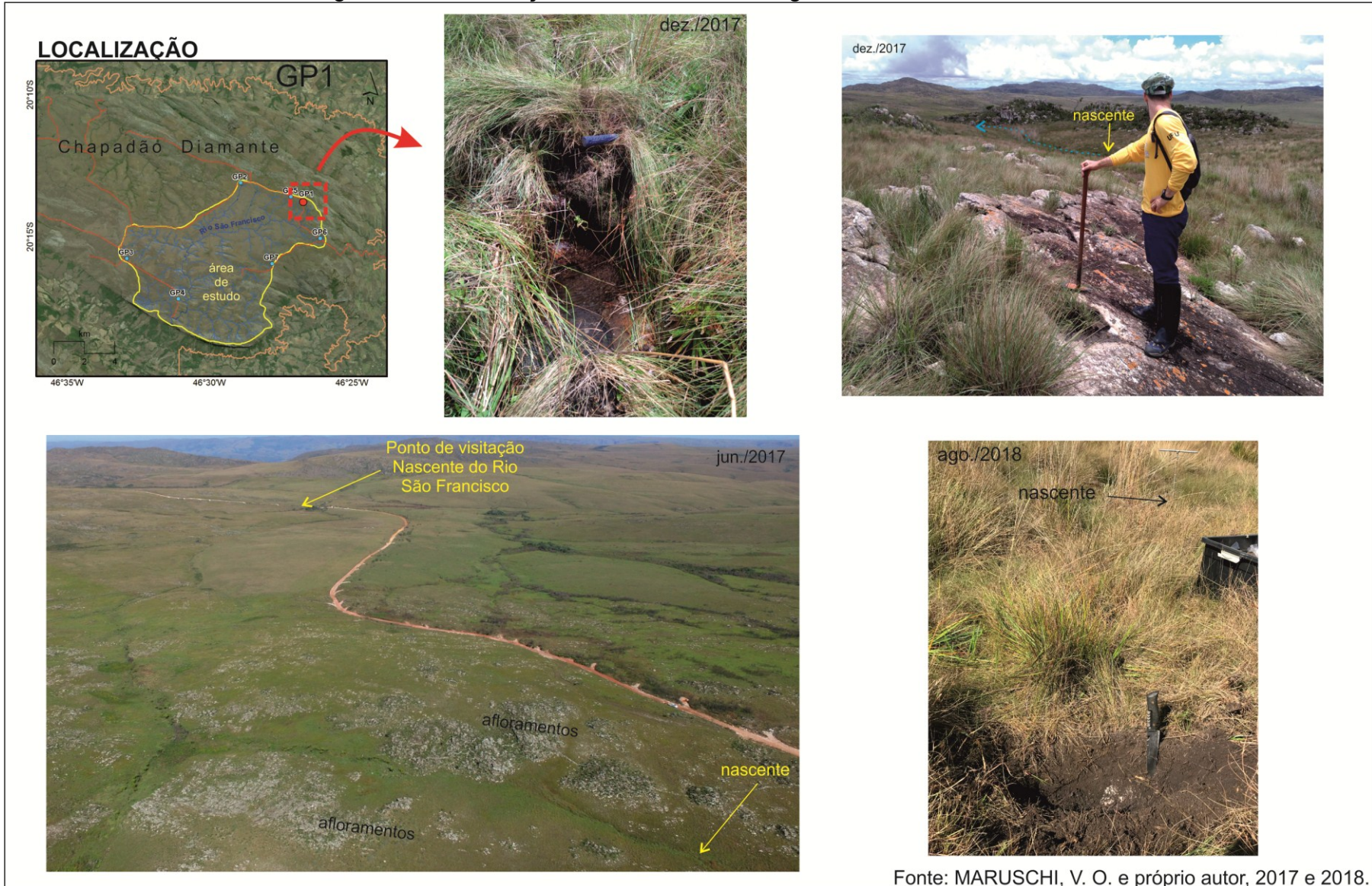
A nascente em questão dista 7,3 quilômetros da Portaria 1 do PNSC. Em época úmida, suas águas fluem por aproximadamente 2 quilômetros até chegar ao ponto de visitação conhecido pelos turistas, na “Nascente do rio São Francisco”. Entretanto, é uma nascente que apresenta mobilidade, sendo que, no período de pouca chuva a nascente desloca-se à jusante por aproximadamente 200 metros, apresentando assim, um trecho intermitente condicionado pelo regime pluviométrico.

O princípio do fluxo está a 1454 metros de altitude. Ele ocorre entre duas áreas de afloramento de quartzitos, distando quase 100 metros da estrada, onde o encaixe da drenagem já teve capacidade de produzir um entalhamento. A disposição das rochas aflorantes nas adjacências mostra uma capacidade de acumulação de material pedogenético e transportado entre os veios de quartzitos mais resistentes.

Ao longo dos primeiro quilômetros deste canal é possível notar vários pontos com ruptura de declive. Estes ocorrem pelo entalhe da drenagem com diferentes graus de intemperismo e consolidação da rocha aflorante, combinados com o alinhamento rochoso.

Este é o canal mais distante do exultório da bacia adotada no estudo, com mais de 18 quilômetros de extensão. O exultório coincide com a Cachoeira Casca D'Anta, onde o rio São Francisco apresenta uma queda d'água com aproximadamente 200 metros, por conta de uma falha de empurrão (CHAVES; BENITZ; ANDRADE, 2009).

Figura 17 - Localização e detalhamento fotográfico da Nascente GP1.



As imagens seguintes descrevem a nascente GP2 por fotografias aéreas e em solo. A nascente está representada em várias épocas do ano, inclusive, pós-queimada e primeiras chuvas. Como na nascente anteriormente apresentada, os procedimentos se repetiram, acrescentando a coleta de amostra indeformada. As fotos também ilustram os procedimentos de medição da vazão, em que se fez necessário uma intervenção de forma a criar um declive para encaixe da calha e proveta.

Esta nascente encontra-se próxima a outro ponto de visitação bastante acessado pelos turistas, o “Curral de Pedras”. Está a 11,5 quilômetros da Portaria 1, a 1433 metros de altitude, e, em períodos úmidos, fica a apenas 25 metros da estrada. Igualmente à GP1, esta nascente também apresenta mobilidade deslocando-se aproximadamente 130 metros à montante nos meses secos. Neste trecho do canal, apresenta maior espessura do material de cobertura e, portanto, sustenta uma exuberância da sua vegetação e maior número de indivíduos.

Levando-se em consideração o ponto onde se inicia o fluxo de água, a GP2 apresenta uma feição diferente das demais. Os primeiros indícios de fluxo fluem a partir de uma forma erosiva que configura uma cabeceira de drenagem com retração das paredes (2 metros aproximadamente) em forma de dígitos (Figura 18), com ocorrência de solapamento basal de suas paredes e formação de alcovas. Desta feição, em meio à vegetação, surgem vários princípios de canais configurando uma exfiltração difusa, que logo conforma um caminho preferencial, pelo qual foram tomados os valores de vazão.

O referido curso d'água nomeado de Córrego Retiro das Posses (IBGE, 1970) é afluente da margem direita do rio São Francisco. Desagua nele depois de drenar por 5,5 quilômetros, com maiores contribuições para sua vazão oriunda da margem direita, coincidindo com a estrada, a qual se situa paralela ao córrego ao longo de 500 metros.

Figura 18 - Localização e detalhamento fotográfico da Nascente GP2.



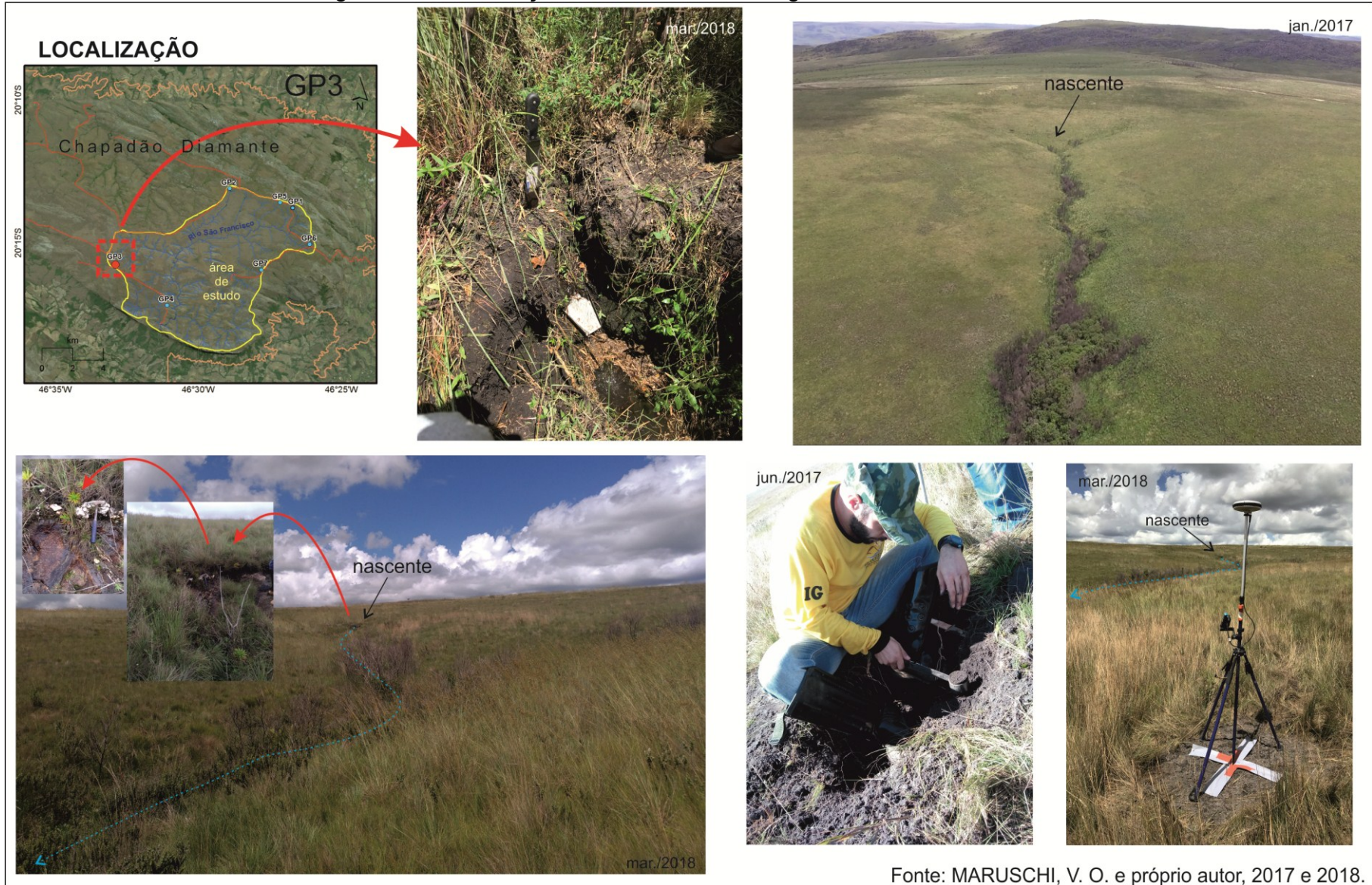
A Figura 19 apresenta a nascente GP3. As fotografias sintetizam parte dos procedimentos de campo que foram desenvolvidos nesta nascente, sendo comuns às outras nascentes.

Esta nascente está a 22 quilômetros da portaria principal (Portaria 1). Situa-se no trajeto que leva os turistas à parte alta da cachoeira Casca D'Anta, a 5,5 quilômetros dela. É uma nascente que também apresenta mobilidade entre períodos secos e úmidos. Sendo assim, em época úmida se aproxima da estrada, cerca de 150 metros, a 1395 metros de altitude. Já nos períodos secos, desloca-se 190 metros à jusante. Neste trecho apresenta uma cobertura mais espessa, caracterizada por um material aluvial depositado no canal, conservando umidade e sustentando a vegetação de raízes mais profundas.

Esta é uma nascente de exfiltração tipo múltipla, onde é possível notar duas incisões na cabeceira de drenagem, cada uma com um ponto de exfiltração. O principio da nascente se dá pelo contato entre a fina camada de material inconsolidado com a rocha, o que a caracteriza como nascente de afloramento. Nesta situação, a vazão foi medida na união dos dois princípios de fluxo, onde há um fluxo preferencial configurado.

Este canal de primeira ordem é afluente da margem direita do rio São Francisco. Percorre por quase 5 quilômetros áreas de afloramento do quartzito facilmente visíveis por imagens de satélite e aéreas, até desaguar no referido rio.

Figura 19 - Localização e detalhamento fotográfico da Nascente GP3.



Fonte: MARUSCHI, V. O. e próprio autor, 2017 e 2018.

A imagem seguinte exhibe a nascente GP4 sob vários pontos de visada. O mosaico fotográfico (Figura 20) é composto por imagens aéreas e em solo, coleta de amostras e sobrevoo para varredura.

Esta é a nascente mais distante da Portaria 1 (26,2 quilômetros), e mais próxima da cachoeira Casca d'Anta. Desde o ponto inicial de fluxo, em época de chuvas, até a cachoeira são 3 quilômetros. Sob este regime hídrico, a nascente situa a 1284 metros de altitude. Exceto a nascente GP1, que dá origem ao rio São Francisco na Serra da Canastra, a GP4 é a mais próxima do canal principal, com apenas 506 metros de distância até desaguar nele. Em época seca a área de exfiltração desloca-se à jusante por 100 metros, mostrando ser uma nascente móvel.

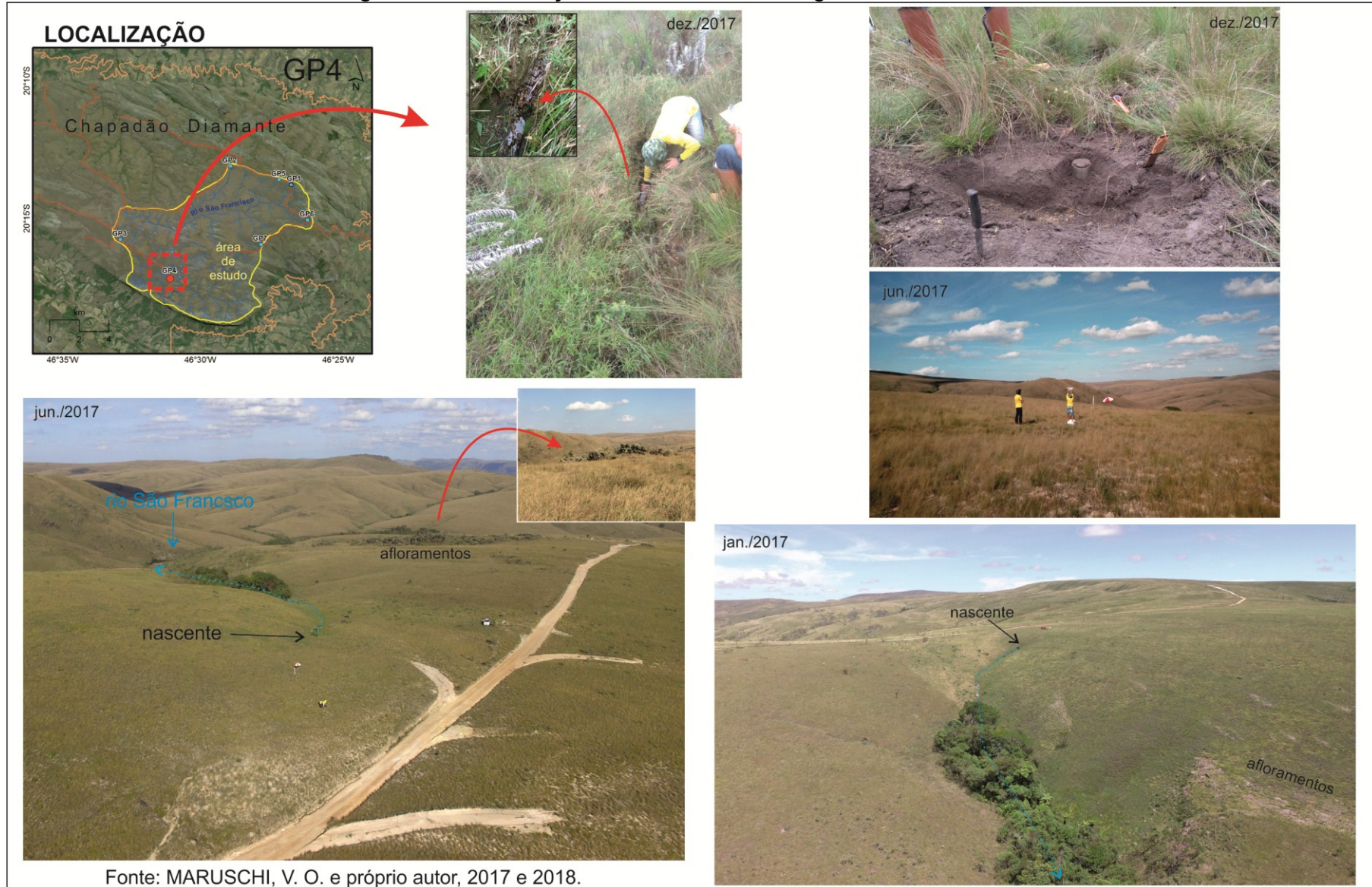
O curso d'água originado por esta nascente drena por um relevo mais encaixado. Ao observar os afloramentos rochosos, verifica-se que o encaixe da drenagem está fortemente vinculado à estruturação da litologia local. Mesmo com o alto gradiente topográfico entre nascente e foz deste canal de primeira ordem, a mobilidade não se mostra tão extensa como os demais canais aqui analisados, o que pode estar vinculado aos representativos bancos de deposição.

Nestes pontos de maior acumulação coluvial, observaram-se armazenamento representativo de umidade e, conseqüentemente, vegetação de maior porte. Ainda ocorre o desaparecimento do fluxo do canal, com seu ressurgimento metros abaixo.

O tipo de exfiltração observada é pontual. Como na GP3, esta também ocorre pelo contato entre material de cobertura e afloramento rochoso. Notaram-se também rupturas de declive ao longo dos primeiros metros da drenagem, cujos degraus originam-se pelo afloramento do quartzito arqueado.

Esta nascente está localizada a 63 metros da estrada. Observações em campo, análise de imagens aéreas e perfis topográficos de detalhe possibilitaram ratificar a ocorrência de grande contribuição de sedimentos carreados a partir da estrada, direcionando-se diretamente para a nascente, e, posteriormente para a jusante do canal.

Figura 20 - Localização e detalhamento fotográfico da Nascente GP4.



A Figura 21 tem o escopo de ilustrar as características da nascente GP5, no contexto mais amplo na paisagem ou de forma mais detalhada.

Esta nascente fica a 8.190 metros da portaria principal do PNSC. É também o principio de drenagem que mais se aproxima da nascente GP1 (menos de 1 quilômetro em linha reta). Desagua no rio São Francisco, depois de percorrer 2.230 metros.

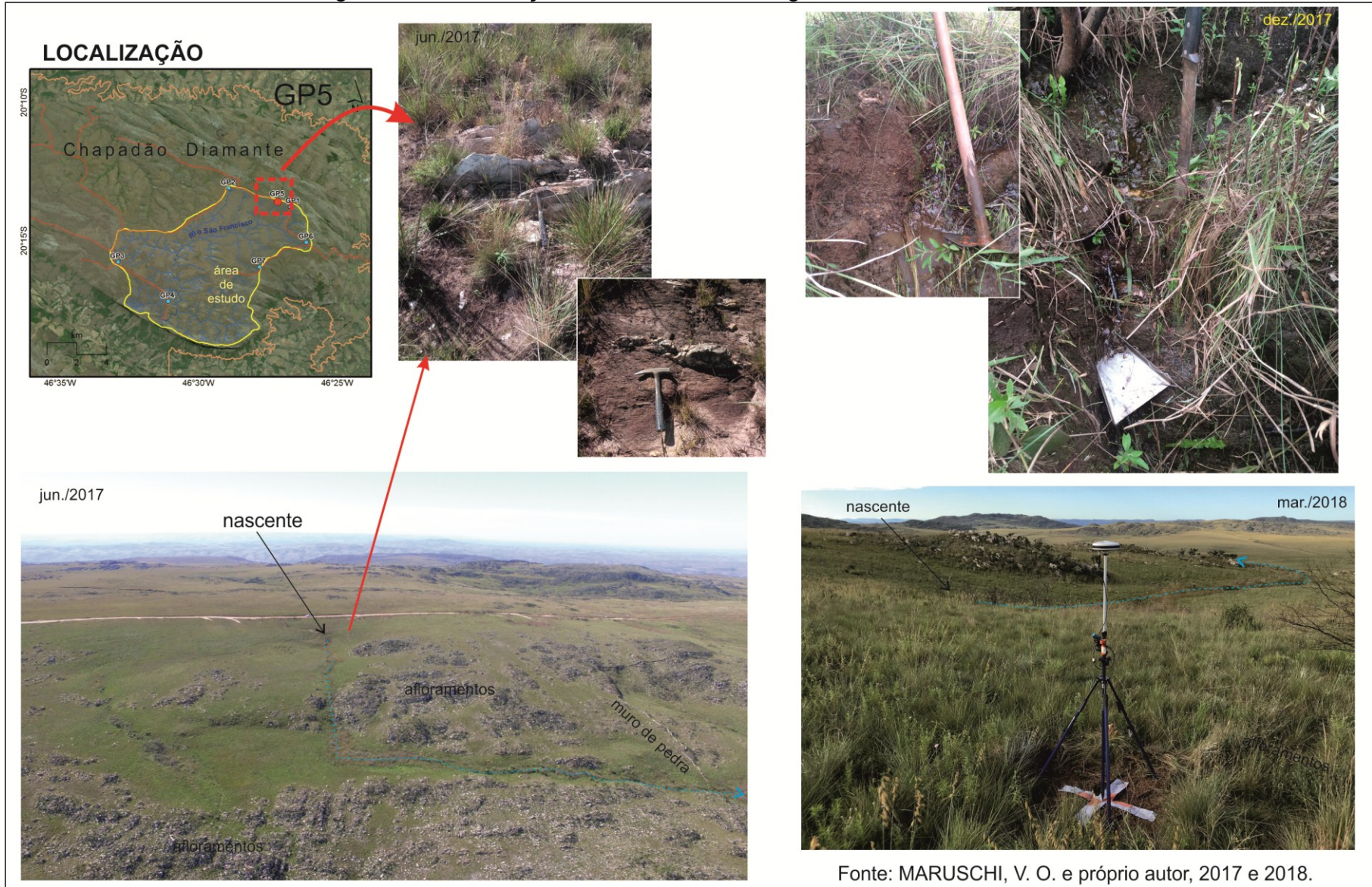
Em épocas de chuvas, sua exfiltração acontece numa ruptura de declive, que marca o contato solo/rocha, caracterizando uma nascente de afloramento. Em períodos secos, a nascente migra à jusante cerca de 200 metros, o que a caracteriza como nascente móvel.

A exfiltração que ocorre nesta nascente é do tipo pontual e localiza-se a uma altitude de 1.482 metros. Os primeiros metros deste canal de primeira ordem drenam por uma zona de fraqueza litológica entre duas áreas de afloramentos expressivos, que, após percorrer pouco mais de 200 metros, sofre uma mudança de direção num ângulo reto. Tais configurações nos indica ser uma drenagem fortemente condicionada pela estruturação litológica.

Nos meses úmidos, a nascente se aproxima muito da estrada, cerca de 80 metros. Pelas observações em campo e análises de fotos aéreas, verifica-se que a topografia desta área colabora sobremaneira para o carreamento de sedimentos, sobretudo, aqueles produzidos pela estrada. Somam-se ao fator natural, as intervenções promovidas pelas atividades de manutenção da estrada.

Por outro lado, nos afloramentos presentes nas adjacências da nascente foram observados diversos veios quartzíticos mais resistentes sobressalentes na massa rochosa. Nestas áreas, sua organização dentro da massa litológica, ou seja, a direção e ângulo de mergulho favorecem a barragem de sedimentos.

Figura 21 - Localização e detalhamento fotográfico da Nascente GP5.



Fonte: MARUSCHI, V. O. e próprio autor, 2017 e 2018.

Como mostra a Figura 22, a nascente GP6 ocorre na estrada, o que dificultou a medida de vazão e exigiu adaptação para encaixar a calha. Esta nascente se encontra a 1.381 metros de altitude além de ser a mais próxima da Portaria 1, em torno de 4 quilômetros. Também é responsável por compor os primeiros canais a desaguar no rio São Francisco, pela sua margem esquerda.

As observações possibilitaram entender que a exfiltração lá presente está vinculada às atividades de manutenção da estrada, que neste ponto corta uma área úmida. Baseando-se na espessura do barranco exposto nas proximidades (cerca de 50 centímetros), somado à situação da estrada, construída numa vertente longa e declivosa, onde o escoamento superficial gera inúmeros sulcos e ravinas, é necessário constante raspagem por tratores para tentativa de retificação da área. Contudo, esta ação rebaixa a superfície e expõe os fluxos subsuperficiais.

Esta nascente antropogênica passa por diversas alterações ao longo do tempo. Foi observado durante as idas a campo que, a mesma nascente que, em algumas situações é exposta, em outros momentos é soterrada pelo empilhamento do material de cobertura carregado pelos tratores. Seu curto percurso também sofre alterações. Já foram verificados alguns períodos em que suas águas se direcionavam para a estrada, criando poças, e, em outras ocasiões, verificaram-se que foi criado um caminho preferencial para que a nascente desaguasse no canal mais próximo, a 40 metros.

Figura 22 - Localização e detalhamento fotográfico da Nascente GP6.



A nascente GP7 está representada na Figura 23. As fotografias mostram as diversas etapas e procedimentos realizados.

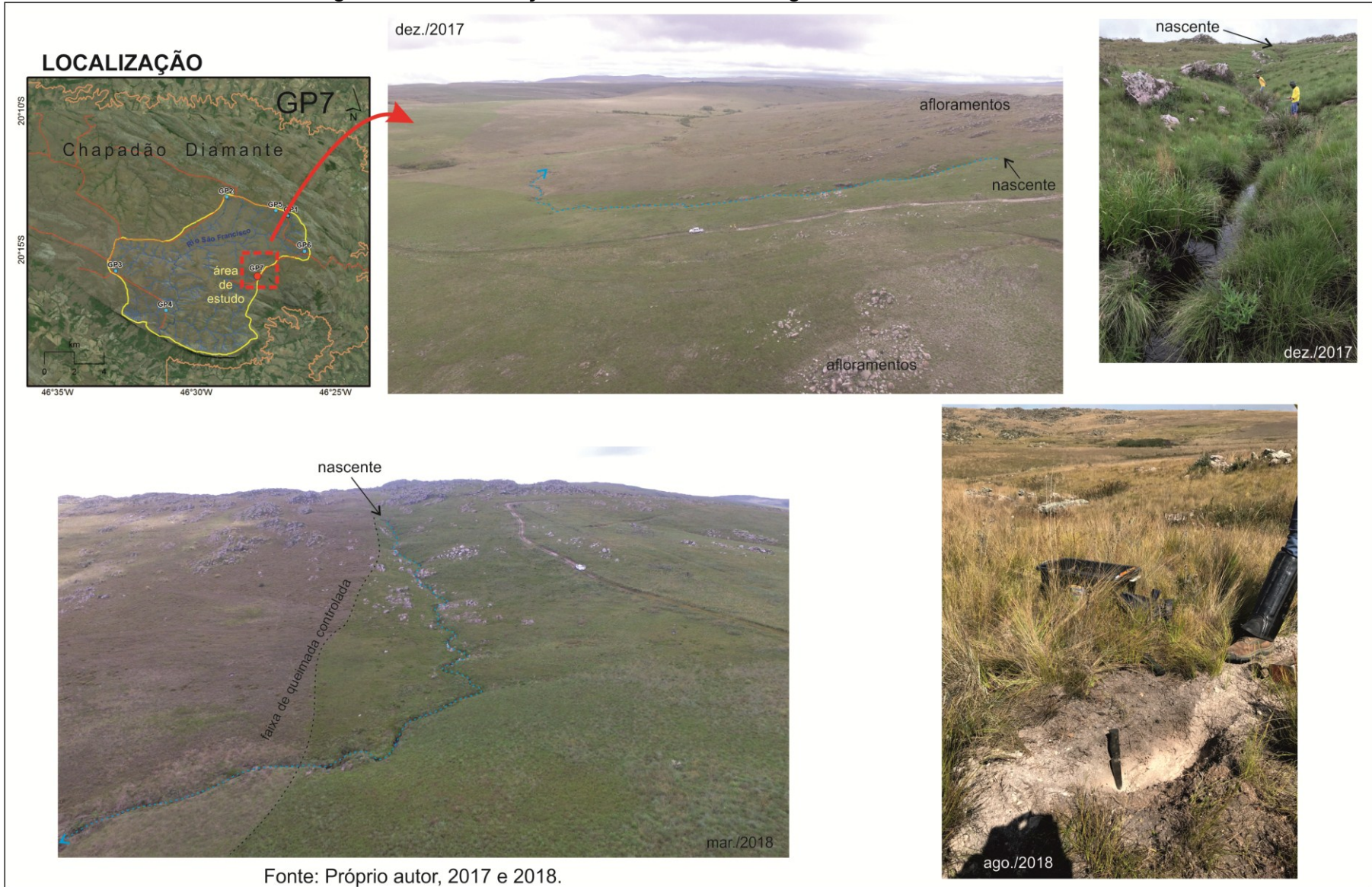
Este canal de primeira ordem dista quase 8 quilômetros da portaria principal do PNSC. A sua exfiltração ocorre de forma pontual a 1.425 metros de altitude. Este curso d'água inicia-se pela saída de água no contato entre o material de cobertura e a rocha subjacente, nas proximidades de um grande afloramento, responsável pelo topo da vertente onde o curso se encaixa.

Nos metros iniciais do canal, ocorre a oscilação da sua fluência. Nos meses úmidos a nascente está no seu ponto mais alto e nos meses secos, está a 240 metros à jusante, caracterizando-a como nascente móvel. O desague deste canal no rio São Francisco ocorre após drenar por mais de 4 quilômetros, sendo um afluente da margem esquerda deste rio.

Diferente das demais nascentes abordadas neste estudo, a GP7 se localiza numa área com menor probabilidade de interferência por estradas, já que é de acesso restrito. Entretanto, ao observar imagens aéreas, nota-se uma faixa com coloração diferenciada na vegetação, que demarca as queimadas controladas, gerenciadas pela administração do parque.

A presença de afloramentos nas margens e no canal funciona como barreiras de difícil transposição, obrigando o canal buscar novos caminhos. Como resposta a esta peculiaridade, se vê uma drenagem com várias curvas muito angulosas, todas elas condicionadas pela imposição rochosa ao longo do percurso.

Figura 23 - Localização e detalhamento fotográfico da Nascente GP7.



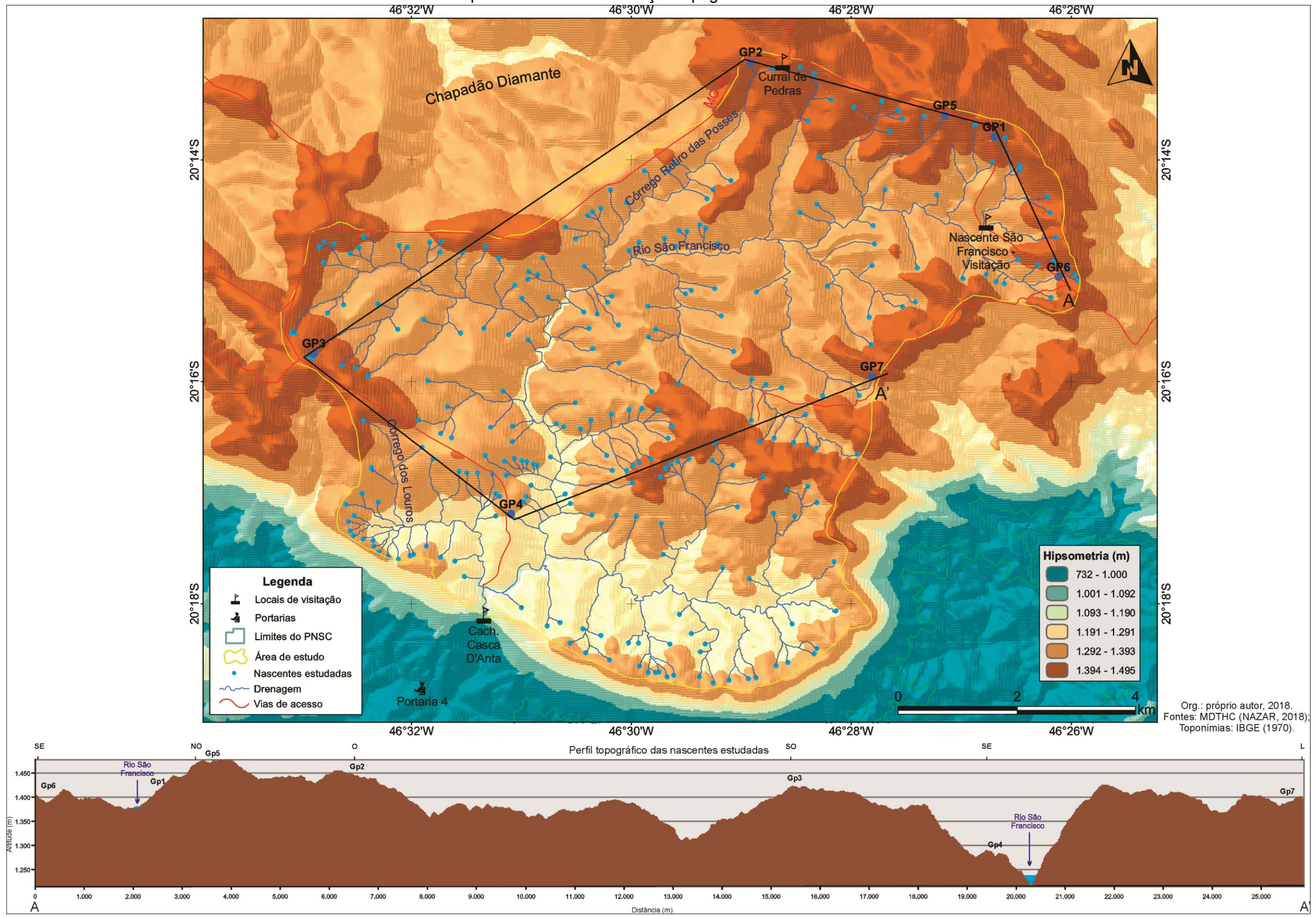
Com o escopo de traçar uma descrição topográfica e comparativa entre as sete nascentes, o Mapa 4 apresenta, um extenso transecto que se inicia em “A” e finda em “A’”, perpassando por todas as nascentes.

Observando o perfil topográfico da imagem, nota-se que as nascentes GP5 e GP1 estão situadas em regiões mais altas, acima de 1450 metros de altitude. Em posição intermediária têm-se as nascentes GP6, GP3, GP7 e GP2, que se situam em 1389,1420, 1410 e 1436 metros de altitude, respectivamente. Já a nascente GP4, encontra-se em posição mais rebaixada no relevo (1292m), nas proximidades da Cachoeira Casca D’Anta, onde o Rio São Francisco drena numa cota de 1200 metros de altitude, aproximadamente.

A nascente GP4 encontra-se mais próximo ao exultório e ao canal principal, denotando uma maior influência da dissecação do relevo pelo rio São Francisco. Em contrapartida, nascentes mais distantes da Casca D’Anta (exultório) estão em porções mais elevadas do relevo, como a GP2, GP5, GP1.

Carece destaque a nascente GP6, cujas avaliações indicam que ela originou-se justamente pela intervenção humana, o que rompe os modelos naturais de surgimento de uma nascente. No que diz respeito à atividade antrópica nas nascentes, embora em algumas delas não seja evidente, de forma indireta, a atividade de manutenção das estradas (raspagem para atenuar os buracos) e criação de valetas para drenagem pluvial promove a descarga de escoamento e sedimentos nas nascentes.

Mapa 4 - Transecto de situação topográfica das nascentes.



Tratando-se da origem das nascentes destacam Valente e Gomes (2011, p. 117) que “em muitos casos fica difícil enquadrar a nascente em um único dos modelos citados”. Podem ocorrer situações em que a nascente apresente mais de uma maneira de surgimento. Comparando à classificação dos autores acima, as sete nascentes originam-se pela interceptação do lençol freático, sobretudo, pelo contato de camadas impermeáveis com a superfície.

Quanto aos tipos de exfiltração há uma grande variação. Duas (GP3 e GP4) são múltiplas, pois, possuem mais de um ponto de exfiltração. Três são do tipo pontuais (GP5, GP6 e GP7), ou seja, concentra sua exfiltração em um único ponto. E outras duas (GP1 e GP2) são do tipo difusa, por não apresentarem uma área facilmente identificável de saída de água.

A avaliação sobre mobilidade considera se a nascente se desloca topograficamente ao longo do ano. Desta maneira, seis nascentes apresentam características de mobilidade conforme as variações sazonais, se deslocando vertente abaixo ao longo das estações do ano. Apenas a nascente GP6 é do tipo fixa, por se localizar no mesmo ponto ao longo de todo o ano.

Quanto à sazonalidade, as nascentes podem ser intermitentes ou perenes. Nos casos discutidos neste trabalho, seis nascentes são intermitentes e uma é perene, apesar de, neste último ano, ela ter sofrido intervenção que culminou com a redução do seu fluxo, a ponto de não ser possível quantificar sua vazão. Dados são apresentados nos capítulos seguintes que auxiliam esta classificação.

Baseando-se em Felipe (2009) no que diz respeito à morfologia das nascentes, verifica-se um predomínio daquelas controladas por questões litoestruturais. Isso vai ao encontro das principais características da Serra da Canastra, fortemente controlada pela litologia derivada dos processos de metamorfismo. Cinco nascentes são caracterizadas pelo surgimento graças a afloramento rochoso (GP1, GP3, GP4, GP5 e GP7), uma é antrópica (GP6), ou seja, vinculada à ação humana e uma nascente tem sua morfologia do tipo concavidade (GP2).

8. GEOMORFOMETRIA DAS NASCENTES

A Geomorfometria é uma ciência interdisciplinar com grande capacidade de oferecer inúmeros recursos para a quantificação de elementos do meio físico relacionados à superfície terrestre. Desta maneira, como destacam Silva *et al.* (2017), ela apresenta alta aptidão para auxiliar no mapeamento, modelagem e diagnósticos/prognósticos ambientais ligados à topografia de qualquer paisagem

O uso da Geomorfometria na Geografia Física é destacado, dentre outras áreas, mormente na Geomorfologia. Esta se singulariza pelo seu caráter articulador e integrativo entre componentes bióticos e abióticos, sobretudo aqueles condicionados pela ação antrópica. Entretanto, dotam-se de caráter científico e mais rigoroso, os estudos embasados por esta ciência que busca quantificar e parametrizar a superfície terrestre (SILVA; OKA-FIORI; SILVEIRA, 2017).

Conforme preconiza Valeriano (2003, p. 539), “os dados topográficos são fonte de muitas variáveis importantes e frequentemente solicitadas nas análises ambientais aplicadas a microbacias”. Neste âmbito, Silva *et al.* (2017) chamam a atenção aos VANT's que são equipamentos importantes para gerar base de dados na elaboração de modelos digitais, derivando em parâmetros morfométricos. Os autores ainda enfatizam que a crescente disponibilização de fontes de dados seja de origem terrestre ou orbital é muito promissora. (SILVA; OKA-FIORI; SILVEIRA, 2017).

Frente ao cenário apresentado, a cobertura fotográfica aérea com VANT, foi base para a construção de modelos topográficos de superfície (MDS) com alta resolução espacial. Associados às ortofotos, estes dados favorecem a observação de/em detalhes nas/das microformas das áreas de cabeceiras selecionadas neste estudo, já que, em pequenas distâncias, as formas podem se diferenciar bastante umas das outras. A obtenção das informações derivadas das bases supracitadas foi realizada em ambiente SIG.

Baseando-se em Silva *et al.* (2017, p. 572), destaca-se também a importância dos trabalhos de campo. Segundo os autores, “independente do parâmetro geomorfológico gerado e suas eventuais aplicações, sua validação torna-se imprescindível”.

As características das vertentes, seja de inclinação ou comprimento, são importantes fatores para o comportamento da água após a precipitação. A

quantidade de água infiltrada e a velocidade do escoamento estão condicionadas pelas configurações das vertentes, que por sua vez, estão diretamente vinculadas ao reabastecimento subterrâneo e ao desencadeamento de processos erosivos.

Neste âmbito, destaca-se que as observações *in loco* possibilitaram avaliar feições do relevo, além de fundamentar as teorias a respeito da dinâmica da água em determinadas áreas das cabeceiras. Ademais, as feições possuem um papel de extrema importância para a gênese de uma nascente. Neste capítulo, é dado destaque aos modelos digitais das sete nascentes em pesquisa.

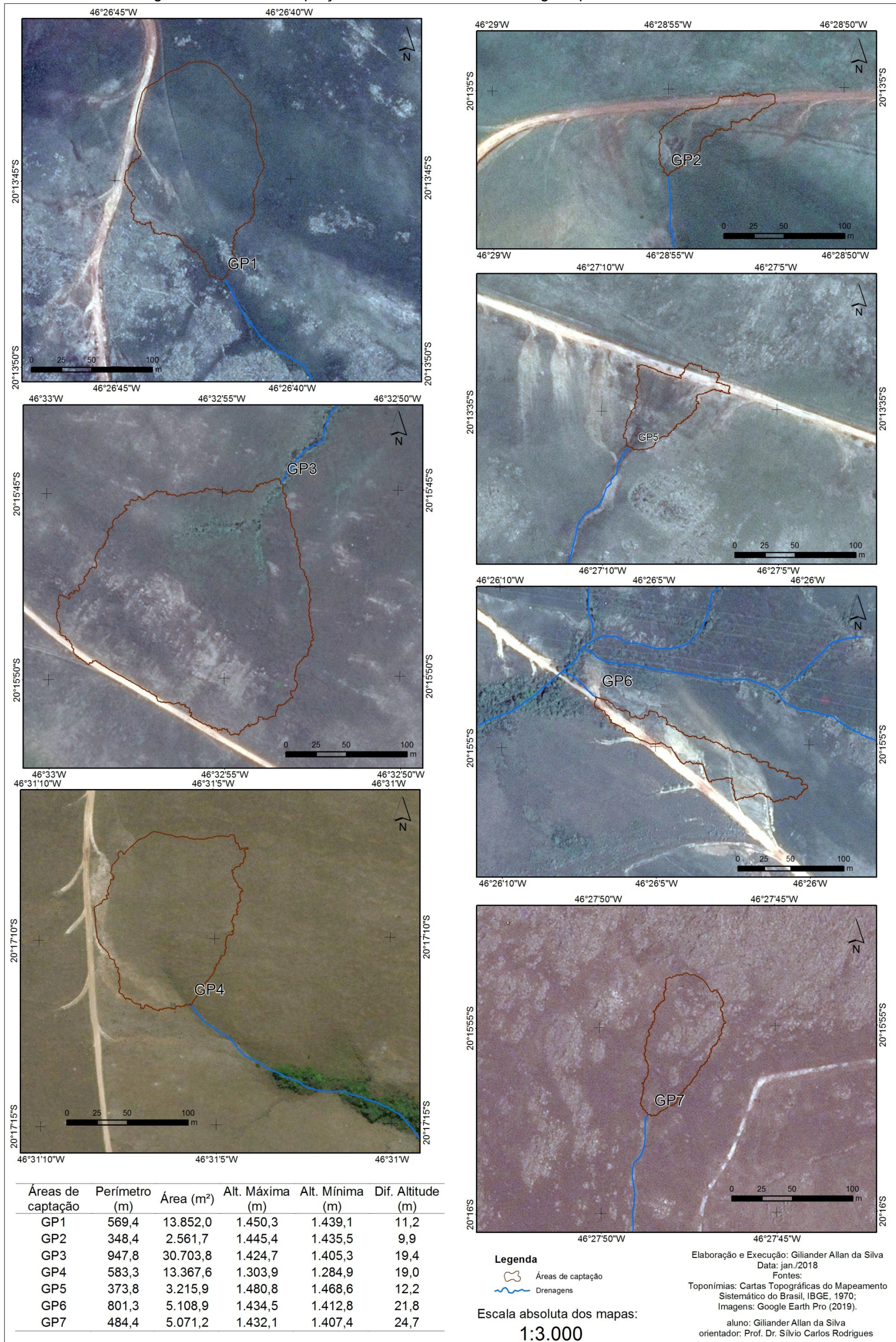
8.1. Parâmetros morfométricos

Em estudos expoentes na temática, Dunne (1978) já enfatizava os levantamentos sobre as áreas das bacias de captação. Segundo ele, o tamanho da área da bacia é imprescindível uma vez que a área de captação exerce fundamental importância para que o fluxo de um canal de primeira ordem dure por mais tempo após um episódio chuvoso.

A Figura 24 apresenta ilustrações com as áreas de captação das nascentes e dados quantitativos. Além da tabela que representa parte dos dados morfométricos, o croqui mostra as sete nascentes em mesma escala, o que possibilita uma comparação para além das grandezas numéricas. Ademais, as adjacências de cada princípio de curso d'água são evidentes, o que favorece uma análise das condições das áreas circunvizinhas, dada sua importância.

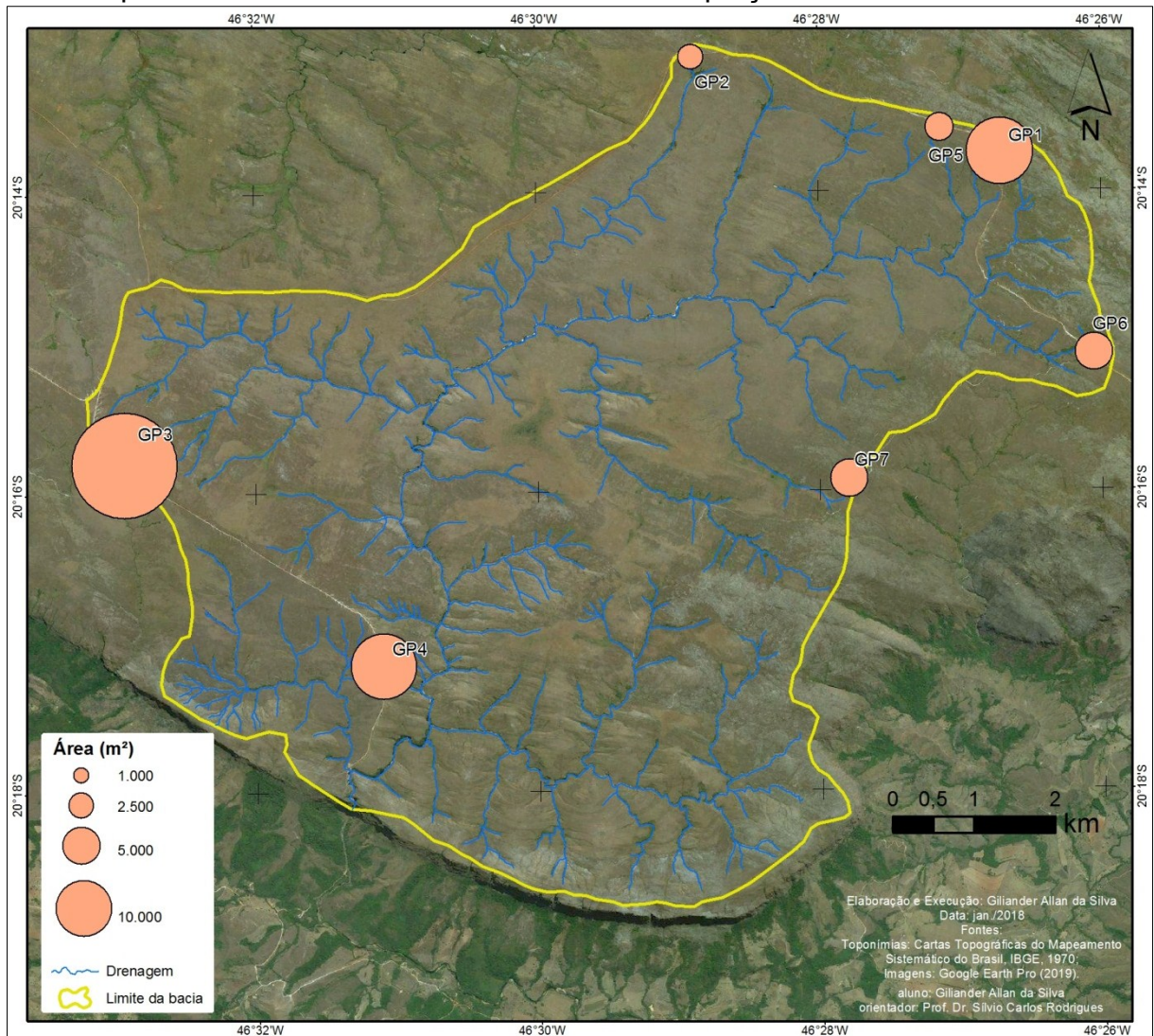
Nota-se grande distinção entre as formas de cada área de captação. Dentre fatores naturais, a presença de afloramentos rochosos e o entalhamento da drenagem, contribuem para a configuração das áreas de captação. Contudo, apenas a área da nascente GP7 não demonstra sofrer influência direta de estradas. Em contrapartida, as outras seis nascentes denotam algum tipo de inconformidade na sua composição. Silva (2018) nomeia como Assinaturas Topográficas Humanas (ATH's) as modificações no modelado do relevo, promovidas pela atividade humana. Em meio às variadas atividades apontadas pelo autor, nas áreas das nascentes em questão, a maior alteração está vinculada às estradas e atividades de manutenção derivadas. O Mapa 5 ilustra gradualmente o tamanho das áreas de captação de cada nascente estudada, a partir de uma comparação mais regional e geográfica.

Figura 24 - Áreas de captação das sete nascentes com alguns parâmetros morfométricos.



As sete áreas de captação estão inseridas em uma Unidade de Conservação que é o Parque Nacional da Serra da Canastra. A visitação é permitida obedecendo-se as regras de seu Plano de Manejo, que indica as áreas de acesso permitido e proibido. No entanto, o acesso a estes atrativos, na maioria, vinculados a cachoeiras, afloramentos rochosos, sítios arqueológicos e mirantes, ocorre por deslocamentos por estradas de rodagem sem pavimentação, e que, em geral, secciona materiais superficiais pouco resistentes aos processos erosivos. Desta maneira, constantemente, é necessária a tarefa de corrigir o leito carroçável acometido por feições erosivas severas. No relevo, resulta no rebaixamento do leito da estrada e aumento do talude de corte, além da criação de inúmeras saídas de água da drenagem pluvial.

Mapa 5 - Tamanho em escala das áreas de captação das sete nascentes.



As cabeceiras GP3, GP1 e GP4 possuem as maiores áreas de captação. Opostamente, GP2 e GP5 são as menores áreas. Estas duas cabeceiras possuem

rupturas de declive ao longo da região delimitada como área de captação. As áreas da GP6 e GP7 apresentam as maiores diferenças topográficas, sendo que, na GP6 esta configuração esta vinculada à amplitude da vertente e a forma afinada da bacia, condicionada pela estrada. Já a GP7 tem o maior desnível atrelado ao interflúvio composto primordialmente por afloramentos rochosos.

Na relação área de captação e perímetro, verifica-se grande conformidade, em que, maiores áreas representam maiores perímetros, exceto na área da GP6. Observa-se que a influencia antrópica na configuração da nascente caracteriza um grande perímetro e pequena área. Para estes sete exemplos, conclui-se que, quanto maior a influencia da estrada na configuração da bacia, maior é a diferença na relação entre a área de captação e o perímetro. Estas formas disformes impactam sobremaneira nas taxas de escoamento superficial e no aporte de sedimentos.

Outro parâmetro que pode colaborar sobremaneira na análise das cabeceiras de drenagem é o coeficiente de compacidade (Kc). Ele relaciona-se à forma da bacia, então, quanto mais próximo de 1 for o valor de Kc, mais arredondadas serão as bacias, por outro lado, valores muito abaixo de 1, referem-se a uma bacia alongada e estreita (VALENTE; GOMES, 2011). Nesta perspectiva, bacias com formas mais arredondadas são predispostas a concentrar maior volume de água nos seus cursos em menor intervalo de tempo, tendendo a picos de enchente. Cabe também esclarecer que este é um atributo natural, e os valores exacerbados correspondem às áreas de captação com interferência das estradas, especialmente na nascente GP6. A Tabela 6 apresenta os valores do Coeficiente de Compacidade (Kc) das áreas de contribuição das nascentes em discussão.

Tabela 6 - Coeficiente de Compacidade (Kc) das áreas de contribuição das nascentes.

Nascente	Coeficiente de compacidade (Kc)
GP1	1,35
GP2	1,93
GP3	1,51
GP4	1,41
GP5	1,85
GP6	3,14
GP7	1,90

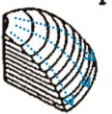
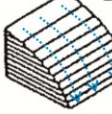
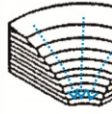



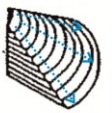
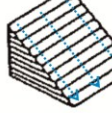
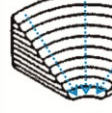



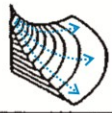
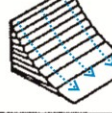
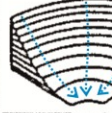



Fonte: Próprio autor (2018).

Conforme os dados acima, as nascentes GP1, GP3 e GP4 tendem a áreas mais arredondadas, se comparadas às áreas de captação das demais. Nota-se

também que a existência de estrada nas áreas de contribuição interfere sobremaneira neste índice já que a estrada promove alteração na topografia local e, além disso, direciona o fluxo de água. Devido ao seu caráter antropogênico, a nascente GP6 mostra um valor de K_c alto, que subjuga uma área com baixíssima tendência à gerar enchentes em curto prazo, embora se sabe que as estradas tem superfícies muito compactadas e canais preferenciais, que, em associação, aumentam as taxas de escoamento superficial e os aceleram. Desta maneira, este parâmetro é inválido para áreas com interferência humana.

Remontam de 1970 e 1980 os estudos sobre a influência das formas do relevo na dinâmica hidrológica. Assim, foram preconizados modelos de formas das vertentes, os quais podem ser vistos na Figura 25, pela combinação entre a curvatura vertical e horizontal e, curvatura longitudinal e transversal elucidando as várias formas que podem representar a microtopografia de uma vertente. Elas caracterizam-se por ser concentradoras ou dispersoras de fluxo, ou então, retilíneas, ou seja, neutras. Também podem distinguir-se por áreas de retirada ou acúmulo de sedimentos, sendo que, estes fatores podem influenciar grandemente na profundidade e propriedade das geocoberturas, na sustentação de vegetação, entre outros fatores. Neste sentido, as formas dispersoras ou concentradoras de fluxo, influenciam sobremaneira na dinâmica de alimentação das nascentes e canais de drenagem. O Quadro 1 mostra o comportamento hidrológico superficial nas 9 formas de vertente estabelecidas pela curvatura vertical e horizontal.

Figura 25 - Formas de vertentes: Curvatura vertical e horizontal (à esquerda); Curvatura longitudinal e transversal (à direita).

		Countour line					
		Divergent	Straight	Convergent	Convexo	Retilíneo	Côncavo
Flow line	Convex	 I	 IV	 VII			
	Straight	 II	 V	 VIII			
	Concave	 III	 VI	 IX			

Fontes: Modificado de Tsukamoto e Minematsu (1987); Vasconcelos (2012, p. 176).

Quadro 1 - Classificação do comportamento hidrológico de superfície nas nove formas.

FM	Perfil	Planta	Fluxo Resultante	Domínio
1	CV	CV	Hiperdispensor	Dispersão
2	CV	R	Mesodispensor Longitudinal	
3	CV	CC	Hipodispensor	
4	R	CV	Mesodispensor Radial	
5	R	R	Transição ou Neutro	Transição
6	R	CC	Mesoconcentrador Radial	Concentração
7	CC	CV	Hipoconcentrador	
8	CC	R	Mesoconcentrador Long.	
9	CC	CC	Hiperconcentrador	

Fonte: Nepomuceno; Luchiari (2015) adaptado de Colângelo (1996). CC:convexo; R: retilíneo; CC: côncavo.

De acordo com o mapeamento dos perfis de curvatura vertical elaborado por Nazar (2018), verifica-se que as coberturas enriquecidas em ferro (vermelho na Tabela 7) possuem as menores variações entre vertentes côncavas, retilíneas e convexas. Em outras palavras, os perfis concrecionados condicionam relevo mais plano, que por sua vez tende a se perpetuar pelo acúmulo de água e ciclagem deste elemento cimentante.

Tabela 7 - Estatística aos valores de curvatura vertical em cada classe de geocobertura do ChD.

Classes	MIN	MAX	Range	Média	Desvio Padrão
(1) Materiais cascalho-arenosos com concreções ferruginosas	-0,87	1,30	2,16	-0,02	0,09
(2) Materiais de bioturbação (campos de murunduns) indiferenciados	-0,87	1,97	2,84	0,00	0,15
(3) Materiais orgânicos (turfeiras) associados a fundos de vale e áreas úmidas	-1,49	6,09	7,57	0,08	0,26
(4) Materiais areno-argilosos indiferenciados	-0,89	2,16	3,06	0,00	0,16
(5) Afloramentos rochosos	-2,01	5,92	7,93	-0,04	0,26
(6) Materiais cascalho-arenosos indiferenciados	-1,31	5,15	6,46	0,00	0,22
(7) Materiais de bioturbação (campos de murunduns) ferruginosos ou com concreções ferruginosas	-0,96	2,16	3,12	-0,02	0,10
(8) Materiais cascalho-arenosos com caos de blocos	-2,97	7,59	10,56	-0,02	0,25
(9) Materiais coluviais indiferenciados	-2,26	5,85	8,11	0,04	0,35
(10) Materiais areno-argilo-ferruginosos ou com concreções ferruginosas	-0,81	1,00	1,81	-0,02	0,07
(11) Materiais cascalho-arenosos com camada orgânica	-0,88	3,69	4,57	0,00	0,17

Fonte: Nazar (2018, p. 189).

Valores mais altos de desvio padrão, ou seja, muito variáveis (cor amarela) entre as formas do perfil vertical das vertentes estão vinculados à regiões

estruturadas pela marcante presença dos afloramentos de rochas resistentes. A variação entre as formas corresponde às erosões que atuam em áreas de menor fraqueza, tornando o relevo mais movimentado.

Valores da média próximos de zero (cor azul) indica vertentes retilíneas. Estas, de forma geral, estão vinculadas a presença de matéria orgânica, cuja ocorrência é vinculada à possibilidade de retenção hídrica e aporte de vegetação para decomposição.

Em duas dimensões, seguem-se esquemas para cada uma das sete nascentes que apresenta 5 perfis topográficos extraídos nas áreas de cabeceiras, direcionando-se ao ponto ou zona de exfiltração. As imagens objetivam mostrar as formas e microformas das áreas adjacentes. Os modelos digitais em alta resolução conseguem destacar nos perfis pequenas formas de relevo ao longo da vertente de difícil observação em campo. Além disso, as atividades humanas realizadas na paisagem são evidenciadas nos perfis, mostrando que, as Assinaturas Topográficas Humanas (ATH's) promovem alterações substanciais na paisagem e que vão refletir na dinâmica da água superficial. Por consequência, estas intervenções também influem sobre o regime subsuperficial. As estradas, fundamentais para a existência e funcionamento do PNSC, e as atividades de manutenção (valetas de escoamento pluvial), direcionam o fluxo à nascente juntamente com os materiais por ele carreado.

Toda a configuração do relevo, seja natural ou com participação antrópica, desencadeiam processos que, em determinados momentos, podem trazer prejuízos à rede de drenagem. Ora pode suprimir nascente e assorear canais, também pode romper a conectividade hidrológica por redirecionar fluxos anteriormente estabelecidos, pode contribuir com os processos erosivos já que criam canais preferenciais.

Nesta situação foram utilizados os modelos digitais de elevação, considerando a presença e o efeito da vegetação. Conforme destaca Ibama (2005), no PNSC foram introduzidas várias espécies vegetais como o capim-gordura *Melinis minutiflora* (*Poaceae*), o capim-braquiária *Brachiaria decumbens* (*Poaceae*), *Pteridium aquilinum* (*Dennstaedtiaceae*) e *Gleichenia* sp., visando a prática agropecuária. Dentre elas, as duas primeiras são predominantes nas áreas de cabeceiras, cujas características morfológicas são raízes rasas e crescimento ereta e cespitosa, ou seja, organizada em densas touceiras (MARTINS; LEITE;

HARIDASAN, 2004). Ainda Medeiros e Fiedler (2004) apontam como um dos efeitos negativos das queimadas no PNSC, o entouceiramento de espécies esta característica de crescimento.

Entende-se que a própria configuração morfológica das plantas, em forma de touceiras é capaz de reter boa quantidade do volume escoado, além de criar pequenas zonas de deposição dos sedimentos retidos. Os perfis em detalhe vão mostrar as microformas e sua função como barreiras ao escoamento superficial, uma vez que ocorra um episódio chuvoso e a capacidade de campo seja superada. Por outro lado, as valetas de escoamento pluvial, além de direcionar o fluxo rumo à nascentes, também contribui no aporte de sedimentos. A seguir, apresenta-se a Figura 26, que exhibe os perfis da nascente GP1.

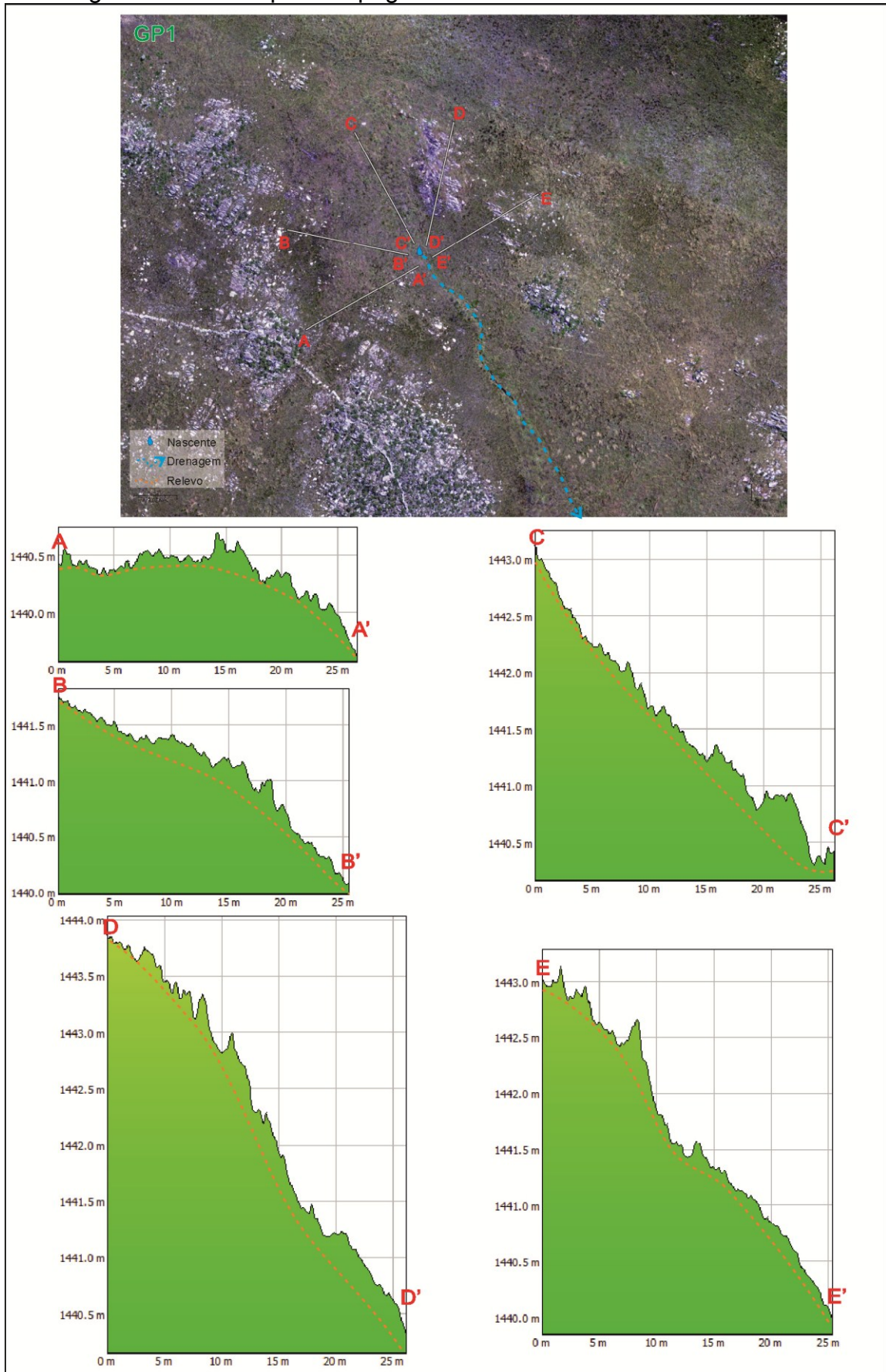
A fotografia aérea exhibe os afloramentos rochosos entremeados à vegetação. De forma geral, a cabeceira é desenvolvida pelo relevo ondulado e as cristas quartzíticas aflorantes nas duas margens, onde surge o ponto de exfiltração. Parte da drenagem evolui por mais de 200 metros estruturada por estes afloramentos em ambas as margens.

Os perfis A-A' e B-B', correspondentes à margem direita do canal, tem menor desnível topográfico.

No primeiro perfil, que descreve sentido SO-NE, O desnível do relevo não ultrapassa 0,8 m. A presença da vegetação garante um elevado nível de rugosidade. De 0 a 15 m, nota-se uma concavidade na topografia que demarca a zona de deposição coluvionar. Após os 15 metros, verifica-se uma região elevada, para posteriormente declinar mais intensamente rumo ao fundo de vale. Esta zona elevada representa o afloramento rochoso, que, neste caso, tem a função de barreira ao transporte de vertente, acumulando material à montante dele.

O segundo perfil tem um desnível de aproximadamente 1,5 m. Inicia-se na área de acumulação de sedimentos, que pode ser notada por uma rugosidade menos expressiva, já que os interstícios entre as touceiras são ocupados pelos sedimentos. Já na faixa intermediária do perfil (de 8 a 20 m), inicia-se um trecho de convexidade rumo à calha da drenagem, onde a vegetação se torna mais proeminente, já que são zonas menos favoráveis à acumulação de sedimentos.

Figura 26 – Cinco perfis topográficos na cabeceira da nascente GP1.



Fonte: próprio autor, (2017).

O perfil C-C' alinha-se com o canal de primeira ordem cujos descrevem direção NO-SE. À montante deste perfil praticamente retilíneo, uma valeta de escoamento pluvial oriunda da estrada perfaz o mesmo alinhamento, desta forma, acredita-se que a baixa rugosidade nos 15 metros iniciais tem origem na deposição dos sedimentos aportados por esta intervenção.

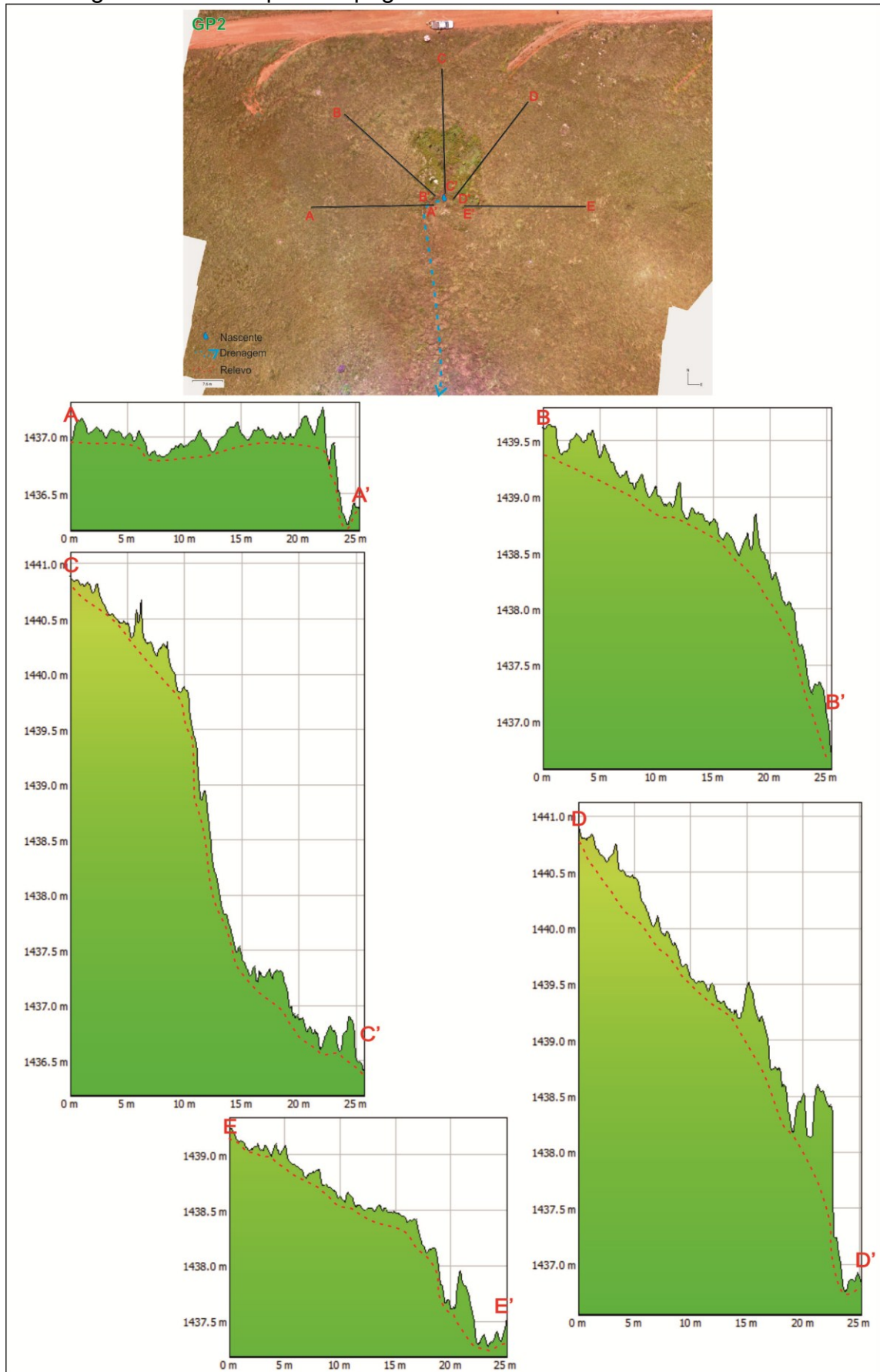
Os perfis D-D' e E-E' que compõem a margem esquerda, são os mais íngremes com desnível superior a 3 m. ao longo de 25 metros de distância. Na primeira secção, nos 3 metros iniciais, nota-se rugosidade baixa, graças aos depósitos de material de vertente por conta de um afloramento em contraforte, visto que a disposição das rochas é perpendicular à linha do perfil topográfico (observados em secções pontiagudas nos dois perfis em discussão). Quase 17 metros desta linha são dados sobre este expressivo afloramento, apresentando uma grande superfície praticamente impermeável, salvo nas porções em que o intemperismo já evoluiu nas fraturas das rochas, marcando no perfil maior rugosidade. Imediatamente abaixo do afloramento, a secção da vertente decai, com baixa rugosidade, por conta da deposição dos sedimentos oriundos do intemperismo das rochas em superfície.

O segundo perfil, que se alinha de NE-SO, inicia-se sobre afloramentos. Nos primeiros dez metros, apresenta um afloramento expressivo, perpendicular à linha de drenagem, e, imediatamente à montante dele, uma porção de terreno com rugosidade mínima, cuja direção e mergulho das rochas quartzíticas demonstram a função de barreira aos sedimentos por este afloramento. Após esta região proeminente, tem-se 10 metros de superfície menos rugosa rumo à cabeceira, com pouco mais de 1 metro de desnível.

A Figura 27 mostra a nascente GP2 e os perfis topográficos elaborados nas suas adjacências.

A cabeceira da nascente GP2 tem como características principais do relevo, topos aplainados com colinas suavizadas, com presença de concreções ferruginosas num determinado nível do material de cobertura. Além disso, onde se inicia o fluxo, há uma feição erosiva com retração da cabeceira em digitais.

Figura 27 - Cinco perfis topográficos na cabeceira da nascente GP2.



Fonte: próprio autor, (2017).

Os perfis que faz o traçado perpendicular à linha de drenagem (A-A' e E-E') não apresentam desnível considerado, menos de 2 metros de declive ao longo dos 25m. Em ambos os perfis, verifica-se a presença da vegetação entouceirada bem desenvolvida com intervalos esparsos, o que fica bem marcado no traçado do perfil de elevação. No primeiro trecho, A-A', o relevo é praticamente retilíneo, entretanto, no trecho de 7 a 8 metros, verifica-se uma região rebaixada/rebatida com 20 centímetros de profundidade, que, baseando-se nas observações em campo, denota a perda de material dissolvido, em subsuperfície e marca o trabalho geomorfológico da nascente. No trecho final do perfil, a queda topográfica demarca a borda da feição erosiva. No segundo perfil, o relevo é mais convexo, sobretudo quando se aproxima da feição erosiva, cujo perfil demonstra pontos com marcas de vegetação no seu interior.

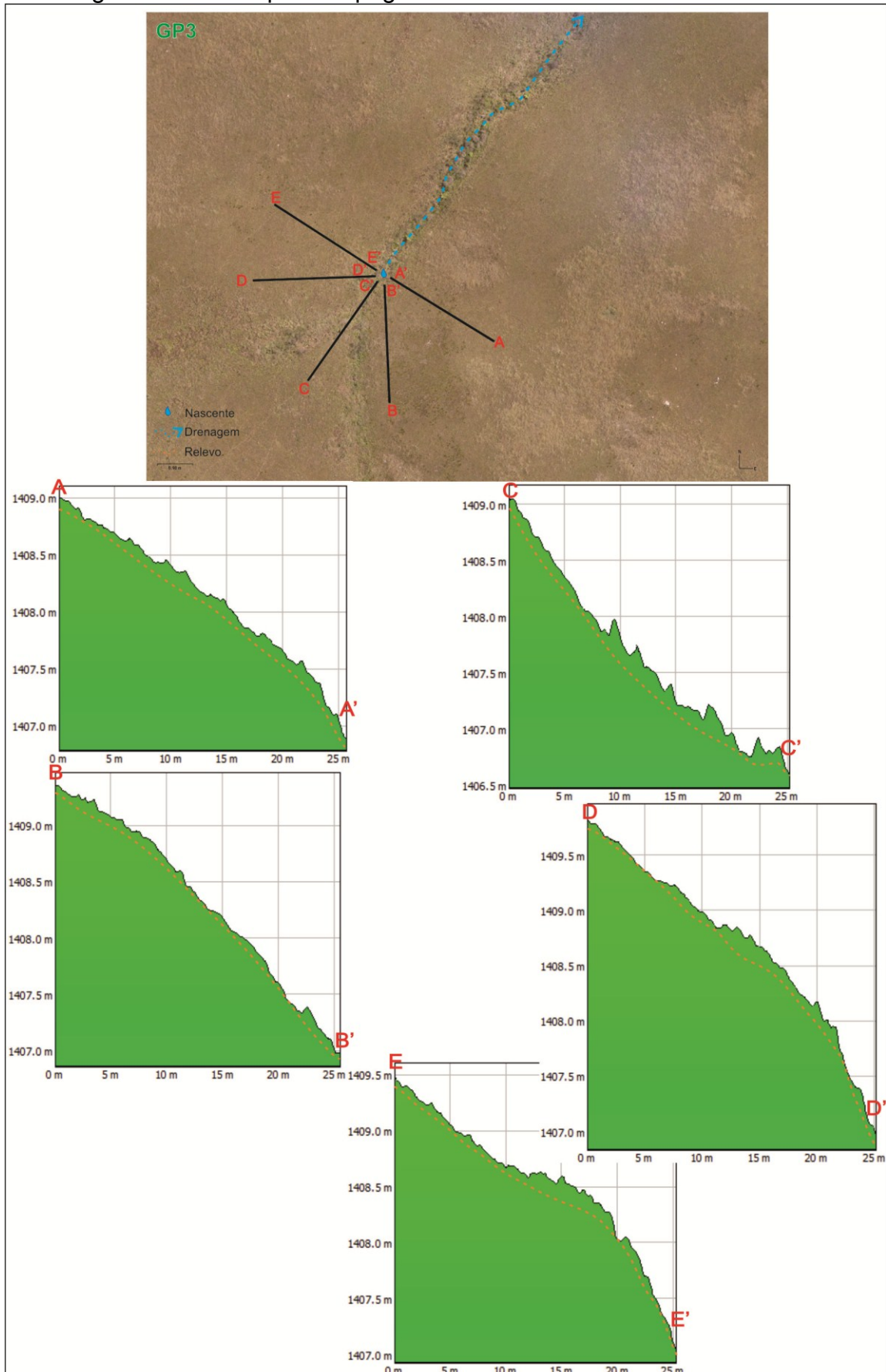
O perfil B-B' mostra uma vertente convexa, intensificando o declive perto da feição gerada pelas exfiltrações. Entre 2 e 3 metros apresenta um trecho rebaixado, que se trata de uma marca provocada por uma valeta de escoamento pluvial. Baseando-se em Silva (2018) estas áreas podem ser conceituadas como Assinaturas Topográficas Humanas (ATH's) como sendo alterações morfológicas promovidas pela ação antrópica.

Os perfis C-C' e D-D' são aqueles que têm maior declividade já que se inserem na feição erosiva pela porção mais à montante, onde o talude é mais alto. O primeiro, de direção N-S apresenta alguns pontos com vegetação, porém, tem grande contribuição dos sedimentos oriundos da estrada, potencializados pelas valas de escoamento pluvial.

Na sequência da linha, observa-se um desnível maior que dois metros, que representa a região em que há predomínio de solapamentos devido à retração da cabeceira. O sopé desta pequena região solapada mostra um desnível gradual, com rugosidades na base da nascente devido à presença da vegetação e materiais originados pelo solapamento. No segundo, também se mostra um relevo bastante homogêneo devido à deposição dos materiais das estradas até os 18 metros do trecho. A marcante presença de uma vegetação exuberante na feição da nascente mostra um ganho de 30 centímetros para decair na feição erosiva, onde há grande quantidade de material em remoção pela dinâmica da nascente.

As características dos cinco perfis topográficos da nascente GP3 são exibidas na Figura 28.

Figura 28 - Cinco perfis topográficos na cabeceira da nascente GP3.



Fonte: próprio autor, (2017).

Na área de cabeceira da nascente GP3, de forma geral, os níveis de rugosidade dos perfis são baixos, já que a vegetação mais homogênea e poucos pontos de afloramentos rochosos favorecem esta característica. A nascente situa-se numa área de relevo mais aplainado, com colinas suavizadas, onde os cinco perfis traçados denotam certa homogeneidade no que diz respeito ao desnível topográfico.

Dos cinco perfis, apenas o C-C', que foi traçado no sentido SO-NE acompanhando o alinhamento da drenagem, apresenta seu trecho em concavidade. Este mesmo perfil ainda apresenta dos 10 até os 25 metros, alguns pontos de vegetação sobressalente às demais, frente à baixa rugosidade no geral, que denota a presença de depósitos e maior condição de umidade para suportar vegetação mais exuberante, comparativamente.

Nos perfis A-A', B-B', D-D' e E-E' ao longo dos 25 metros, o desnível é de aproximadamente 2 metros. Nestes quatro perfis, alguns sobressaltos no perfil demarcam a presença de vegetação de maior porte em relação às circunvizinhas, embora, em linhas gerais nota-se uma vegetação uniforme e relevo pouco influenciado por ocorrências de afloramentos rochosos, embora o material de cobertura seja bastante raso.

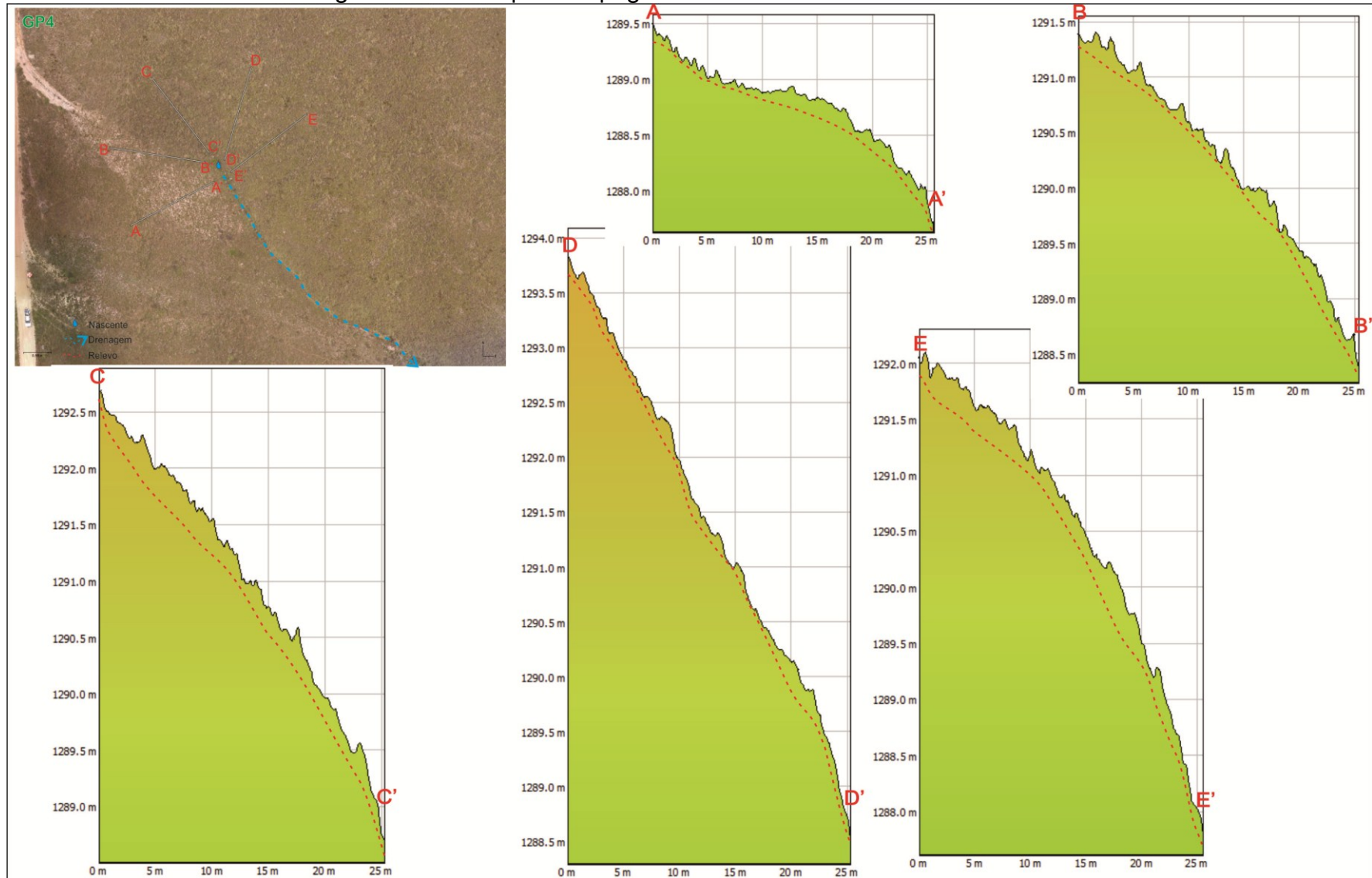
A Figura 29 apresenta os perfis distribuídos na cabeceira que origina a nascente GP4.

Das nascentes pesquisadas, esta tem o relevo mais íngreme. A área onde se instala esta nascente e, conseqüentemente, o canal de primeira ordem configura-se com altos níveis de dissecação, apresentando colinas onduladas e fortemente onduladas e presença de cristas quartzíticas esparsas.

Desde os primeiros cem metros do canal originado pela exfiltração localizada mais a montante, já demonstra grande nível de dissecação, aproveitando os planos de fraqueza estrutural (fraturas), até desaguar no Rio São Francisco, nas proximidades da Cachoeira Casca D'Anta, o exultório da área de pesquisa.

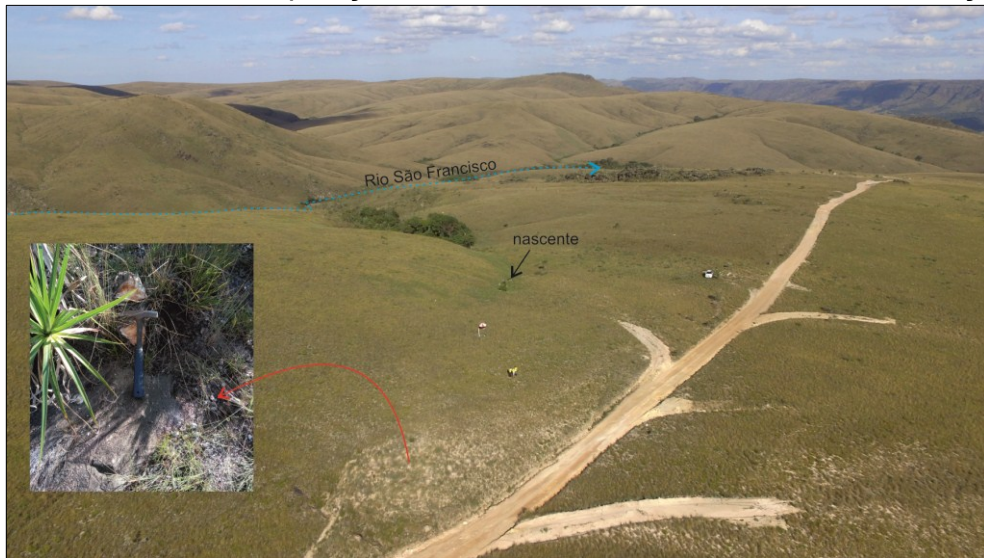
Os perfis A-A' e B-B' (margem direita) são os menos íngremes dentre os cinco. Ao longo de 25 metros de distância o desnível foi de menos de 2m e 2,5m, respectivamente. No primeiro perfil, ao longo dos 13 metros iniciais, desenvolve-se uma concavidade com baixa rugosidade que está atrelada ao preenchimento topográfico pelo elevado transporte de material arenoso advindo da estrada, conforme pode ser observado na Figura 30. Na sequência o perfil se torna convexo em direção à área de exfiltração, que origina a nascente.

Figura 29 - Cinco perfis topográficos na cabeceira da nascente GP4.



Fonte: próprio autor, (2017).

Figura 30 - Áreas de deposição dos sedimentos advindos do leito carroçável.



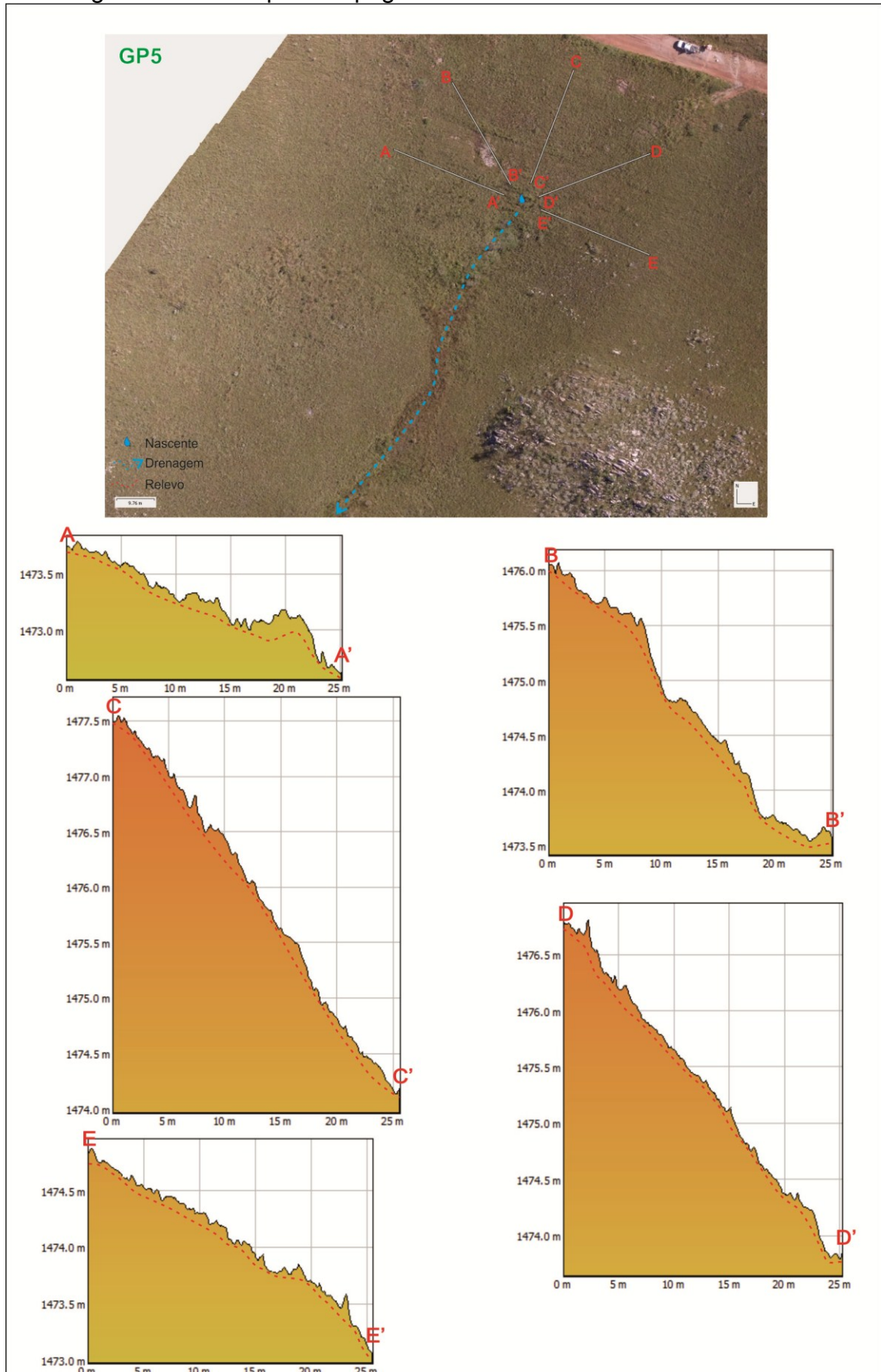
Fonte: do autor, jun. 2017.

Considera-se que o aplainamento da superfície topográfica, pelo transporte e posterior deposição dos sedimentos na vertente, abarca o conceito trabalhado por Silva (2018), pois é uma forma de assinatura topográfica humana, uma vez que o aporte sedimentar foi garantido pela atividade antrópica na manutenção da estrada e abertura da valeta de escoamento pluvial. O segundo perfil exibe uma vertente suavemente convexa, e, também é marcado por deposição de sedimentos gerados pela estrada, que preenche parte dos desníveis promovidos pela vegetação.

Os perfis C-C' e D-D' são praticamente retilíneos, porém com maior inclinação para o fundo de vale, desnivelando-se quase 5 metros. O primeiro alinha-se ao principio do canal de drenagem, no sentido NO-SE. Nele também há vegetação ao longo de todo o perfil constituindo-se importantes barreiras naturais aos sedimentos transportados pela vertente íngreme, e, conseqüentemente, zonas que favorecem a infiltração. No segundo perfil percebe-se uma inclinação mais severa, que mostra que a margem esquerda do canal apresenta maior declividade em relação à margem direita. A rugosidade da superfície é pequena, com apenas algumas áreas esparsas com aparecimento de vegetação que destoa da homogeneidade de cobertura. Nos últimos 5 metros da linha de elevação a convexidade acentua-se até o vale.

O último perfil desta cabeceira, E-E' tem forma convexa, com quase quatro metros de desnível ao longo dos 25 metros de extensão. Especialmente nos primeiros 15 metros a vegetação é evidente, ao passo que a convexidade se intensifica, verifica-se menor presença da rugosidade que representam as espécies ruprestres. Abaixo seguem os perfis topográficos da nascente GP5 (Figura 31).

Figura 31 - Cinco perfis topográficos na cabeceira da nascente GP5.



Fonte: próprio autor, (2017).

A área de cabeceira da nascente GP5 tem relevo composto basicamente por colinas onduladas e afloramentos com cristas de quartzito. As adjacências do ponto de exfiltração tem um representativo desnível, e situa-se próximo à estrada principal do PNSC, menos de 50 metros. Além disso, nota-se forte influência da geologia no condicionamento da configuração hidrográfica, o que é nítido pelo afloramento na margem esquerda do canal de primeira ordem.

O transecto realizado do perfil A-A' possui um alto nível de rugosidade, determinada pela distribuição da vegetação. Desnívela-se sentido à cabeceira de forma pouco expressiva, em aproximadamente 1,5 metros.

Já o perfil traçado de NO para SE tem maior desnível que o anterior, Esta secção se caracteriza por um decréscimo na altitude por aproximadamente 2,5 metros rumo à nascente. No trecho de 10 a 20m há duas rupturas de declive entre uma faixa com baixa rugosidade, que demarca ausência da vegetação graças a um afloramento rochoso, que tem fortes marcas de ataque erosivo em planos de fraqueza.

Os perfis C-C' e D-D' são os de maior desnível ao longo dos 25 metros. Seu declive superam os três metros. Entretanto, a rugosidade não é expressiva, exceto em alguns pontos. No primeiro, cuja linha de elevação é traçada na mesma direção da drenagem principal (NE-SO). Pontos específicos com elevações esparsas marcam a presença de maior vegetação. Na distância de 18m no traçado, exibe um desnível que, conforme já foi observado em campo, trata-se de uma ruptura no relevo devido ao alinhamento do quartzito dispostos em paralelo à linha traçada (Figura 32). O segundo tem fortes indícios da contribuição de sedimentos da estrada. Alguns pontos elevados e esparsos no perfil denotam que a vegetação mais elevada se encontra em poucos locais, com preenchimento por areia no restante do perfil, o que mascara a presença da vegetação. Ainda pela observação da imagem, se pode notar a valeta de escoamento pluvial direcionada para a nascente.

O perfil E-E' situa-se de forma paralela à linha de drenagem igualmente ao perfil A-A', em que ambos mostram grande rugosidade. Perfaz um perfil do relevo praticamente retilíneo, com uma sutil concavidade aos 15 metros, seguido de um declive que origina um trecho em convexidade até se aproximar da nascente. A condição de umidade e o material de cobertura mais espesso no ponto da exfiltração, oferece condições para a instalação de vegetação de maior porte do que

nas vertentes. Isto pode ser notado pela foto aérea e pela rugosidade nos metros finais do perfil e são bioindicadores da presença de água.

Figura 32 - Quartzitos de maior resistência alinhados perpendiculares ao canal de primeira ordem.

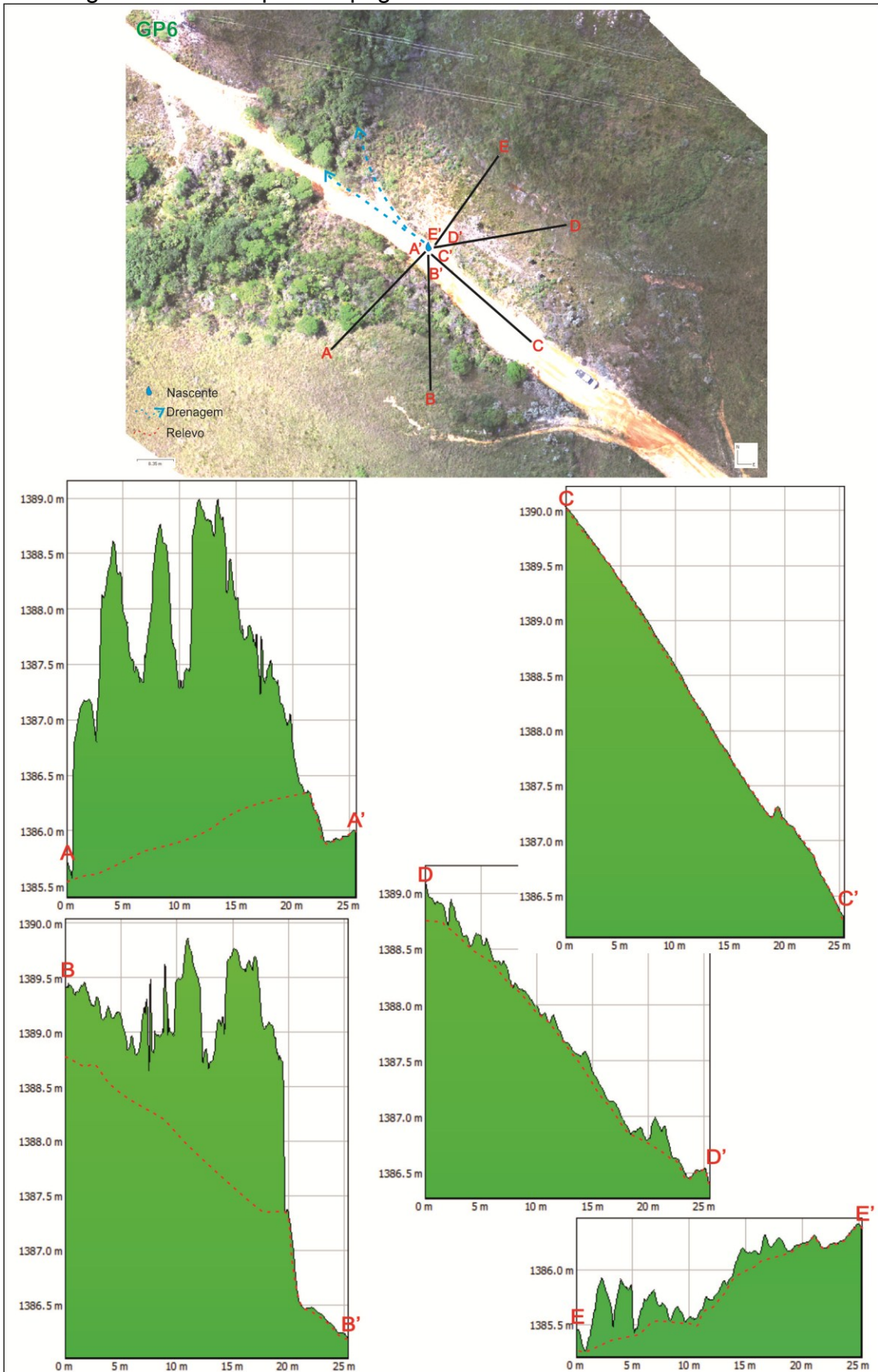


Fonte: do autor, 2017.

A Figura 33 aborda os cinco perfis topográficos elaborados para caracterizar a área de cabeceira da nascente GP6.

A área de captação da nascente GP6 se localiza em regiões onde os padrões de relevo se apresentam de forma dissecada em colinas onduladas e fortemente onduladas com ocorrências de conjunto de cristas quartzíticas. Entretanto, é uma nascente com características peculiares, pois se enquadra nas nascentes antropogênicas, ou seja, sua origem é vinculada ao processo de escavação pelo homem, neste caso, para a construção da estrada. Diferentemente das outras nascentes, esta se localiza na baixa vertente, próximo ao fundo de vale, em áreas com vegetação arbustiva (2 a 5 metros) em meio às rupestres.

Figura 33 - Cinco perfis topográficos na cabeceira da nascente GP6.



Fonte: próprio autor, (2017).

Nos perfis A-A' e B-B', verifica-se a presença da vegetação arbórea ao longo de grande extensão do perfil. Neste caso, embora a vegetação mascare o perfil do terreno, a presença *in loco* possibilita inferir que no trajeto de direção SO-NE (perfil A-A') há um ganho na topografia rumo à estrada e a nascente. Aos 20 metros de extensão, o perfil evidencia o talude do corte da estrada com altura aproximada de 40 centímetros. Já no segundo perfil, ao longo da linha topográfica ocorre um desnível de aproximadamente 2 metros que é interrompido por uma ruptura no perfil de aproximadamente 50 centímetros, na extensão de 20 metros, onde se localiza o talude da estrada. Os últimos três a 4 metros representam o leito carroçável.

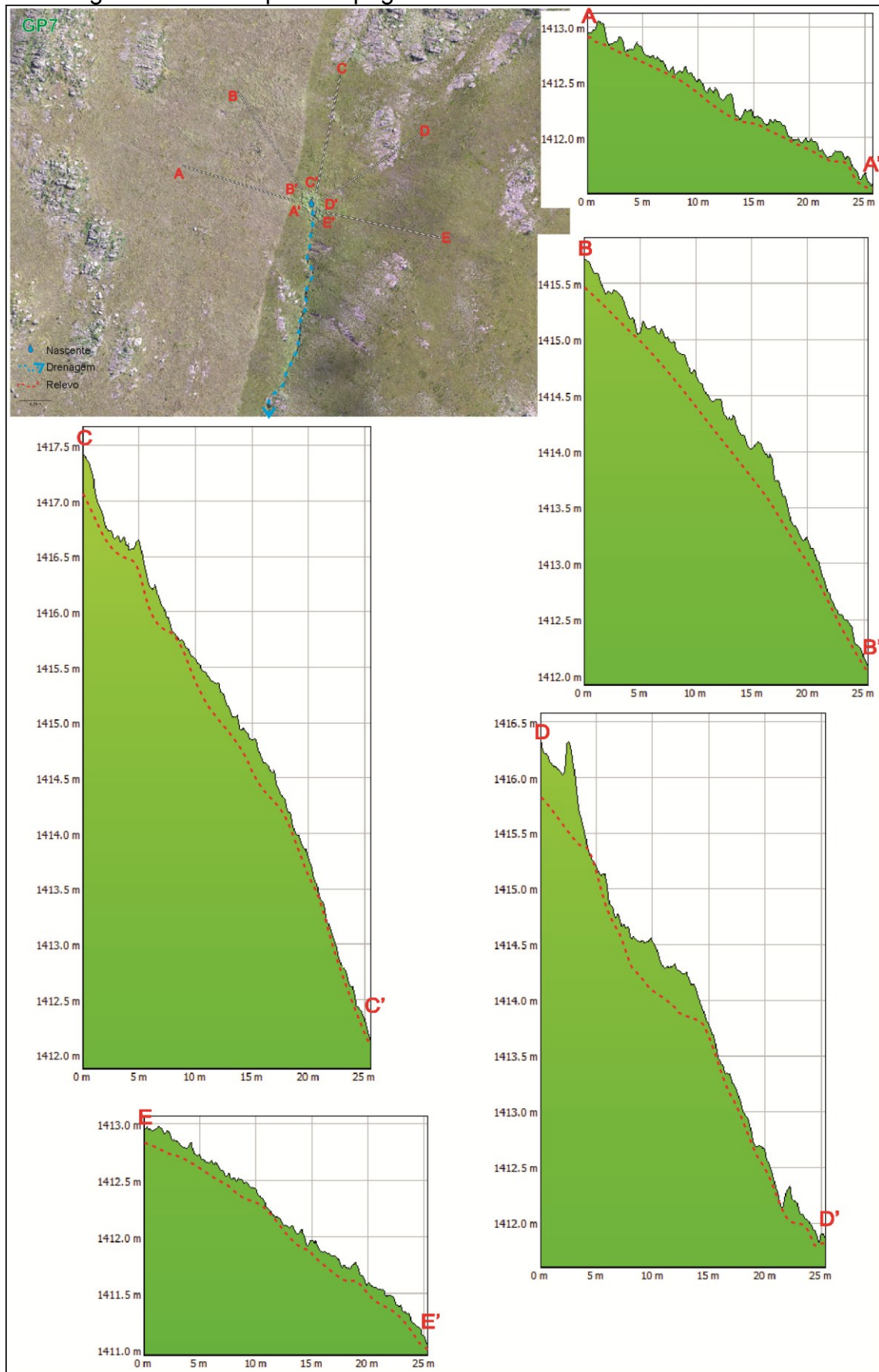
O perfil C-C' é peculiar, já que ocorre na estrada na sua totalidade, ou seja, qualquer rugosidade que se apresenta não tem vínculo com a vegetação, é apenas oriundo das atividades de manutenção da mesma. Ao longo de 25 metros tem desnível aproximado de quatro metros, em que no próximo dos 23 metros o perfil assinala a presença de uma lombada que representa uma execução característica da equipe de manutenção das estradas no PNSC.

O perfil D-D' apresenta uma linha de elevação com alto índice de rugosidade, com espaços entre as vegetações, entretanto, difere-se da margem esquerda em relação ao porte da vegetação que é bem menor. Nos cinco metros iniciais verifica-se um desnível devido a um canal que drena no mesmo sentido da nascente. É uma vertente, em geral retilínea, mas que apresenta uma concavidade entre o 15 e 20 metros de extensão. Nas proximidades da extensão de 25 metros, é nítido um alto topográfico que representa a deposição de material oriundo da valeta de escoamento pluvial.

O Perfil E-E' é um traçado estabelecido no sentido NE-SO. Ele evidencia uma vertente que não direciona a água para a nascente. Nos cinco metros iniciais também secciona uma linha de drenagem que se encontra em nível mais baixo que a nascente da estrada. A presença da vegetação esparsa também fica notada no perfil pela rugosidade. Nos últimos 5 metros, nota-se que as curvaturas são mais suavizadas, devido à grande quantidade de material depositado pela manutenção da estrada. Ao longo dos 25 metros há um ganho de altitude de um metro aproximadamente.

A ilustração seguinte (Figura 34) mostra os perfis que caracterizam a topografia mais detalhada das áreas circunvizinhas da nascente GP7.

Figura 34 - Cinco perfis topográficos na cabeceira da nascente GP7.



Fonte: próprio autor, (2017).

O relevo associado a esta cabeceira é fortemente marcado por colinas onduladas com conjunto de cristas quartzíticas. Identifica-se nas áreas adjacentes à nascente, marcante presença de afloramentos quartzíticos, e, a drenagem também mostra curvas acentuadas e angulosas, peculiares de cursos d'água condicionados e estruturados pela organização das rochas aflorantes.

Os perfis A-A' e E-E', perpendiculares à linha de drenagem tem menor declividade, com até dois metros de declive ao longo dos 25 metros do perfil. No entanto, pela foto aérea nota-se uma diferenciação nas cores da vegetação, devido à um aceiro negro controlado. Observando os dois perfis, pode-se notar que o primeiro tem maior rugosidade da vegetação em relação ao segundo. Em campo também ficou claro que as zonas com vegetação mais esbranquiçada há mais espaços entre as touceiras e na vegetação com cor mais viva, há maior preenchimento. Além disso, em ambos os perfis, a vertente se mostra praticamente retilínea.

Os outros três perfis, B-B', C-C' e D-D' têm as maiores inclinações, com 3,5 m, 4,5 m e 5,3 metros de declive ao longo dos 25 metros, respectivamente. O primeiro perfaz um perfil quase retilíneo pouco marcado por rugosidades. Algumas poucas falhas na vegetação mostram algumas cavas no perfil de elevação. O segundo tem direção N-S e simula a mesma direção da drenagem. Tem o maior desnível dentre os demais e baixa rugosidade, a qual é quebrada apenas em poucos pontos onde ocorre afloramento rochoso, especialmente nos metros iniciais. O terceiro é fortemente marcado pela presença da vegetação e de afloramentos rochosos em sentidos contrários à inclinação da vertente. Nos três metros iniciais verifica-se um ressalto no relevo que é de grande importância para compreender a dinâmica de escoamento superficial e subsuperficial, pois se trata de um afloramento com fortes marcas do lineamento e mergulho das camadas do quartzito. A rocha se põe perpendicular à linha natural de fluxo, exercendo função de barreira à água e aos sedimentos. Em seguida, vê-se uma zona com concavidade (entre 5 e 10 metros) que mostra a porção de afloramento aplainado pelo intemperismo, que marca uma região sem vegetação.

Conforme assinala Mma/Ibama (2005), as características litológicas apresentam maior grau de interferência no comportamento da água na área em estudo. Assim, as características estruturais e suas feições observadas pelos planos de faturamento e acamamento rochoso, observadas em escala regional e local, são

fundamentais na elaboração de um maior controle das direções e dos sentidos do escoamento superficial e subterrâneo. Estes fatores podem ser observados na configuração dos princípios de fluxos originados no contato litológico, como também na retilinidade e angulosidade dos canais gerados pelas nascentes estudadas, que, por vezes, também sofrem influencia das ações do homem que planeja este ambiente para seu usufruto.

Corroboram-se com Silva *et al.*,(2017) que acreditam que o uso de modelos digitais e da geomorfometria, deles derivados, devem ser avaliados de forma crítica, quanto às suas potencialidades e limitações, em busca de maior aproximação com a realidade. Neste aspecto, acredita-se que os produtos obtidos pelas análises fundamentaram sobremaneira a elaboração das microformas do relevo enquanto agentes intervenientes na Hidrogeomorfologia em nascentes. Contudo, há variadas ferramentas a serem testadas na obtenção dos modelos, sobretudo, pela potencialidade condicionada pelas imagens aéreas geradas pelos VANT's.

Importante salientar que o surgimento de canais ocorre pelos fluxos de água em vários níveis topográficos, assemelhando-se às análises de Imaizumi; Hattani e Hayakawa (2010). As nascentes em estudo mostraram que a água se acumula enquanto um canal de drenagem não só pelo fluxo superficial, mas também por fluxos subsuperficiais. Montgomery e Dietrich (1989) também argumentam que, em relevos com baixo desnível topográfico e úmidos, os principais mecanismos responsáveis pela geração de canais de drenagem são o escoamento de saturação e a exfiltração. Nesta perspectiva, os modelos topográficos são capazes de elucidar as formas no relevo. Diante do exposto, se torna muito claro que o comportamento hidrológico de pequenas bacias é muito complexo. Neste sentido, apropria-se da ideia de Valente e Gomes (2011, p. 128) que acreditam que a melhor forma de analisar esta dinâmica da água é “relacionar suas vazões com as respectivas áreas”. A partir de então, determina-se a produtividade de água em determinada região. Desta maneira, o capítulo seguinte objetiva relacionar as características do meio físico com a dinâmica da água nas sete nascentes.

Os perfis com alta resolução possibilitam notar a presença e influencia da vegetação e das rochas aflorantes nas microformas do relevo. No caso da vegetação, pela sua morfologia em touceiras, age como uma barreira natural ao escoamento, mesmo que em menor proporção aos afloramentos. Com isto, ajuda na retenção de sedimentos em superfície, que por sua vez, contribuem com a infiltração

e sustentação da vegetação. Situações de impacto negativo às nascentes ocorrem quando os sedimentos são direcionados diretamente aos pontos de exfiltração, podendo suprimir nascentes.

Se o aporte de sedimentos da cabeceira é expressivo, o fluxo não tem competência suficiente para o transporte até o rio. Desta maneira, os canais são assoreados e os depósitos em forma de bancos de areia, na maioria dos casos, são formados e dominados por espécies de vegetações arbóreas. A demanda por água destes indivíduos, por vezes é bem maior que a oferta, o que gera um déficit de água à jusante das áreas de depósitos.

Se tratando da litologia, quando os afloramentos em faixas de maior resistência se arranjam perpendicularmente ao caminho do escoamento superficial, desencadeia depósitos de maior monta. Os afloramentos se tornam resistentes barreiras ao transporte dos sedimentos, favorecendo os bolsões de deposição e infiltração de água, além de subsidiar a sobrevivência da vegetação.

De forma contrária, tratando-se dos quartzitos no Chapadão Diamante, nas áreas onde os afloramentos ocorrem com maior domínio, o comportamento hidrológico destas rochas vai ser notado na densidade da drenagem. Esta afirmação corrobora com os achados de Almeida (2014) na região, a qual menciona que nos morros sustentados por quartzitos e xisto/quartzito predomina alta frequência de canais de drenagem. Isso quer dizer que, nos locais onde a infiltração ocorre com maior dificuldade, o escoamento superficial é maior, ocorrendo a incisão da drenagem e esculturação dos canais. Estas características já foram também apontadas outrora por Christofolletti (1980) e são igualmente observadas na área de estudo.

9. CENÁRIOS DA DINÂMICA HIDROGEOMORFOLÓGICA

Dunne (1978) destaca importantes elementos que controlam a capacidade de infiltração da água em uma superfície em relação ao tempo. Dentre eles, as características das chuvas e do solo, a vegetação e o uso da terra. Baseando-se no autor, neste capítulo discute-se as características do material de cobertura em relação à disponibilização de água para as nascentes pesquisadas, com base nas precipitações decorrentes dos últimos dois anos, já que, como enfatizam Valente e Gomes (2011), no cenário brasileiro, as chuvas são a matéria prima processada para a produção de água nas pequenas bacias hidrográficas.

Em resumo, destaca MMA/Ibama (2005) que, na área de estudo a precipitação concentra-se de outubro a março (primavera e verão) com valores entre 1200 a 1800 mm. Nos meses de maio a setembro os índices reduzem-se bastante, podendo ocorrer meses sem chuva.

Novais (2011) fez uma caracterização climática do Triângulo Mineiro e adjacências com dados de 1980 a 2009. Especialmente na Serra da Canastra, cujos dados advêm da estação localizada em São Roque de Minas (ANA 2046025), o autor afirma que nos meses do verão (dezembro a fevereiro) a pluviosidade média esteve entre 700 a 800 mm, sendo a estação mais úmida do ano. Na estação mais seca, o inverno, de junho a agosto, a região teve pluviosidade média entre 55 e 70 mm. Na soma dos valores médios dos doze meses resultou em 1529 mm, destacando-se entre um dos maiores índices da área mapeada. A Figura 35 apresenta um compilado do estudo supracitado, com dados de cada estação do ano, bem como, da média anual.

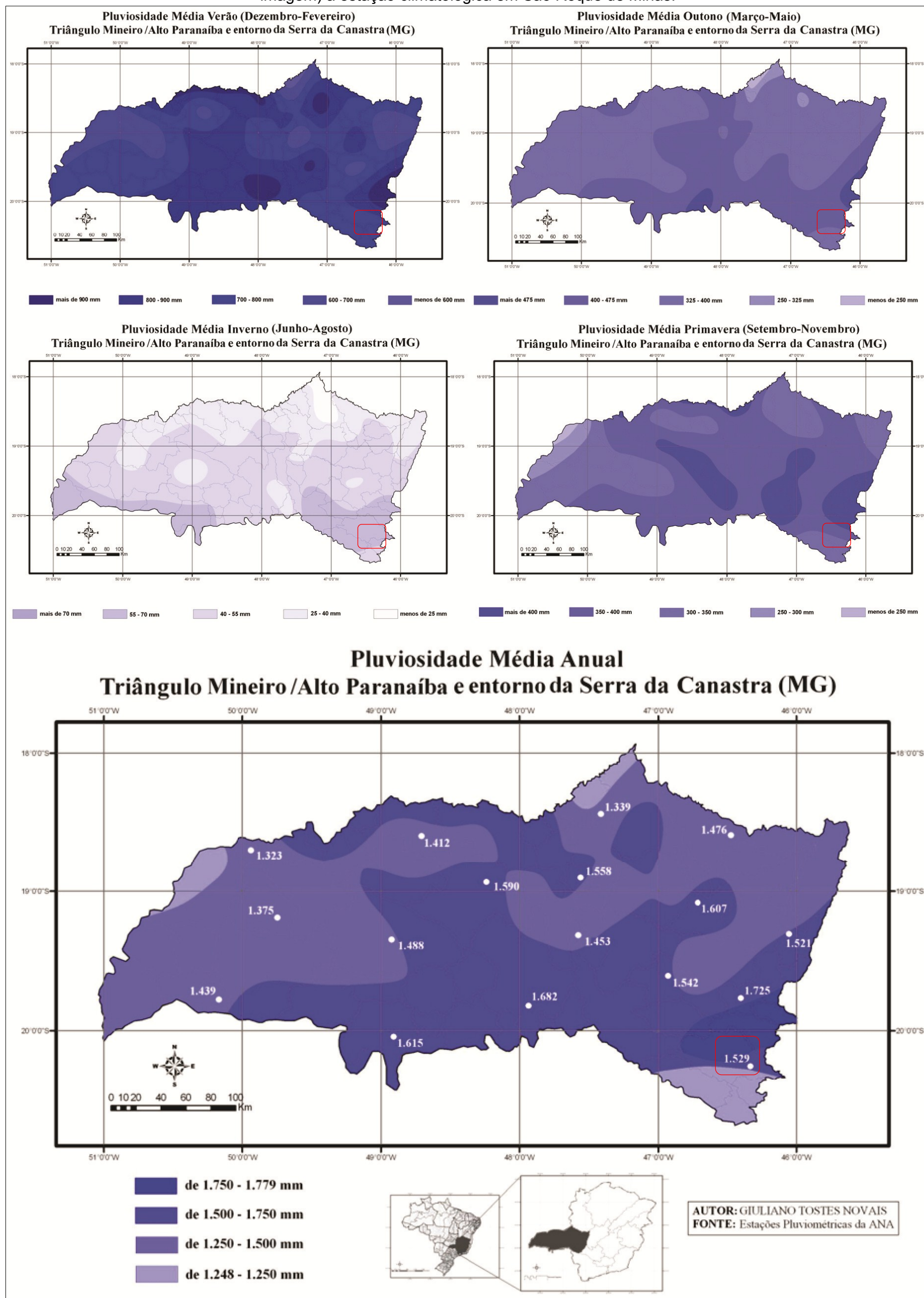
No interior do PNSC há ainda uma estação automática da CEMIG (2046033), que se encontra nas proximidades da Cachoeira do Rolinho. O Quadro 2 apresenta valores mensais (médios e acumulados) dos últimos sete anos. Observa-se que nos anos de 2016, 2017 e 2018 ocorreu uma ausência de dados, em que não se sabe o motivo. Em geral, os números mostram maiores valores de chuva de novembro a fevereiro, com representativa queda entre maio a agosto. Estes dados foram utilizados como complementares.

A Portaria 1, na porção leste do PNSC, próximo à cidade de São Roque de Minas é dotada de um pluviômetro e uma estação convencional. Os dados destas são anotados em tabelas que ficam na portaria, que, na ocasião obtivemos os

valores pluviométricos desde 2012 até o ano de 2018. Por meio de dados acumulados e médios o Quadro 3 mostra que, novembro a março foram os meses mais chuvosos, especialmente janeiro. Já os meses menos chuvosos concentraram-se de abril a setembro, com dados extremamente baixos em agosto.

Afim de melhor relacionar os dados chuva e vazão, gráficos dos valores de precipitação foram elaborados, juntamente com informações das vazões aferidas em campo nos cenários sazonais dos últimos dois anos (2017 e 2018).

Figura 35 – Compilação dos dados pluviométricos de 1980 a 2009, por estações do ano e média anual, destacando (última imagem) a estação climatológica em São Roque de Minas.



Fonte: adaptado de Novais (2011).

Quadro 2 - Estação da CEMIG: precipitação acumulada e média por mês, de 2012 a 2018.

Mês	2012		2013		2014		2015		2016*		2017*		2018*	
	precipitação mensal acumulada (mm)	precipitação média diária (mm)	precipitação mensal acumulada (mm)	precipitação média diária (mm)	precipitação mensal acumulada (mm)	precipitação média diária (mm)	precipitação mensal acumulada (mm)	precipitação média diária (mm)	precipitação mensal acumulada (mm)	precipitação média diária (mm)	precipitação mensal acumulada (mm)	precipitação média diária (mm)	precipitação mensal acumulada (mm)	precipitação média diária (mm)
JAN	519	16,74	199	6,42	110	3,55	83	2,68	43	1,39	-	-	-	-
FEV	284	9,79	88	3,14	46	1,64	352	12,57	148	5,1	-	-	-	-
MAR	205	6,61	0	0	80	2,58	257	8,29	145	4,68	-	-	-	-
ABR	73	2,43	0	0	81	2,7	88	2,93	9	0,3	-	-	-	-
MAI	68	2,19	5	0,16	3	0,1	58	1,87	7	0,23	-	-	-	-
JUN	120	4,00	11	0,37	2	0,07	50	1,67	24	0,8	-	-	-	-
JUL	5	0,16	17	0,55	27	0,87	1	0,03	-	-	-	-	-	-
AGO	0	0,00	4	0,13	0	0	0	0	-	-	-	-	34	1,1
SET	16	0,53	62	2,07	20	0,67	131	4,37	-	-	-	-	53	1,8
OUT	48	1,55	139	4,48	98	3,16	71	2,29	-	-	-	-	143	4,6
NOV	198	6,60	277	9,23	177	5,9	114	3,8	-	-	-	-	259	8,6
DEZ	122	3,94	143	4,61	166	5,35	153	5,7	-	-	-	-	138	4,5
M	138,17	4,55	78,75	2,60	67,50	2,22	113,17	3,85	62,67	2,08	-	-	125,40	4,11

* sem registros para o período, possivelmente por problemas técnicos. M= média. Fonte: ICMBio, (2018a).

Quadro 3 - Estação da Portaria 1 do PNSC: precipitação acumulada e média por mês, de 2012 a 2018.

Mês	2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018	
	precipitação mensal acumulada (mm)	precipitação média diária (mm)	precipitação mensal acumulada (mm)	precipitação média diária (mm)	precipitação mensal acumulada (mm)	precipitação média diária (mm)	precipitação mensal acumulada (mm)	precipitação média diária (mm)	precipitação mensal acumulada (mm)	precipitação média diária (mm)	precipitação mensal acumulada (mm)	precipitação média diária (mm)	precipitação mensal acumulada (mm)	precipitação média diária (mm)
JAN	546,9	17,64	565,5	18,24	92,5	2,98	110,4	3,56	417,5	13,92	256,5	8,27	242,3	7,82
FEV	112,3	3,87	197	7,04	71	2,54	269,2	9,61	114,4	3,94	184	6,57	223,8	7,99
MAR	198,5	6,4	294,2	9,49	89,25	2,88	256,9	8,29	287,7	9,28	89,2	2,88	154,1	4,97
ABR	27	0,9	121,8	4,06	80,2	2,67	139,3	4,64	11,5	0,38	58,7	1,96	38	1,27
MAI	49	1,58	68	2,19	4,8	0,15	89,4	2,88	13	0,42	118,5	3,82	30,5	0,98
JUN	82	2,73	22	0,73	1	0,03	58,4	1,95	79,5	2,65	25	0,83	5,5	0,18
JUL	8	0,26	15,5	0,5	37	1,19	8,6	0,28	0	0	0	0	0	0,00
AGO	0	0	46,6	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	34,5	1,11
SET	18,4	0,61	91,8	3,06	17,5	0,58	149,2	4,97	3,3	0,11	44	1,47	64,6	2,15
OUT	50,4	1,63	168,35	5,43	82	2,65	21,8	0,7	240,8	7,77	127	4,1	193,5	6,24
NOV	235,7	7,86	475,6	15,34	423,2	14,11	202,4	6,75	243,3	8,11	330	11	691,5	23,05
DEZ	188,9	6,09	205,8	6,64	316,7	10,22	260,55	8,4	228	7,35	227,5	7,34	246,5	7,95
M	126,43	4,13	189,35	6,19	101,26	3,33	130,51	4,34	136,58	4,49	121,70	4,02	160,40	5,31

M= média. Fonte: ICMBio, (2018b).

As idas a campo ocorreram diante das possibilidades oferecidas pela universidade, buscando sempre monitorar os cenários sazonais da região, com a variação pluviométrica apresentada nos períodos de chuva e entre chuvas.

Assim, as vazões das sete nascentes foram quantificadas nos cenários com fluxo e, nos episódios sem fluxo, este dado também foi considerado, sobretudo, para a classificação das nascentes se perenes ou intermitentes (Tabela 8).

Tabela 8 - Valores de vazão (Q) obtidos em períodos sazonais nas nascentes estudadas.

ID	Ano de 2017			Ano de 2018		
	Vazão - Janeiro (ml/s)	Vazão - Junho (ml/s)	Vazão - Dezembro (ml/s)	Vazão - Março (ml/s)	Vazão - Março (ml/s) após chuva*	Vazão - Agosto (ml/s)
GP1	6,2	0	130,8	153,6	-	0
GP2	55,3	0	67,5	43,2	230	0
GP3	29	0	37,6	97,5	-	0
GP4	39,5	0	15,8	16,3	-	0
GP5	-	0	22,5	6,6	-	0
GP6	-	25,3	84,8	117,4	-	0
GP7	-	-	78,6	140,8	-	0

Fonte: trabalhos de campo, 2017 e 2018. * Refere-se à medição extraordinária ocorrida logo após episódio chuvoso.

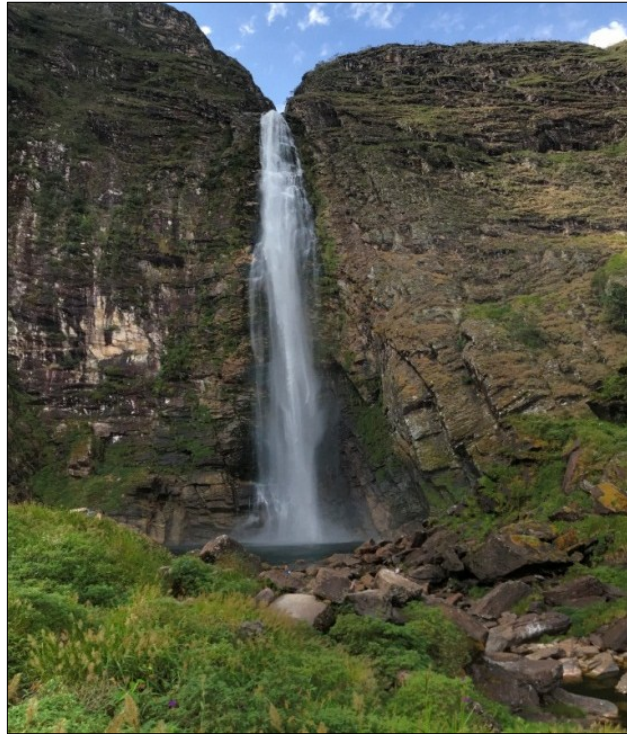
Embora os dados aparentem não demonstrar valores tão expressivos, a somatória das vazões das nascentes estudadas e a extrapolação para as mais de 200 princípios de canais mapeados na bacia hidrográfica no Chapadão Diamante, é muito representativa. Isto pode ser verificado pelo volume de água na cachoeira Casca D'Anta em períodos úmidos, inclusive pela observação da energia de transporte do Rio São Francisco neste trecho, expressa pelo diâmetro das rochas transportadas (Figura 36). Ressalta-se que tais características não estão somente vinculadas à produção de água pelas nascentes, a capacidade reduzida de infiltração e armazenamento também contribuem para este cenário.

Ainda é importante avaliar que as obras nas estradas e os aceiros negros não devem ser realizadas em épocas imediatamente antecedentes aos meses com maior pluviosidade, pois, pode potencializar o escoamento superficial, e conseqüentemente, reduzir a capacidade do tempo de retenção de água na bacia hidrográfica, além de desencadear processos erosivos mais intensos.

Os Gráficos 1 e 2 ilustram valores de precipitação e vazão segundo dados da Portaria 1 e estação CEMIG, respectivamente. Apesar do hiato de informações da segunda estação, como medida alternativa, fez-se a média do acumulado dos quatro

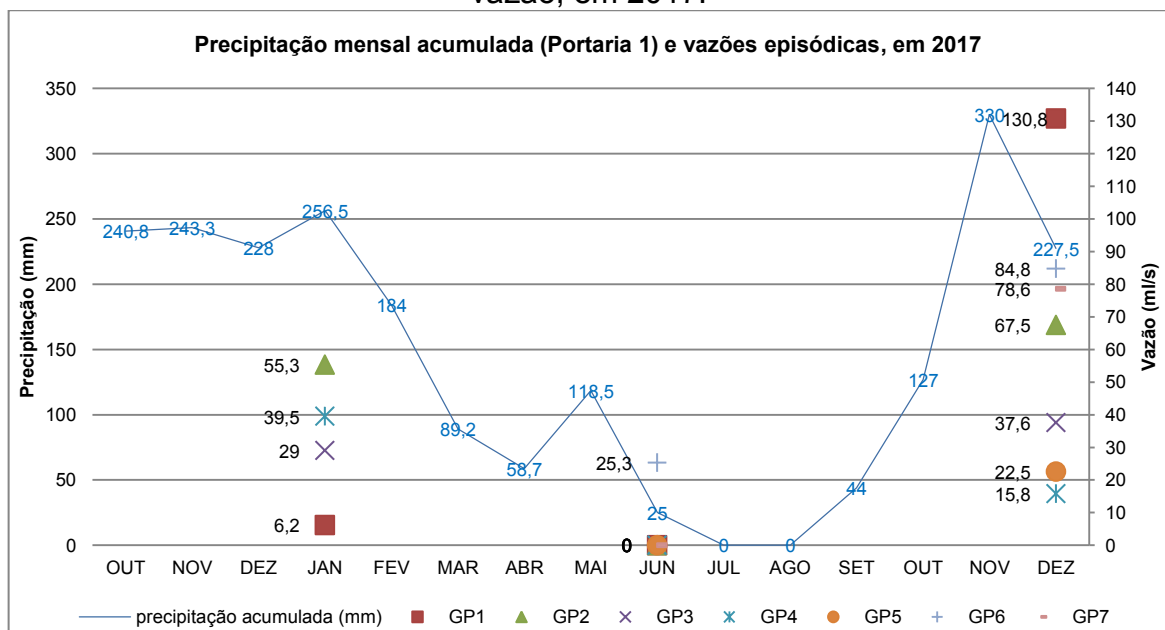
últimos anos que possuem dados completos (2012, 2013, 2014 e 2015). Com isto, embora não se tenha os valores reais dos anos em análise, a média sinaliza uma aproximação dos regimes decorrentes de anos anteriores e auxilia na análise, já que se trata de outra estação pluviométrica. Contudo, estes dados foram utilizados como secundários na relação chuva e vazão.

Figura 36 - Cachoeira Casca D'Anta: matacões de diversos diâmetros que são transportados pelo Rio São Francisco em regime chuvoso.



Fonte: Próprio autor (Ago. 2018.)

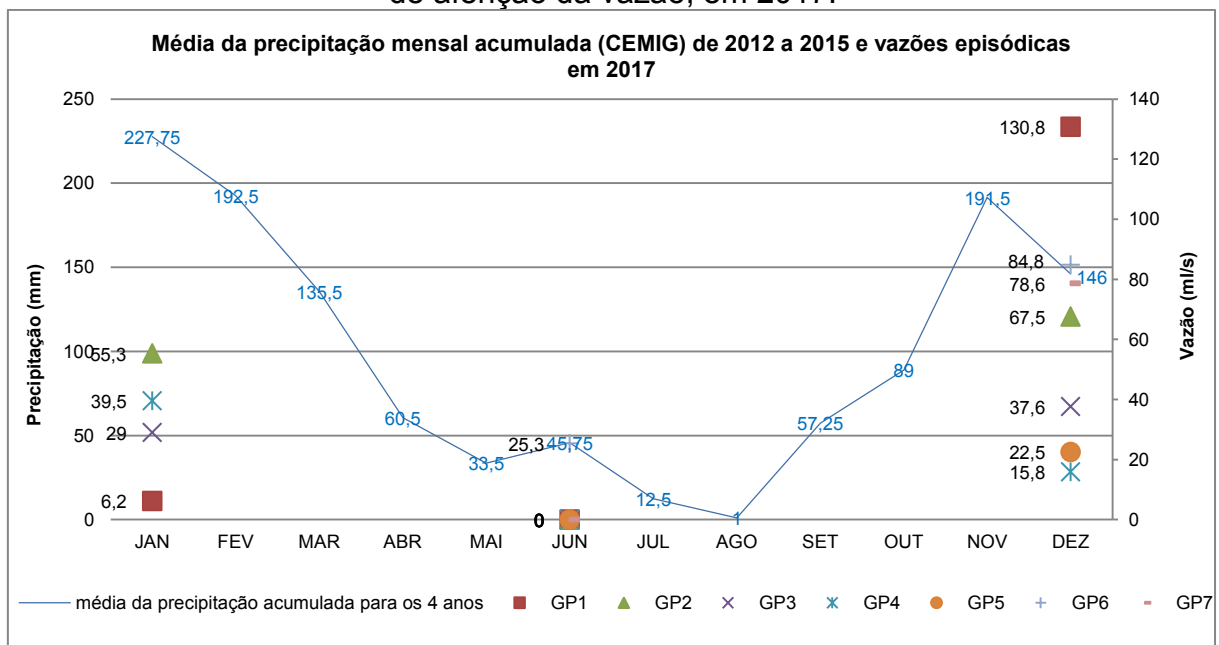
Gráfico 1 - Precipitação acumulada (dados da Portaria 1) e episódios de aferição da vazão, em 2017.



Fontes: ICMBio, (2018b) e Trabalhos de Campo, 2017.

Como se pode observar no gráfico acima, os dados dos três meses anteriores ao ano de referência foram inseridos para a avaliação do comportamento das vazões. As chuvas ocorridas em outubro, novembro e dezembro (240,8, 243,3 e 228 mm, respectivamente), somadas aos 256 mm de janeiro de 2017 resultaram em expressiva produção de água nas quatro nascentes avaliadas para o cenário obtido em janeiro de 2017, em que GP2, GP3 e GP4 produziram individualmente, acima de 2.500 litros diários. Somadas, as quatro nascentes exfiltraram 11.231 litros diários para o cenário observado. Ressalva-se que estes valores partem de uma extrapolação, pois, sabe-se, embora não se tenha medido em campo, que ao longo de um dia, as vazões podem oscilar bastante, principalmente, por conta da evapotranspiração.

Gráfico 2 - Média da precipitação acumulada (dados da estação CEMIG) e episódios de aferição da vazão, em 2017.



Fontes: ICMBio, (2018a) e Trabalhos de Campo, 2017.

Comparativamente, os dois gráficos acima apresentam sutis mudanças acerca da precipitação. Entretanto, preferiu-se adotar os dados reais em relação aos dados médios para a análise.

A queda nos valores precipitados após o mês de janeiro surtiu efeito direto no cenário de junho de 2017. Das seis nascentes avaliadas, apenas a GP6 se mostrou perene, mesmo expondo volumes exfiltrados reduzidos (25,3ml/s) (Figura 37). As demais nascentes (GP1, GP2, GP3, GP4 e GP5) não apresentaram fluxo no ponto adotado para a medida de vazão, mesmo com precipitações mensais de abril (58,7 mm), maio (118,5 mm) e junho (25 mm).

A nascente GP6 difere-se das demais, pois tem sua origem pela ação antrópica e se localiza na baixa vertente, conseqüentemente, tem uma grande área de captação e maior potencial para armazenamento de água subsuperficial.

Nas observações do fim do ano, o mês de setembro marca a retomada das chuvas, que cresceram até o mês de novembro, o qual mostrou maiores valores de precipitação, com acumulado de 330 mm, conforme os dados da Portaria 1. O mês de dezembro manteve o volume de chuvas.

Figura 37 – Nascente GP6 com fluxo em época seca.



Fonte: próprio autor (jun., 2017)

Desta forma, a soma destes fatores proporcionou a reativação das nascentes, cujo cenário avaliou também a nascente GP7 responsável pela terceira maior vazão. A nascente GP1 alavancou seu volume, invertendo as proporções do início do ano. No período observado, somadas, as sete nascentes produziram o equivalente a 37.808,6 litros diários.

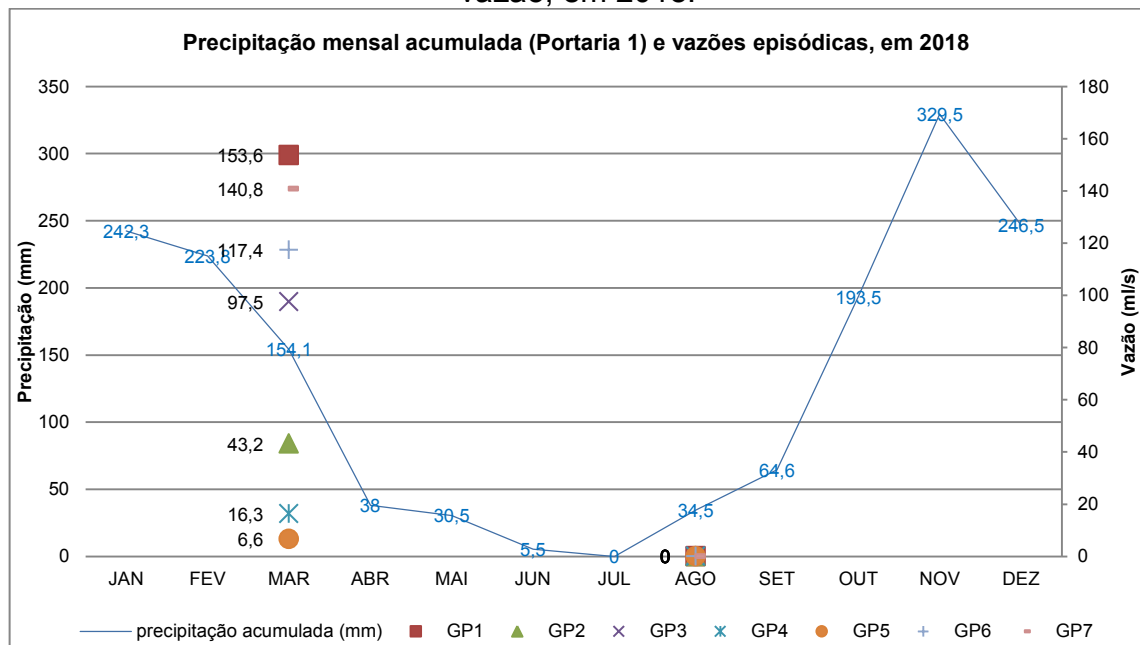
Em relação ao episódio monitorado no início do ano de 2017, embora as precipitações antecedentes fossem expressivas, as vazões foram três vezes menores que aquelas observadas no cenário do fim deste mesmo ano.

O volume precipitado no mês de novembro, o maior do ano, auxilia no diagnóstico do caráter de intermitência de seis das sete nascentes estudadas, excetuando a GP6. Ele indica que as maiores contribuições para a vazão das nascentes advêm, muito mais, dos fluxos subsuperficiais rasos promovidos pelas

chuvas imediatas em detrimento das chuvas cumulativas. Estas por sua vez promove maior infiltração e é responsável pelos fluxos de base, sendo estes, os principais responsáveis pela perenidade de nascentes.

O Gráfico 3 apresenta os dados de precipitação e vazão para o ano de 2018, considerando que o Gráfico 4 repete o procedimento anterior pela falta de dados neste período. Pelas informações obtidas pelo pluviômetro da Portaria 1, verifica-se que a precipitação se comportou de forma parecida ao ano de 2017, com volumes declinando de janeiro a abril, com índices muito baixos no meio do ano e ressurgimento das chuvas a partir de agosto, com o valor mais acentuado em novembro.

Gráfico 3 - Precipitação acumulada (dados da Portaria 1) e episódios de aferição da vazão, em 2018.



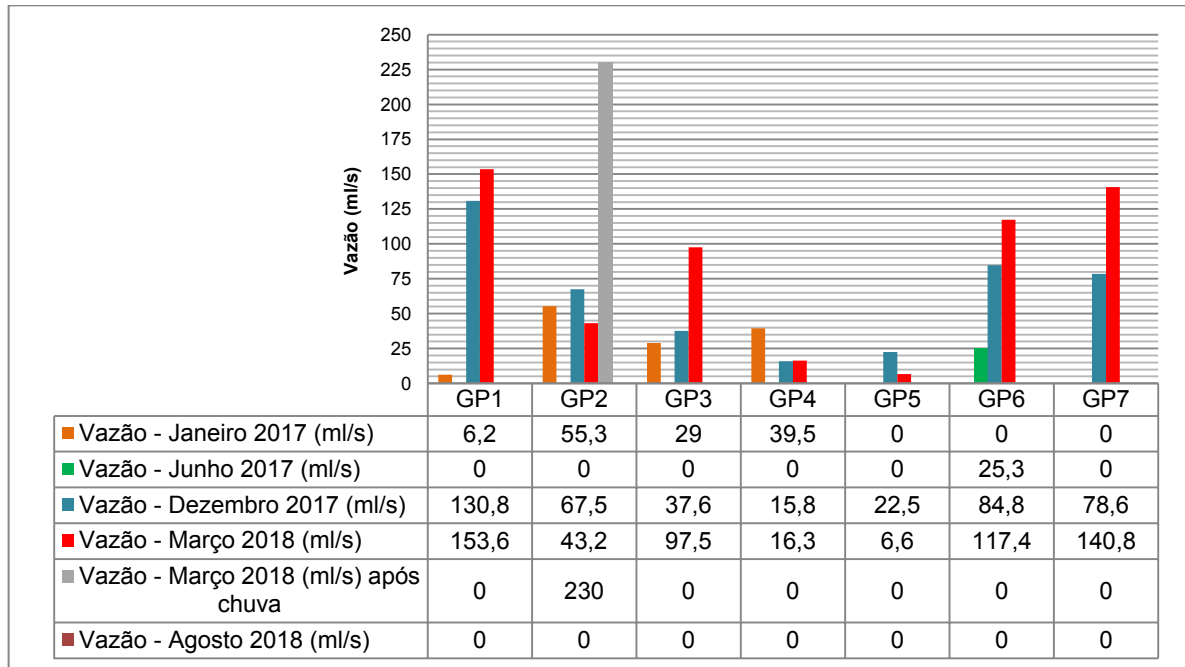
Fontes: ICMBio, (2018b) e Trabalhos de Campo, 2018.

Os valores de vazão em março de 2018 aproximaram-se mais dos observados em dezembro de 2017 do que aos de janeiro de 2018, conforme apresenta o Gráfico 4. Três das sete nascentes produziram mais de 100 ml/s e somadas, as sete nascentes exfiltraram 49.662,7 litros diários, o maior medido. Para este cenário, fica indicado que os volumes de chuva verificados no período da aferição das vazões juntamente com as chuvas antecedentes, foram suficientemente responsáveis pela maior vazão dentre as já aferidas.

Ademais, é importante considerar que, igualmente reportado por Valente e Gomes (2011), por se tratar de pequenas bacias hidrográficas, as variações na

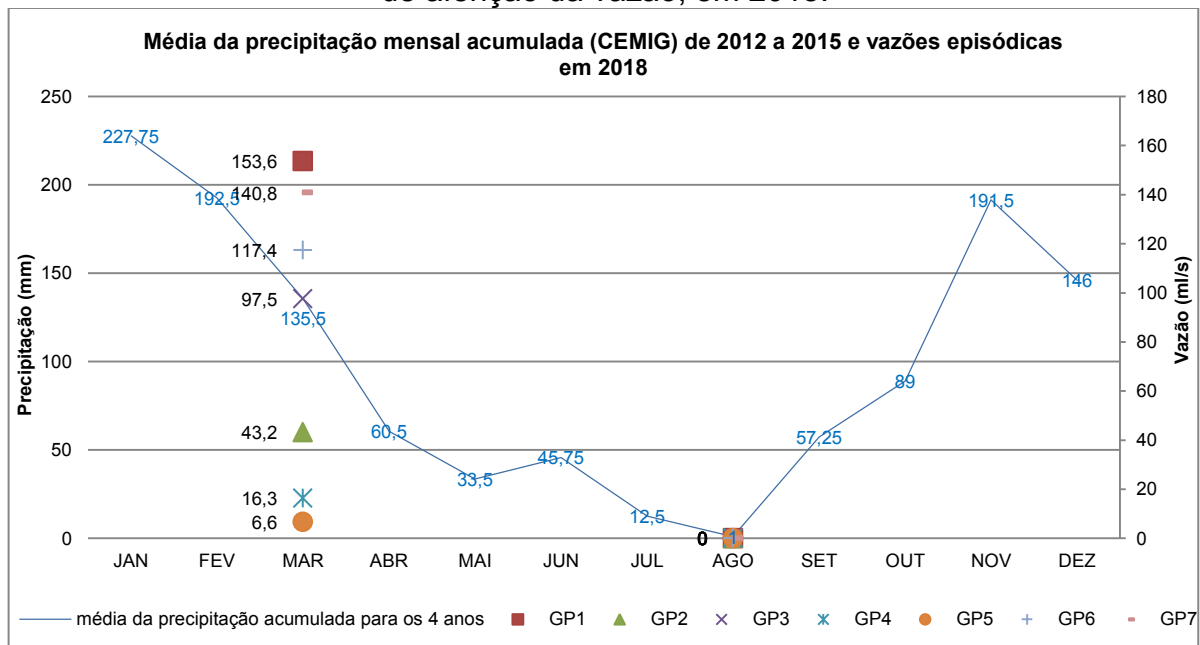
vazão são muito sensíveis a qualquer tipo de entrada de água (precipitação) e os dados diários e locais são muito importantes para definir os principais responsáveis pelas diferenças nos valores de vazão.

Gráfico 4 – Dados de vazões aferidos nas sete nascentes em 2017 e 2018.



Fontes: Trabalhos de Campo, 2017 e 2018.

Gráfico 5 - Média da precipitação acumulada (dados da estação CEMIG) e episódios de aferição da vazão, em 2018.

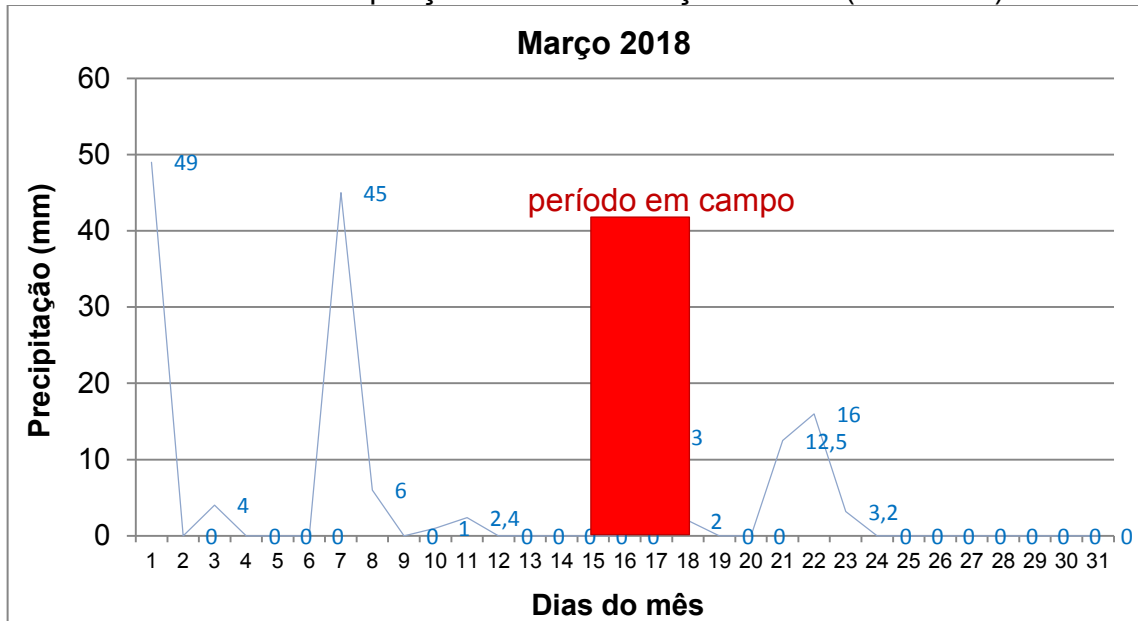


Fontes: ICMBio, (2018a) e Trabalhos de Campo, 2018.

Por exemplo, em março de 2018, antes da realização do trabalho de campo, o acumulado de chuva para a primeira quinzena foi de 107,4 mm (Gráfico 6). Este dado foi preponderante para que as nascentes tivessem boas vazões.

Em episódio extraordinário na nascente GP2, em março de 2018, foi possível quantificar a vazão antes e depois de um episódio de chuva. Os valores obtidos sinalizam que a contribuição do fluxo do canal de primeira ordem desta nascente, está muito mais vinculada ao escoamento superficial, que ao fluxo de base, já que a diferença na vazão quintuplicou. Como se pode ver no gráfico supramencionado, a nascente passou de 43,2 ml/s para 230 ml/s após a chuva.

Gráfico 6 - Precipitação diária em março de 2018 (Portaria 1).



Fonte: ICMBio, (2018b).

Repetindo o cenário de 2017, no mês de junho de 2018, as precipitações declinaram bruscamente. Como resposta à queda das chuvas, inclusive com ocorrência de mês totalmente seco, em todas as sete nascentes observadas não foi possível medir a vazão por não haver fluxo no local de referência.

De forma oposta à observada no cenário sazonal do mês de junho de 2017, em 2018, a nascente GP6 não possibilitou medir vazão. Conforme afirma Felipe (2013), a morfologia de uma nascente antropogênica pode mudar de forma muito rápida devido às alterações humanas na paisagem. Como respostas a tais mudanças, nascentes com esta origem podem deixar de exfiltrar a partir de intervenções consideradas simples.

Para este caso, o processo de manutenção da estrada, para minimizar os buracos e valetas na via, o leito carroçável foi raspado por tratores tipo retroescavadeiras e o material superficial excedente foi depositado sobre o ponto da exfiltração. Com isto, o fluxo se tornou muito reduzido e difuso a ponto de não ser

possível mensurá-lo. A Figura 38 ilustra a situação, antes e depois da intervenção pela manutenção da estrada.

Figura 38 - Nascente GP6 antes e depois da manutenção da estrada.



Fontes: próprio autor (mar., 2018) e CONFESSOR, J. (jul. 2018).

A produtividade das nascentes, dentre outros fatores, esta atrelada aos bons índices de chuvas antecedentes e, principalmente, recentes à medida de vazão. Desta maneira, fica evidente que estas nascentes têm grande atividade ligada ao fluxo subsuperficial devido às próprias características físicas da área, especialmente as formas na vertente e a característica da cobertura superficial.

Desta maneira, predominam na área um material inconsolidado raso, e, por conseguinte, com boa capacidade de infiltração, porém baixa condição de armazenamento, o que resulta em picos de vazão com representativo volume, mas de curta duração. Não é raro vídeos de turistas que reportam alto volume de água nos cursos d'água da região, inclusive na nascente mais visitada no parque.

Além disso, os solos provenientes do quartzito normalmente demonstram-se de grosseiros. Comum serem arenosos, com granulometria de grosso calibre e presença de materiais de maior escala, como cascalhos e calhaus. A falta de agentes de agregação, como argilas e matéria orgânica, produz solos inconsolidados com grande presença de espaços porosos, que favorecem a infiltração e percolação da água, porém com baixa retenção no perfil.

A nascente GP2 apresentou oscilação relativamente baixa nas vazões nos cenários úmidos (janeiro e dezembro de 2017 e março de 2018). A área da cabeceira tem relevo aplainado com material superficial mais espesso e um subnível freático que garante dois níveis de exfiltração. Tais situações implicam em maior contribuição da vazão pelo fluxo de base em detrimento dos fluxos rasos, o que representa uma nascente com menor volume de saída, porém com índices mais constantes, menos variáveis.

Buscou-se relacionar a água produzida nas nascentes pela área de captação, conforme Valente e Gomes (2011). Segundo os autores, nos estudos em pequenas bacias hidrográficas há maior segurança em se obter dados de produção de água por conta da celeridade em que se processam os fenômenos hidrológicos.

O cálculo da produtividade de água de uma pequena bacia é dado pela divisão da vazão pela área da bacia. Desta forma, baseando-se no levantamento das áreas de captação e das vazões obtidas em campo sob vários cenários sazonais, abaixo segue a Tabela 9 com os dados de produtividade nos anos de 2017 e 2018.

Tabela 9 - Produtividade de água nas sete nascentes, em cenários sazonais.

Bacia	Produtividade (L/min/ha)	2017			2018	
		janeiro	junho	dezembro	março	março *
GP1	0,269	0	5,666	6,653	-	0
GP2	12,953	0	15,810	10,118	53,871	0
GP3	0,567	0	0,735	1,905	-	0
GP4	1,773	0	0,709	0,732	-	0
GP5	-	0	4,198	1,231	-	0
GP6	-	2,971	9,959	13,788	-	0
GP7	-	-	9,300	16,659	-	0

Fontes: Trabalhos de campo, 2017 e 2018. * Refere-se à medição extraordinária ocorrida logo após episódio chuvoso.

A nascente GP2 sobressai dentre as demais pelos maiores valores em janeiro e dezembro de 2017. A pequena extensão da sua área de captação foi fator determinante para que os valores de produtividade destacassem dentre os demais. Elencam-se duas características importantes para este caso: a profundidade do material de cobertura e a forma da nascente.

As condições de armazenamento de água na área da nascente são maiores que as demais nascentes e os fluxos de base podem ser oriundos de áreas que extrapolam as delimitações observadas apenas em superfície. Além disso, a forma

da nascente, já descrita do capítulo 2 e 3 é fator importante para a convergência de águas em um caminho preferencial.

Opostamente, as nascentes GP3 e GP4 demonstraram baixa produtividade, comparativamente. O relevo mais aplainado nas áreas de cabeceiras favoreceu o desenvolvimento de uma extensa área de captação, entretanto, o embasamento litológico, especialmente nesta região, que oferece grande rigidez ao intemperismo, produz um material de cobertura muito raso e cascalhento, que não favorece um bom armazenamento de água.

9.1. Áreas Variáveis de Afluência

As Áreas de Contribuição Dinâmica (ACD's) mencionadas por Valente e Gomes (2011) ou Áreas Variáveis de Afluência (AVA's) referida por Siefert e Santos (2010) são áreas onde o escoamento superficial por saturação é dominante, localizam-se em torno das nascentes e contribuem para seu fluxo, realimentando-as conforme sua disponibilidade hídrica. Por si só, são áreas com baixa capacidade de armazenamento, já que se trata de uma área reduzida, em relação a toda extensão da bacia. Entretanto, se o lençol apresentar-se espesso abaixo de toda a superfície da bacia resulta em uma AVA úmida por todo o período de estiagem e, conseqüentemente, a nascente apresentará vazões regulares.

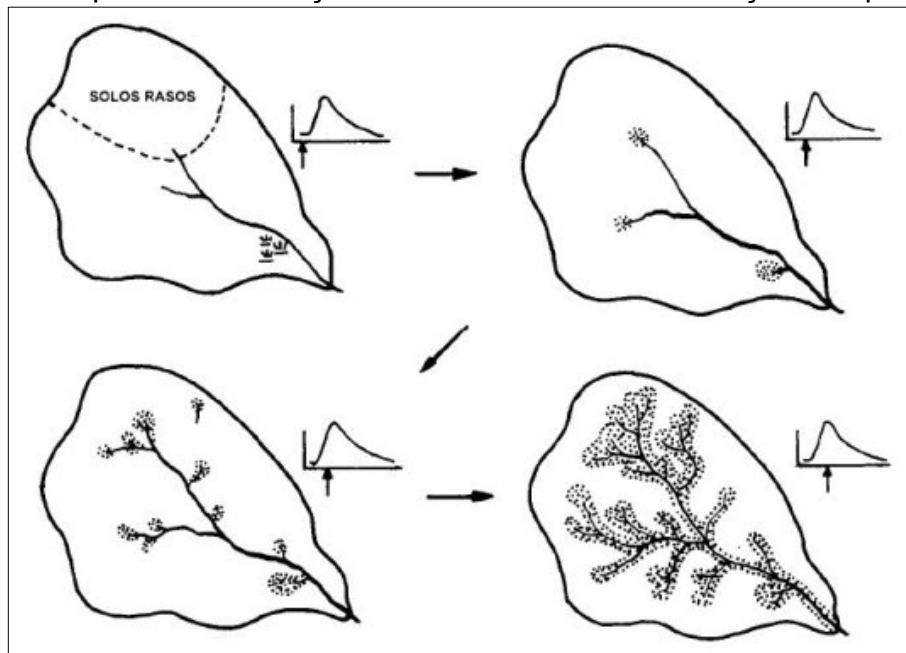
Por considerar igualmente a Siefert e Santos (2010), em que as AVA's são elementos de ligação entre as vertentes e os corpos d'água, subintende-se que são regiões responsáveis por também gerar nascentes, sobretudo, as intermitentes. Devido sua importância na dinâmica das águas na vertente, buscou-se realizar o mapeamento destas áreas no contexto das sete nascentes pesquisadas.

As características geológicas balizaram a delimitação destas áreas. Em geral, as AVA's localizam-se nas convexidades da vertente, tem uma delgada espessura do material de cobertura, inclusive com vários pontos de afloramentos, o contraste é evidente entre as áreas com regime hídrico com maior presença de água, uma vez que ela possibilita a instalação de vegetação mais densa, que se difere das rupestres. O acréscimo na espessura do material superficial oferece subsídio para o crescimento das espécies e para o acúmulo de água. Além disso, a própria configuração do relevo, como já fora detalhada no Capítulo 3, favorece também o acúmulo de sedimentos. Relacionados a estas zonas, estão os bolsões de

deposição uma vez que, neles são armazenados maiores volumes de água para posterior exfiltração à jusante na vertente.

Também não se pode abster dos trabalhos de campo, que possibilitaram constatar as configurações que se mostraram pelas imagens de satélite. Entretanto, foi observada uma importante diferença em algumas AVA's deste trabalho se comparado ao modelo apresentado por Chorley (1978 apud; SIEFERT; SANTOS, 2010, p. 63). Conforme o esquema da Figura 39, a dinâmica das AVA's resulta em áreas que se expandem e contraem do fundo do vale para as margens, de maneira quase uniforme, oscilando de acordo com o regime de chuvas. Porém, em regiões fortemente estruturadas pela litologia, estas áreas moldam-se conforme a ocorrência dos afloramentos, podendo ser mais afinadas em vales mais encaixados ou espreadas, em zonas de menor influência litoestrutural. A Figura 40 apresenta o mapeamento das AVA's das sete nascentes pesquisadas.

Figura 39 – Esquema da evolução das AVA's conforme condições de pluviosidade.



Fonte: Chorley (1978 apud; SIEFERT; SANTOS, 2010, p. 63).

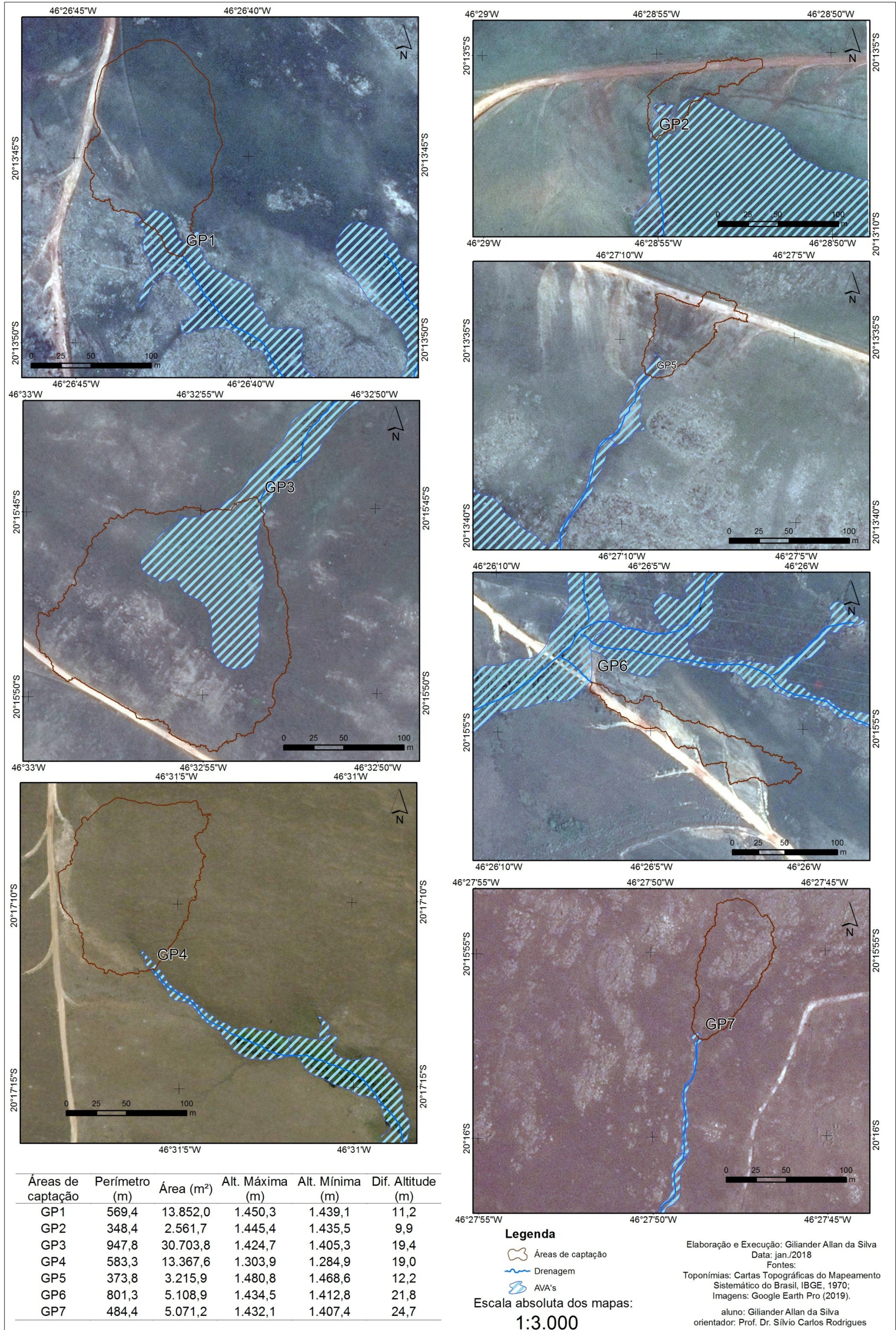
Inúmeros fatores podem influenciar diretamente nestas áreas que contribuem sobremaneira para/nas nascentes. Dunne (1978) aponta que a topografia, os solos, a umidade antecedente e as características das chuvas são os responsáveis pela dinâmica destas áreas. Nas nascentes e no período em estudo, destacam-se dois destes fatores como mais importantes: a topografia e o material inconsolidado (solo), mormente na sua espessura.

Entretanto, é muito importante considerar que este movimento se baseia na troca de energia do sistema. Logo, se as áreas de recarga são zonas de maior potencial hidráulico e as áreas de descarga possuem menor potencial hidráulico, a tendência é que o deslocamento se dê rumo ao decréscimo do potencial Felipe (2013 apud; MORAES, 1982).

Distinguem-se nitidamente dois grupos de formas entre as AVA's das sete nascentes. O primeiro tem características de áreas mais espraiadas nas proximidades das cabeceiras e do canal de primeira ordem (GP1, GP2 e GP3). No segundo grupo predominam as formas estreitas e encaixadas ao alinhamento do curso d'água (GP4, GP5 e GP7). O caso da AVA da GP6 é atípico já que a exfiltração ocorre por conta de intervenção humana.

Como destacam Siefert e Santos (2012, p. 229), os processos hidrogeomorfológicos estão ligados à evolução da paisagem. Sua interação se dá entre a topografia e os processos hidrológicos, especialmente os mecanismos de geração de escoamento. Desta forma, a incorporação de conhecimentos a respeito da dinâmica hidrológica é de grande valia para balizar as práticas de manejo e as restrições de uso, conforme a especificidade de cada área.

Figura 40 - Área Variável de Afluência das cabeceiras das sete nascentes.



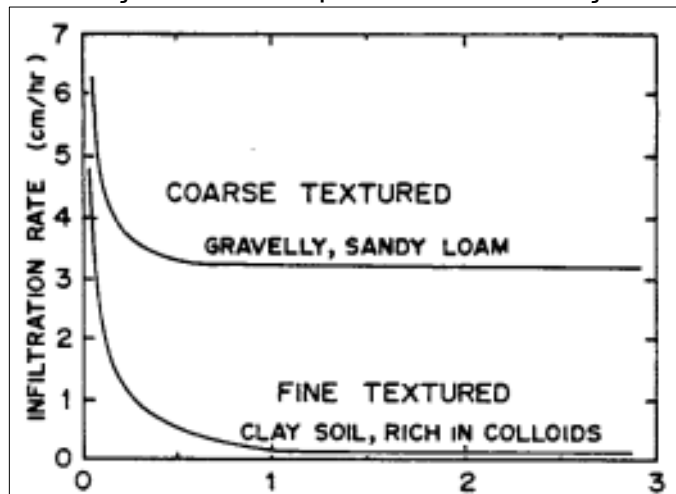
9.2. Material superficial e sua importância para a dinâmica hidrogeomorfológica

Sabe-se que a dinâmica hidrológica se processa em vários níveis. Embora sejam verificados diretamente apenas os processos que ocorrem em superfície, os cortes de talude nas estradas, as rupturas de declive presenciadas em feições erosivas mais severas, tendem a desvendar processos hidrodinâmicos a nível subsuperficial.

O levantamento de dados em campo, observações de imagens aéreas e de satélite e suas correlações permitem inferir a respeito destes processos, que são reiterados a partir de correlações com outros estudos.

Na busca de estabelecer relações entre as características dos materiais superficiais e a dinâmica nas nascentes, fizeram-se análises granulométricas das coberturas nas áreas adjacentes às nascentes. Ressalta-se a importância deste estudo, pois, de acordo com Dunne (1978), no geral, a capacidade de infiltração é maior em regiões com textura mais grosseira a arenosa, e, inversamente para texturas mais finas, em solos ricos em colóides, conforme apresenta o Gráfico 7.

Gráfico 7 - Relação entre a capacidade de infiltração e a textura.



Dunne (1978, p. 230).

Os resultados levantados a partir da aplicação destas análises laboratoriais contribuíram para melhor entendimento da tendência do comportamento da água no nível subsuperficial.

Alguns trabalhos de campo foram realizados em conjunto com Nazar (2018) no Chapadão Diamante. A autora fez um mapeamento das Geocoberturas desta área utilizando-se de análise interligada em ambiente SIG. As características

responsáveis pela diferenciação das coberturas foram a granulometria, a mineralogia, morfometria e análises topossequenciais, as quais contribuíram para maior compreensão dos graus de intemperismo e fundamentaram a distinção dos materiais superficiais.

Neste mesmo estudo, as análises granulométricas detalhadas por transectos do interflúvio para o fundo de vale foram realizadas em áreas próximas às nascentes deste estudo. Estes levantamentos deram suporte a presente pesquisa, indiciando os processos predominantes na vertente em conjunto com a intensidade do intemperismo. Isto favoreceu a correlação entre os dados produzidos em ambos os trabalhos.

Dentre as sete nascentes, a GP1, GP5, GP6 e GP7 situam-se sob os “Materiais Cascalho-arenosos com caos de blocos” (MCaCB); a GP2 situa na unidade dos “Materiais Cascalho-arenosos com concreções ferruginosas” (MCaCF); a GP3 assenta-se nos “Materiais Cascalho-arenosos com camada orgânica” (MCaCO); e, a GP4 está na transição da unidade dos “Materiais Cascalho-arenosos com caos de blocos” e “Materiais Cascalho-arenosos indiferenciados” (MCaCBCai). As correlações extrapolam os dados granulométricos, já que as feições do relevo, caracterizadas por Nazar e Rodrigues (2019) fornecem subsídio ao entendimento e diagnóstico do comportamento hidrodinâmico.

A geocobertura onde se assentam as nascentes GP1, GP5, GP6 e GP7 são marcadas pela presença de afloramentos rochosos com cristas de quartzito em relevo dissecado e/ou colinoso ondulado. Os blocos podem aparecer na paisagem de forma esparsa e sem arranjo ao longo da vertente, ou então, podem apresentar alinhamentos preferenciais pelas estruturas rochosas mais resilientes.

A média da inclinação das vertentes convexo-retilínea é de 10°. O predomínio da litologia mais resistente determina camadas delgadas sobre a rocha alterada, com ocorrências pontuais de deposição de materiais coluviais barrados pelos blocos aflorantes gerando uma camada mais espessa com saturação em água durante a época úmida (Figura 41). Em algumas destas áreas ocorrem fina camada superficial hidromórfica, estando vinculadas ao aprisionamento desta água em curtos períodos durante fases chuvosas, juntamente com a decomposição da vegetação ali presente, que também pode ser associada ao aporte de matéria em ocorrências de queimadas.

Figura 41 - Nível saturado a 25 cm em bolsões de deposição adjacente à nascente GP1.



Fonte: próprio autor (nov. 2016).

O nível freático subsubperifical é bastante variável ao longo da vertente. Nazar (2018) detectou anomalias nas curvas granulométricas nas áreas de deposição na media vertente em profundidade superior a 32 cm, cujo fator origina-se pela presença da rocha alterada.

Ao cavar trincheiras nas proximidades dos afloramentos quartzíticos, nas zonas com material mais espesso, verificou-se a saturação em nível mais profundo, entretanto, em zonas cujo material superficial é mais raso, a saturação de água ocorrera próxima à superfície. A Figura 42 apresenta dois pontos nas adjacências da nascente GP1, em que, pelas trincheiras rasas foi detectada presença de água não mais profundo que 10 cm.

Análises topossequenciais na área observaram que na média vertente, onde os afloramentos exuberantes dão lugar aos caos de blocos e a vertente se torna côncava, que o material coluvial tem constituição variada, com areia, cascalhos e calhaus.

Ainda em relação à granulometria, Nazar (2018) aponta que nos afloramentos as curvas granulométricas são descontínuas e mal graduadas, com marcante atuação do intemperismo físico em relação ao químico. Por outro lado, a autora aponta que nas zonas de deposição de colúvios, as curvas granulométricas foram mais contínuas e mais graduadas. Esta característica corrobora com os dados

obtidos em campo, que avalia estas zonas como regiões de maior atuação do intemperismo químico. A possibilidade de maior infiltração e acumulação de água em épocas chuvosas favorece a atuação da água sobre os materiais grosseiros, resultando em distribuição da granulação.

Figura 42 – Adjacências da nascente GP1: dois pontos com detecção do nível saturado até 10 cm de profundidade.



Fonte: próprio autor, (dez. 2017).

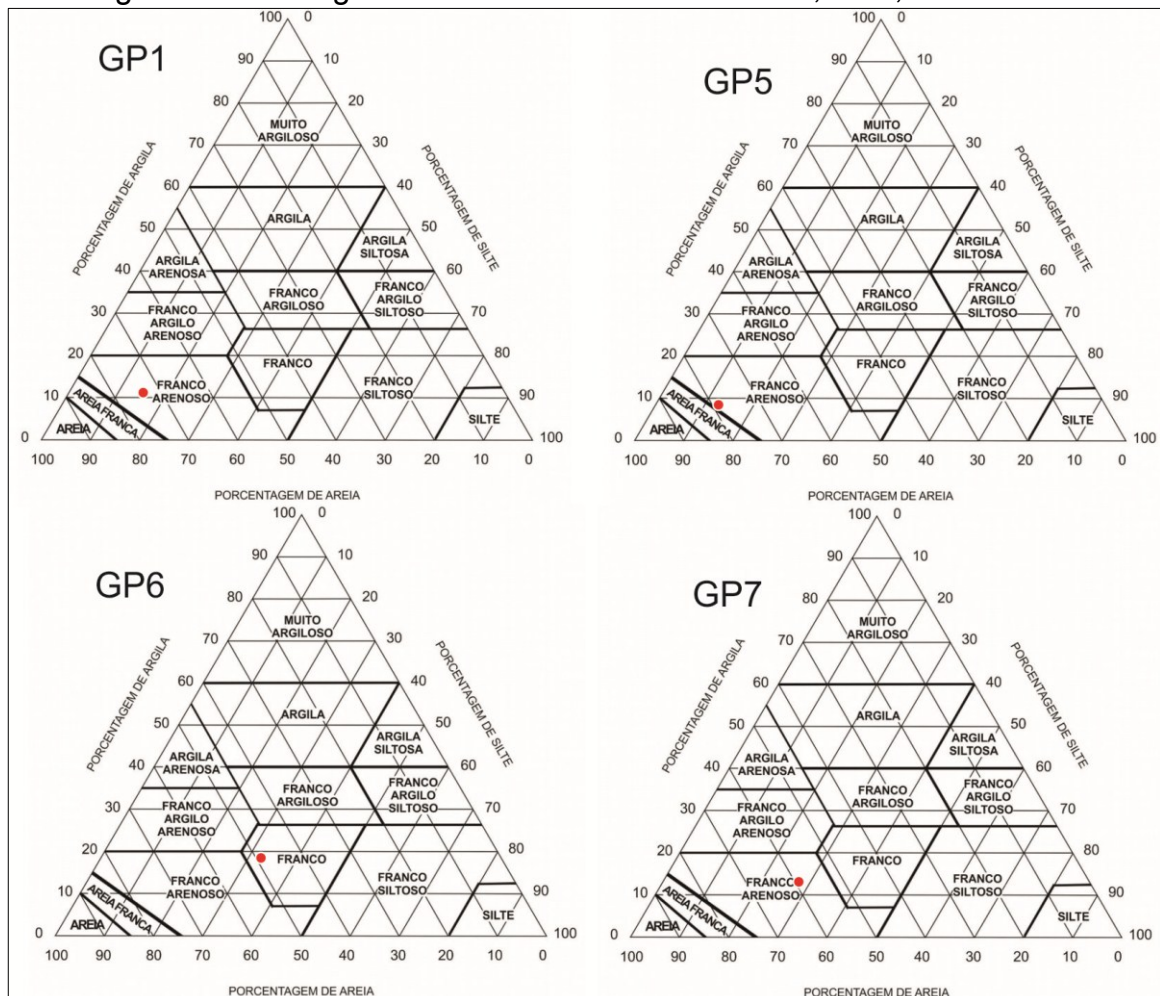
Da mesma forma que há uma oscilação da espessura do material, na granulometria também há representativas alterações. Elas estão principalmente vinculadas ao ponto de amostragem, que vai indiciar áreas de transporte (mal graduado) ou áreas de deposição e retrabalhamento (mais graduado). Contudo, o mais importante a se avaliar pelo aspecto hidrogeomorfológico é que, a geologia condiciona ao longo da vertente, áreas de maior ação do intemperismo físico e, em outras localidades, ação mais efetiva do intemperismo químico. Desta maneira, a Figura 43 e o Gráfico 8, mostram as curvas granulométricas do material mais grosso e o triângulo textural correspondente ao material mais fino.

Em relação à granulometria obtida pelo método da pipeta, que verifica as frações menores, notou-se um predomínio de areias. No triângulo textural, das

amostras nas quatro nascentes, três (GP1, GP3 e GP7) foram classificadas em franco-arenosas e uma em franca. Esta última, a nascente GP6 está diretamente vinculada à estrada e, portanto, seus valores tem representativa colaboração das atividades humanas.

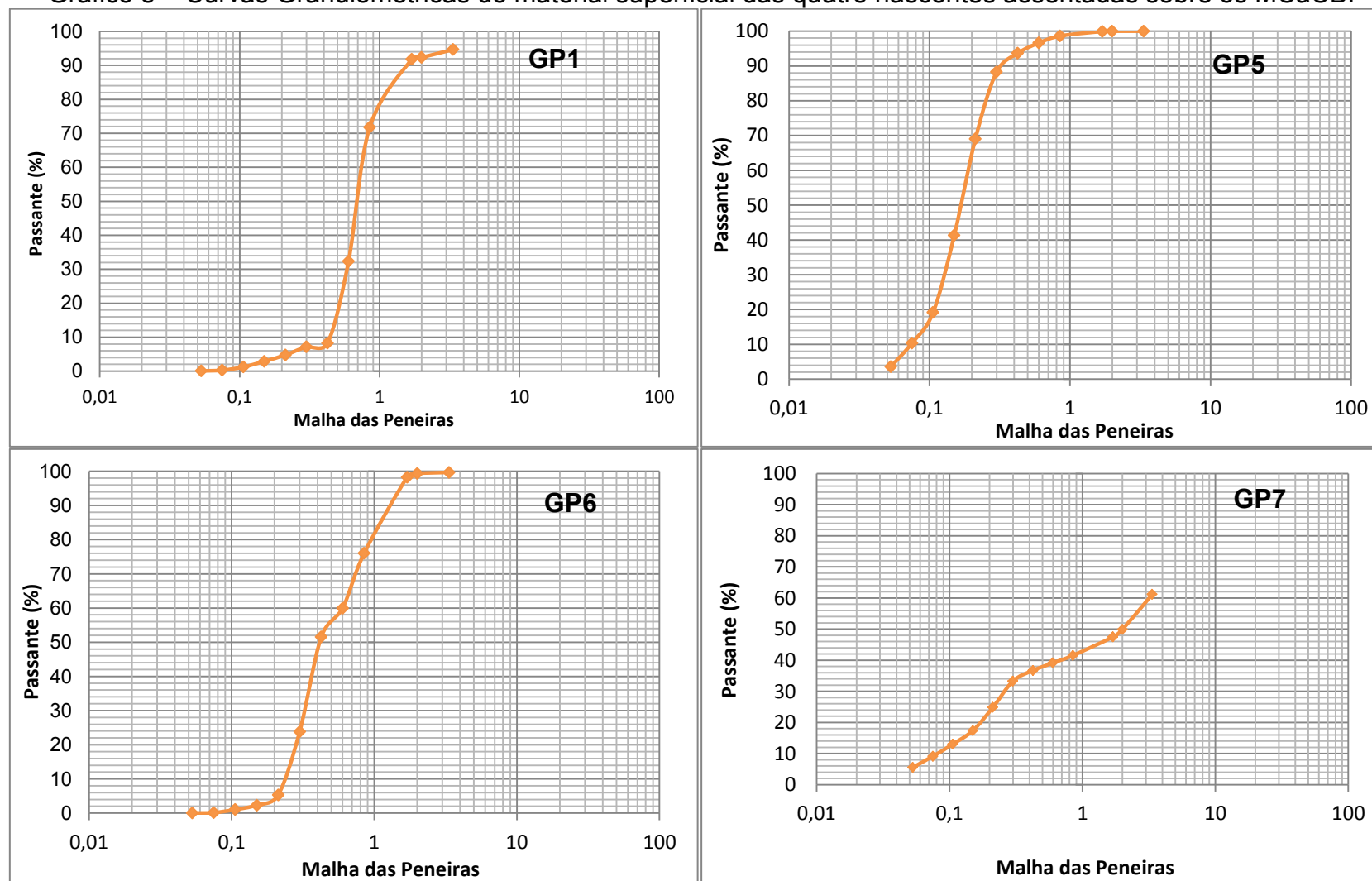
Dados de difratometria de raios-X divulgados por Nazar (2018) apontaram presença de caulinita e illita (mica hidratada) em profundidade de 12 cm nos bolsões de deposição, na alta vertente. Estes, em resumo, denotam uma forte atuação do intemperismo sob clima tropical úmido, com presença e atuação marcante da água. Já na baixa vertente, além de caulinita e illita (comparativamente ambas com maior expressão), também se verificou gibsita. Estas informações vão de encontro aos condicionantes geológico-estruturais e topográficos para o processo de intemperismo, ou seja, maior condição de aprisionamento de água, que vai atuar quimicamente sobre a rocha parental, retrabalhando inclusive a sílica e gerando argilominerais óxidos de alumínio.

Figura 43 – Triângulos texturais das amostras GP1, GP5, GP6 e GP7.



Fonte: próprio autor (2017 e 2018).

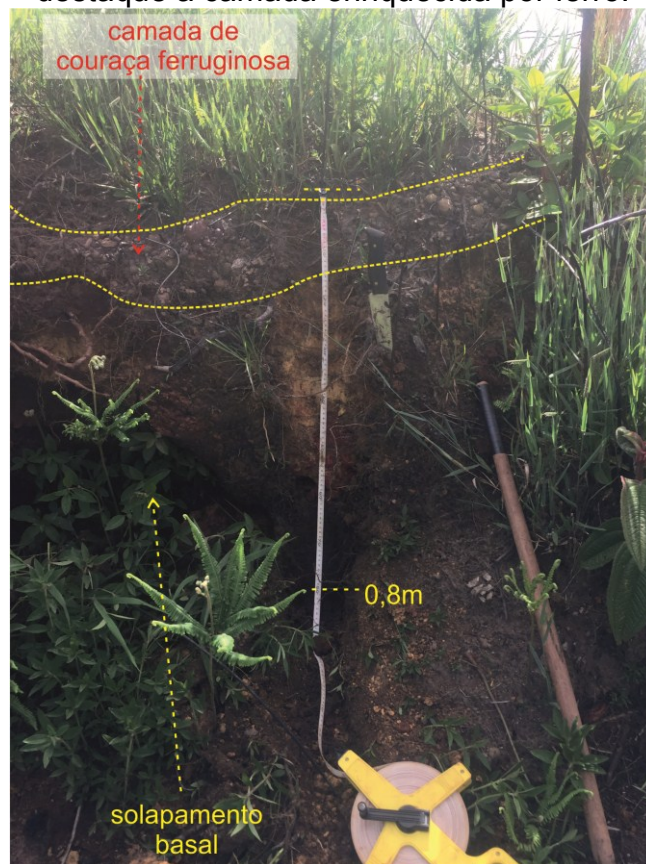
Gráfico 8 – Curvas Granulométricas do material superficial das quatro nascentes assentadas sobre os MCaCB.



Fonte: próprio autor, (2017 e 2018).

A nascente GP2 situa-se em área com camada superficial cascalhenta com marcante presença de nódulos ferruginosos ou então, com camada enriquecida por minerais de ferro entremeada ao manto de alteração (Figura 44). Este nível cimentado influencia nas formas erosivas, dificultando a remoção do material e criando alcovas. Pontualmente também ocorrem campos de murunduns ferruginosos. Ocupam as porções de topos planos, cuja inclinação é em torno de 4°, com predomínio de vertentes com curvaturas convexo-retilínea.

Figura 44 – Nascente GP2: parte da feição erosiva promovida pela nascente com destaque à camada enriquecida por ferro.

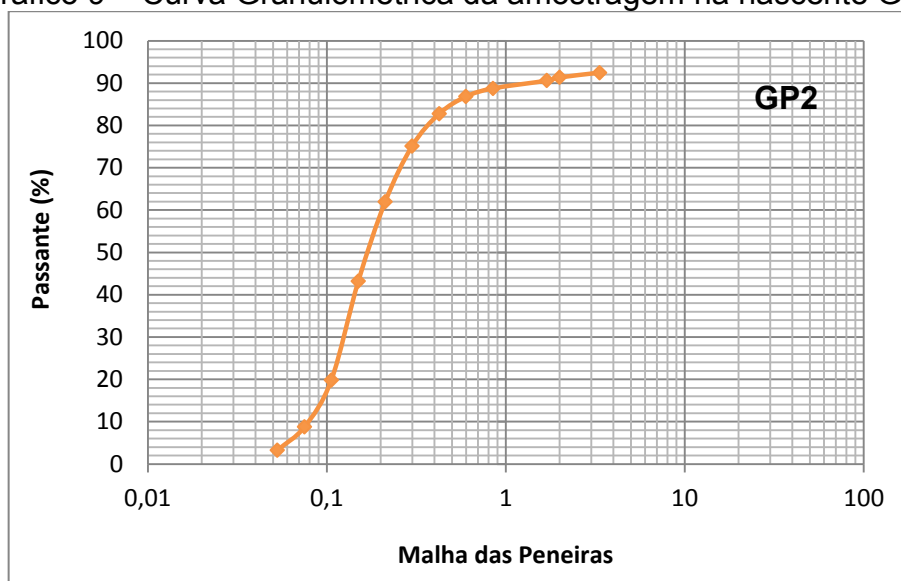


Fonte: próprio autor (jan., 2017).

Nazar (2018) também observou no transecto realizado nesta geocobertura que a camada laterítica surge entre 18 e 30 cm de profundidade, entretanto, é descontínua ao longo da vertente, sendo que seu reaparecimento pode estar vinculado ao contato litológico do quartzito e filito. Em alguns pontos esta mesma camada rica em ferro é impenetrável ao uso do trado. Esta referida camada tem função preponderante na dinâmica da água, já que cria um nível de saturação suspenso, também chamado de lençol empoleirado por Valente e Gomes (2011). Esta cobertura é responsável por gerar as áreas de afluência e nascentes efêmeras nesta vertente, sobretudo, no período das chuvas.

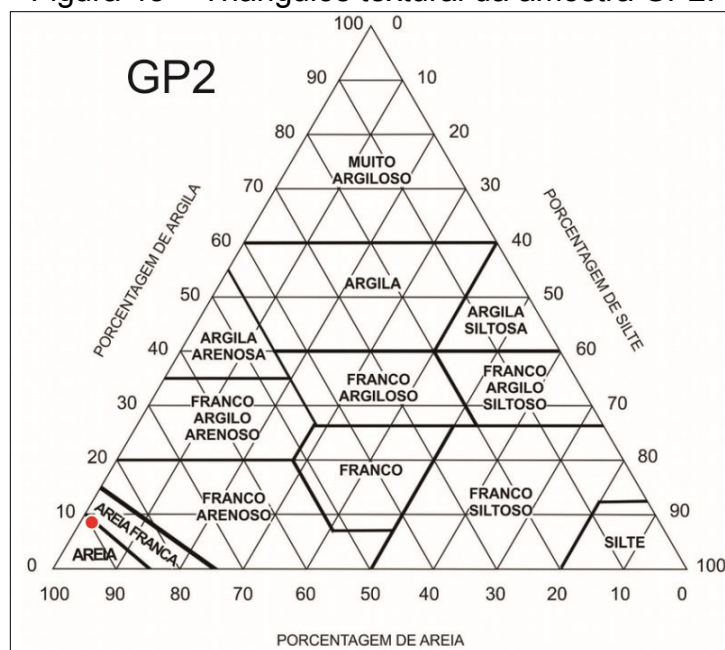
Sobre a textura do material de cobertura, o Gráfico 9 apresenta a granulometria obtida pelo peneiramento. Verifica-se uma curva granulométrica mais contínua e graduada. O fator que responde a esta característica relaciona-se à subcamada laterítica que tem capacidade de reter representativa quantidade de água em subsuperfície, facilitando o ataque intempérico da água sobre este material, que a princípio, é mais arenoso. Entretanto, pela análise da granulação fina, pelo triângulo textural, fica nítida a marcante presença do material arenoso (Figura 45).

Gráfico 9 – Curva Granulométrica da amostragem na nascente GP2.



Fonte: próprio autor (2018).

Figura 45 – Triângulos textural da amostra GP2.



Fonte: próprio autor (2018).

Em análises de difratometria de raios-x por Nazar (2018) em área correlata à nascente GP2, foram identificados pelo menos quatro elementos, a hematita,

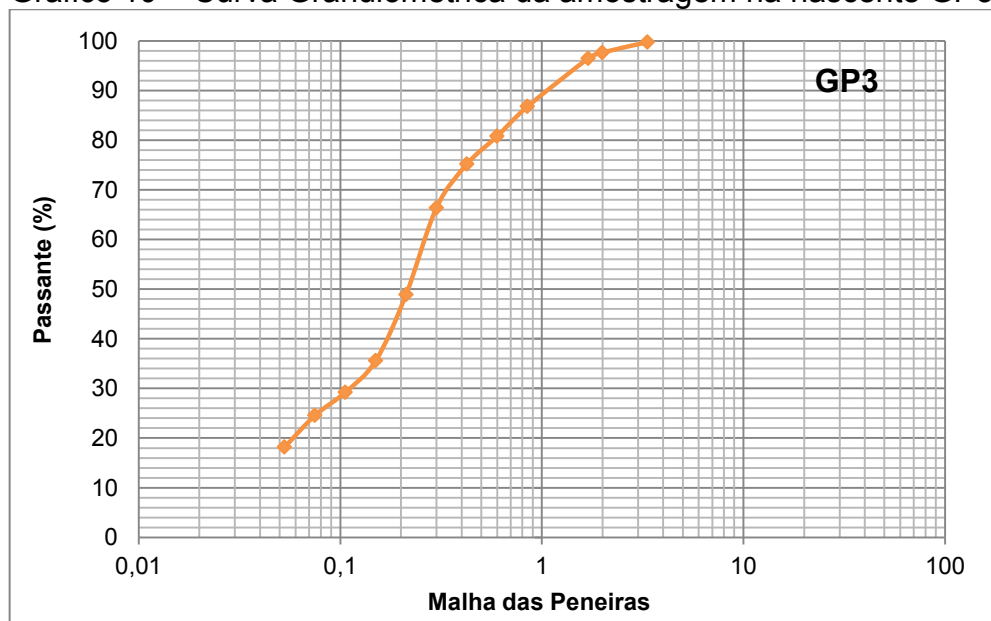
goethita, gibsita e nacrita. Assim, ratifica a onipresença de material ferruginoso, seja granular ou em camadas, além do avançado estágio intempérico dos materiais superficiais. A goethita e hematita contribuem na análise das oscilações sazonais da disponibilidade de água no meio, já que a primeira remete a um ambiente com drenagem deficiente e a segunda é gerada em ambiente bem drenado.

A nascente GP3 localiza-se em cobertura associada a topos planos, por vezes interflúvios, e relevo suavemente dissecado, com inclinação média de 6° em vertentes retilíneas. A onipresença da rocha mais resistente (quartzito) condiciona camada delgada de cascalhos e areia sobreposta à rocha alterada (de coloração esbranquiçada a amarelada) com presença de uma camada superior orgânica, sobretudo pela má drenagem das camadas superiores em períodos chuvosos.

Atenta-se que a camada de matéria orgânica não se restringe às áreas mapeadas por Nazar (2018). Esta camada ocorre em material sob condições de aprisionamento de água inter-granular e capacidade de estabelecimento de vegetação, comumente a rupestre. Geralmente são vertentes retilíneas ou côncavas, ou então, compostas por áreas de deposição barradas pelos afloramentos.

A curva granulométrica é relativamente contínua e graduada, apresentada no Gráfico 10. As frações menores, apresentado pelo triângulo textural (Figura 46) demonstra marcante presença de areia sobre argilas, sendo esta cobertura classificada como franco arenosa. Ademais, o índice de vazios obtido na adjacência desta nascente foi de 3,9 e a porosidade, perto de 8%.

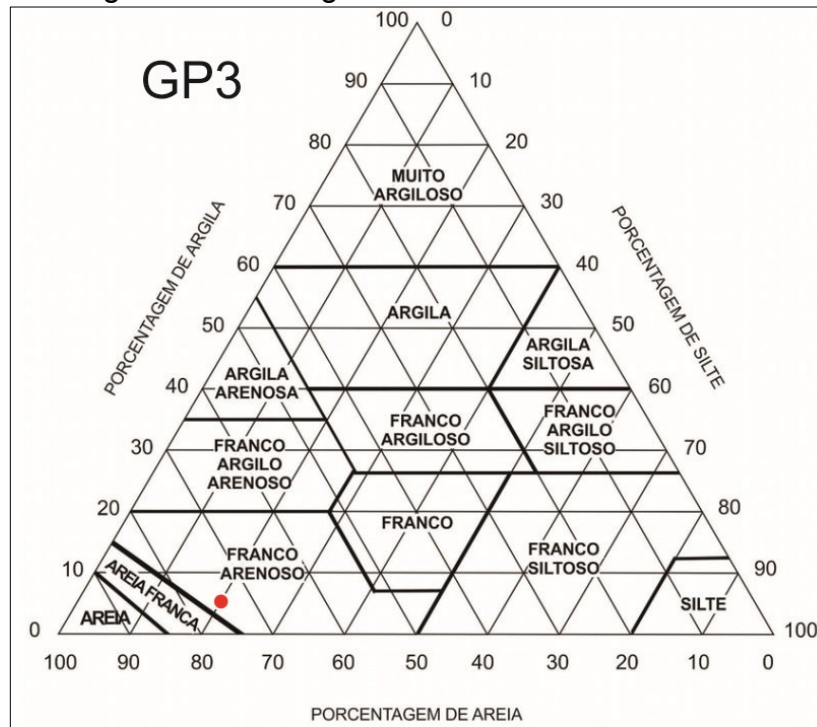
Gráfico 10 – Curva Granulométrica da amostragem na nascente GP3.



Fonte: próprio autor (2018).

A nascente GP4 situa-se em área caracterizada pelos relevos mais dissecados do ChD, com declive médio de 8° sob vertentes convexo-retilíneas, que condicionam incipientes camadas de cascalho e areia.

Figura 46 – Triângulo textural da amostra GP3.

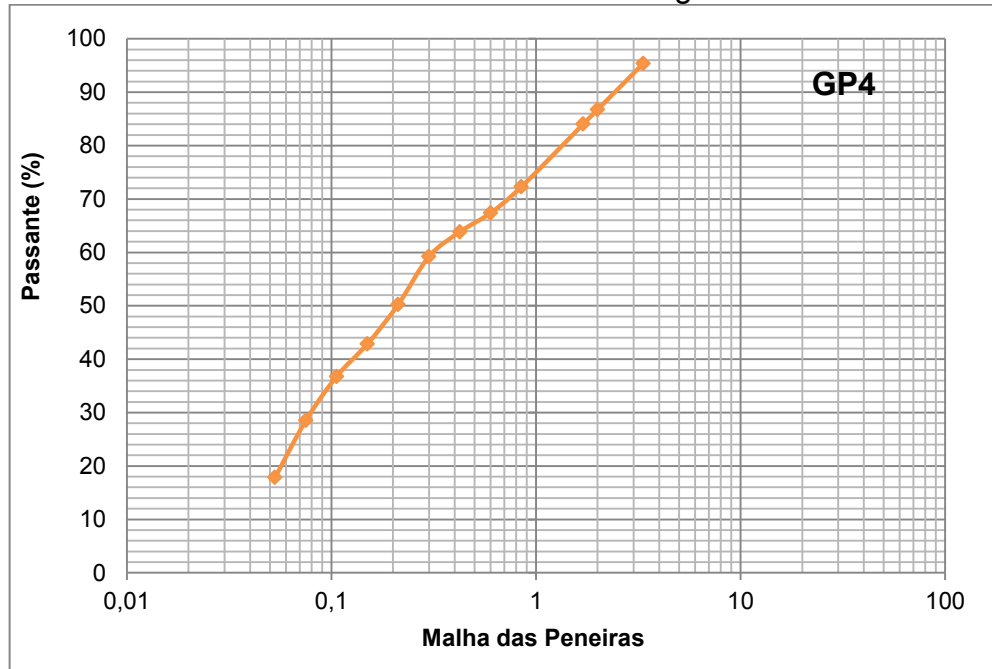


Fonte: próprio autor (2018).

As frações granulométricas obtidas pelo peneiramento apontam uma curva mal graduada (Gráfico 11). As frações mais finas, obtidas pela pipetagem demonstraram um incremento de frações siltosas (Figura 47). As adjacências desta nascente apresentam fortes desníveis na estrada, marcado por material esbranquiçado, comum de filitos. Esta nascente tem grande contribuição de material oriundo da estrada, logo, infere-se que estas amostras tem grande contributo do material siltoso.

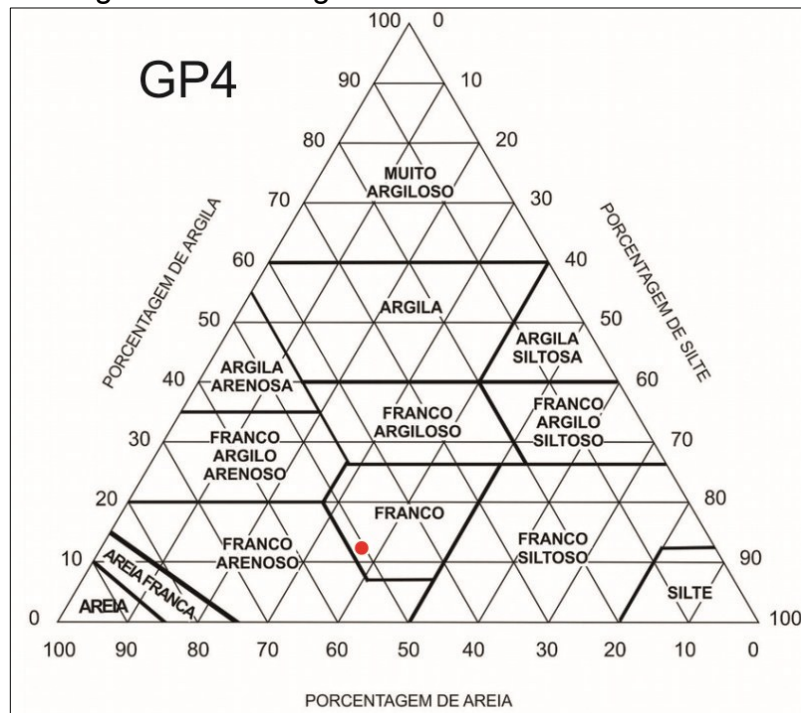
Embora os mapeamentos geológicos apontem, em geral, duas litologias predominantes na área de estudo, o quartzito intercalado a filitos, sabe-se que o metamorfismo condiciona rearranjos estruturais distintos devido aos esforços sofridos pelos pacotes rochosos. Desta forma, diferentes alinhamentos e subalinhamentos, e distintos níveis de resistência da litologia, condicionam variadas formas no relevo, que por sua vez vão influenciar diretamente no material subjacente.

Gráfico 11 – Curva Granulométrica da amostragem na nascente GP4.



Fonte: próprio autor (2018).

Figura 47 – Triângulos textural da amostra GP4.



Fonte: próprio autor (2018).

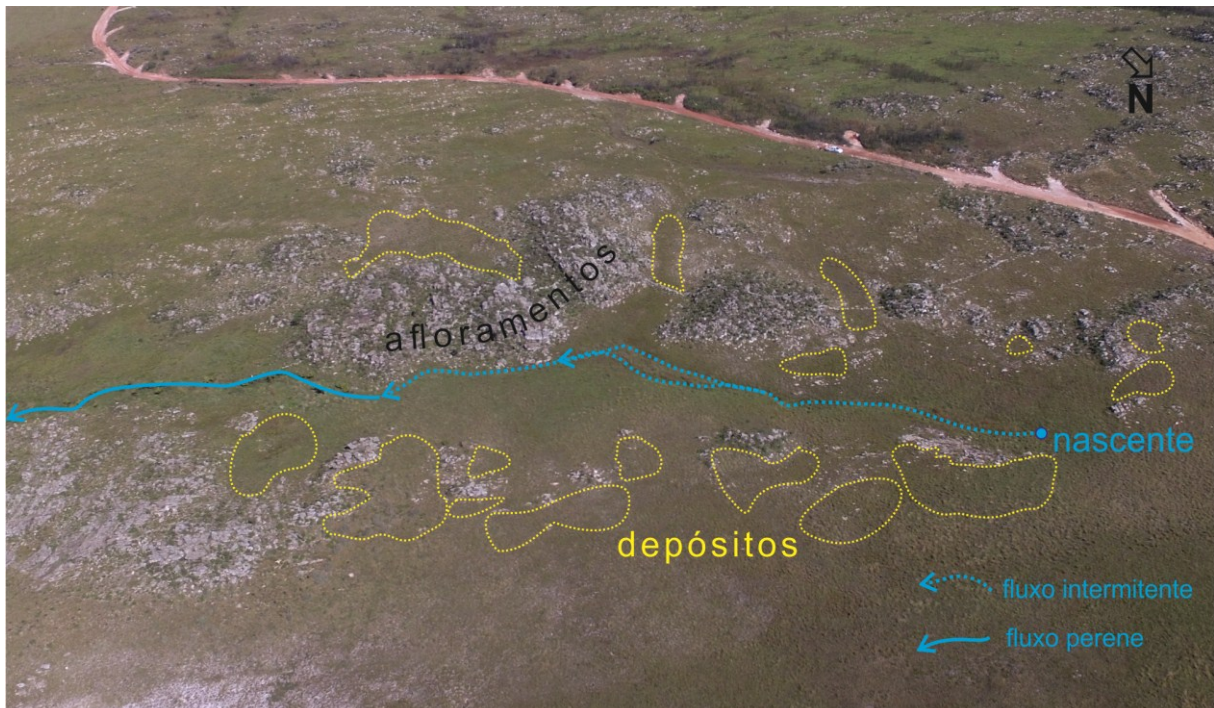
Logo, as rochas com maior resistência, ou seja, os quartzitos puros são notadas nas áreas de cristas quartzíticas e afloramentos abundantes. Já nas porções de relevo mais dissecado, ocorrem os quartzitos micáceos e filitos. Importante destacar que, embora nas áreas com predomínio de afloramentos, o posicionamento destas rochas na vertente promovem zonas pontuais de deposição,

que tem condições de acumular água em épocas chuvosas. Entretanto, devem ser considerados como pequenos reservatórios, pela sua extensão e profundidade limitada.

Desta maneira, optou-se por apresentar as sete nascentes através de blocodiagramas. Neles busca-se mostrar não só em superfície, mas também em subsuperfície, fatores, características e processos que interferem na dinâmica da água, tendo as sete nascentes como modelos adotados na serra da canastra.

Em relação ao blocodiagrama da nascente GP1 é importante destacar algumas situações. A drenagem se instala perpendicular à disposição dos quartzitos, os quais estão inclinados de SE-NO. Estes, quando aflorantes, em formas de cristas se tornam barreiras ao transporte dos sedimentos na vertente. Com isto, ocorre o acúmulo de sedimentos a montante dos afloramentos, que denominamos de bolsões de deposição (Figura 48).

Figura 48 – Nascente GP1: bolsões de deposição condicionados pelos afloramentos rochosos.



Fonte: Próprio autor, 2018.

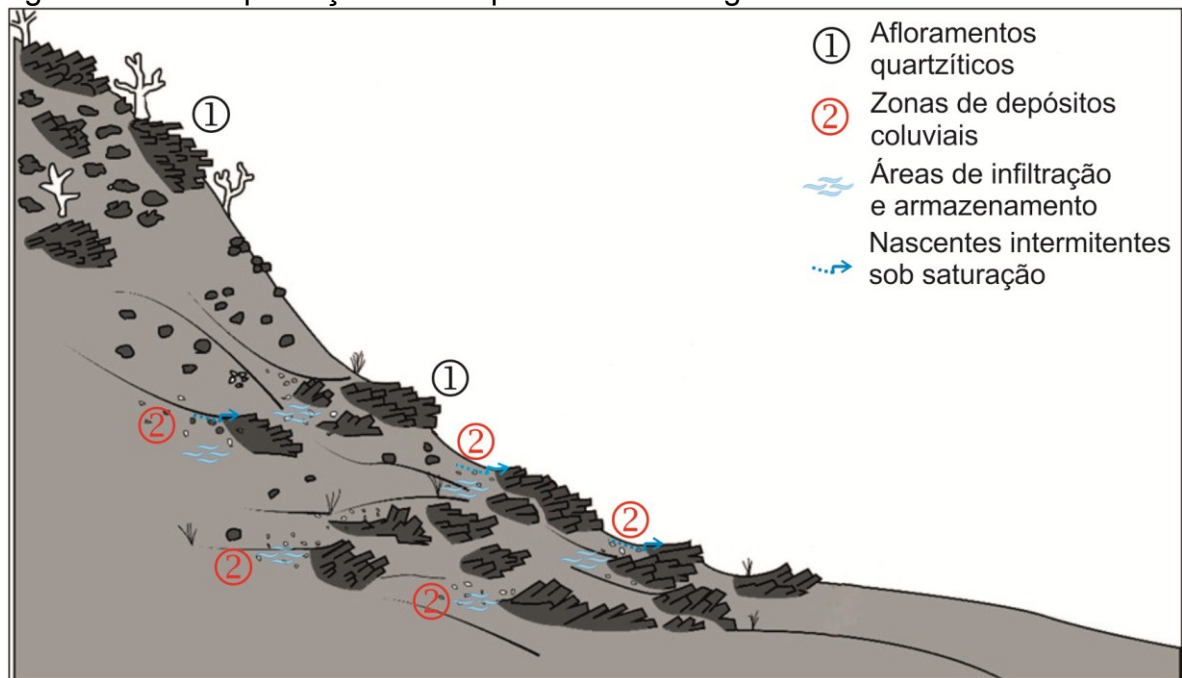
As tradagens realizadas para investigar a espessura destes depósitos controlados, indicaram que, em geral, eles dependem da área fonte dos sedimentos, da inclinação e extensão da vertente e do porte e arranjo do afloramento, o que significa dizer que, em áreas com grande aporte de sedimentos, inclinação superior a 5° e rochas aflorantes com pelo menos 10 cm acima da superfície, são condições de grande favorecimento a depósitos com camadas de até 1,5 metros.

As áreas dos bolsões são, em potencial, os locais com maior capacidade de estocagem de água. Elas oferecem condições à infiltração por conter um material superficial granular e poroso, diferentemente, das áreas com fina camada de solo e das camadas com afloramentos. Desta maneira, destaca-se que estes bolsões tem função primordial à dinâmica da água no alto do Chapadão Diamante.

Nos episódios chuvosos, são as áreas com maior capacidade de infiltração de água, favorecendo a infiltração em detrimento do escoamento superficial e passagem rápida da água pelo exultório, que por vezes, vai desencadear processos erosivos de grande monta.

Por esta razão, estoca água e favorece a frente de intemperismo subsuperficial. Com isso, promove a pedogênese sob o quartzito, o que vai ampliar a capacidade de estocagem de água pela evolução vertical do solo, originando uma funcionalidade cíclica (Figura 49). Desta forma, quanto mais água acumula, maiores são as possibilidades de ampliação do perfil intempérico, conseqüentemente, maior a camada superficial para acúmulo de água. Ainda, por assumir a função no estoque de água, oferece condições para que o lençol freático seja abastecido pelo sistema de fraturas das rochas metamorfasadas.

Figura 49 - Exemplificação do comportamento da água em áreas com afloramentos.



Fonte: Modificado de Nazar (2018).

Por outro lado, nas porções do terreno onde se presencia os afloramentos, as características são quase opostas. Tem-se uma rocha praticamente maciça na superfície, oferecendo baixa condição de infiltração rápida exceto em fraturas

evidentes. A pedogênese atua nos interstícios entre faixas mais e menos resistentes das rochas. Estes locais tendem a estruturar a instalação da rede de drenagem quando se encontram alta e média vertente. Já na baixa vertente, a influência na drenagem é evidenciada inclusive com geração de pequenos poços, onde a resistência da rocha sobrepuja a capacidade erosiva do canal de primeira ordem.

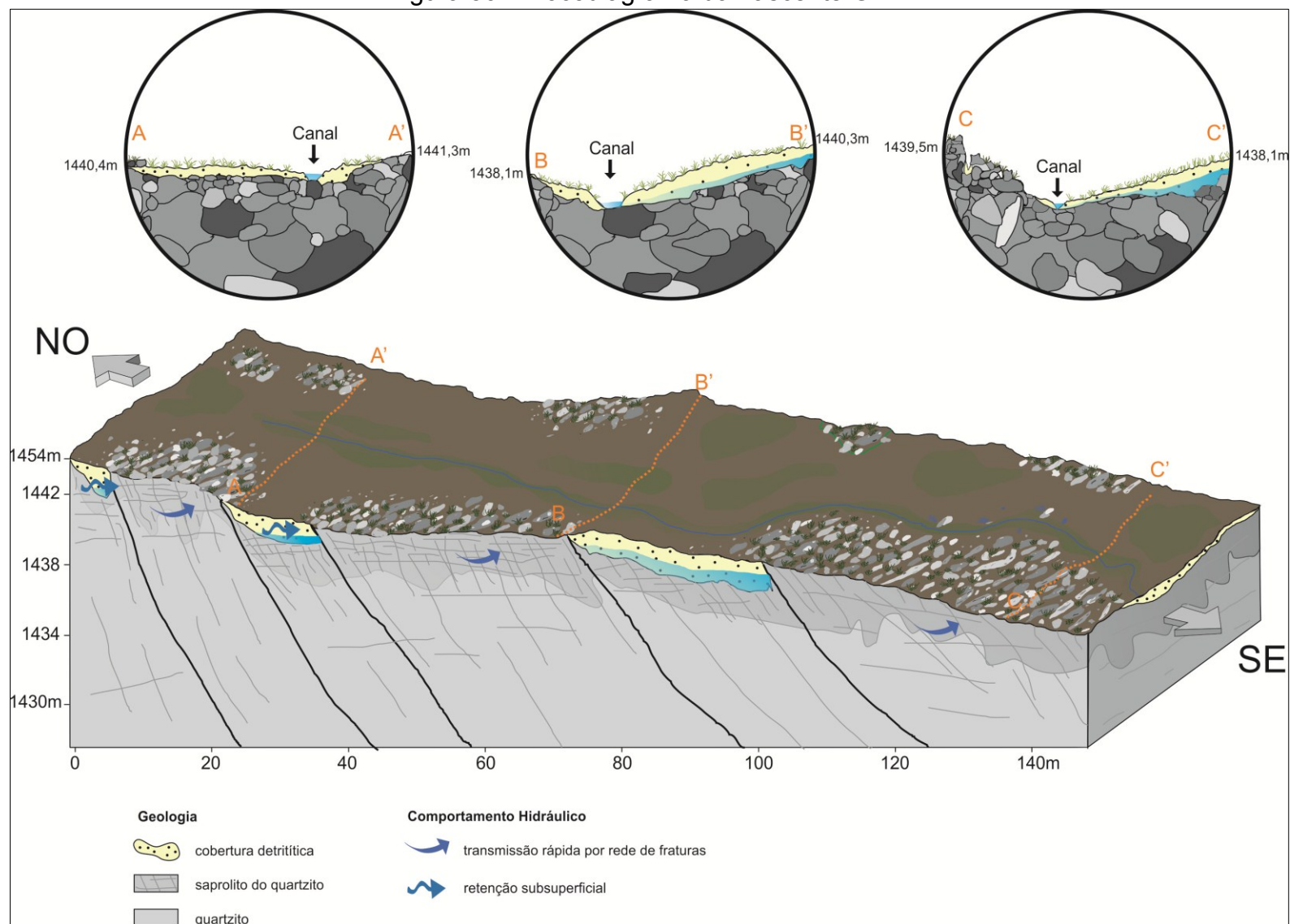
Com o intuito de pormenorizar variados pontos ao longo dos metros iniciais do canal de primeira ordem, fizeram-se algumas secções perpendiculares à linha de drenagem. Pelos perfis topográficos transversais (círculos superiores) nota-se a evolução do relevo pela dissecação da drenagem (Figura 50).

Em A-A', onde se inicia o canal de primeira ordem, as margens são bastante planas e a cobertura inconsolidada muito delgada, onde o canal está levemente balizado para a sua margem esquerda. A nascente surge pelo contato desta fina camada com o afloramento rochoso.

No perfil B-B', na média vertente, já é possível notar que o canal drena em meio a uma camada superior um pouco mais evoluída, entretanto, ainda sim, as águas correm sobre as rochas.

No último perfil (C-C'), a margem direita é totalmente marcada por afloramento, e a contribuição dos fluxos de base tende a se concentrar pela margem esquerda. Comparativamente, nas áreas com material de cobertura, a água desloca-se lateralmente no contato solo-rocha. Já nas áreas de afloramentos, a configuração e disposição rochosa nesta nascente favorece que a água infiltrada desloque-se verticalmente.

Figura 50 - Blocodivograma da nascente GP1.



Fonte: próprio autor, 2019.

A disposição do alinhamento rochoso associado ao material de cobertura mais evoluído faz com que o relevo que circunda a nascente GP2 seja mais suavizado. Por este motivo, a dinâmica da água se difere das demais nascentes pesquisadas.

Esta nascente existe a partir de uma forma erosiva que, simultaneamente, retroalimenta o processo de erosivo. Já destacado por diversos autores (MESSIAS, 2014; NAZAR, 2018; SIMÕES *et al.*, 2015) nas áreas de topo e centrais ao Chapadão Diamante, ocorrem coberturas detrito lateríticas e esta nascente estabelece-se sob estes materiais. A forma adquirida da nascente é tipo de retração de cabeceira em dígito. A parede da forma tem quase dois metros de altura, e, ao longo dela (1 metro de altura) é presenciado um nível de couraça ferruginosa.

Nesta área, ao menos duas importantes funções adquiridas por esta camada encouraçada foram notadas. A primeira diz respeito à feição erosiva, a segunda se refere à dinâmica da água subsuperficial, embora ambas as funções ajam associadas.

O nível de couraça apresenta uma cimentação pronunciada e sua rigidez sustenta o material sobrejacente. Este, por sua vez sofre solapamentos ao passo que a erosão age na base, promovendo erosão remontante. Como resposta se tem a formação de alcovas de regressão. Pela sua característica de cimentação, também possui nível de permeabilidade baixo, ou seja, tem capacidade de formar um subnível d'água suspenso, forçando o deslocamento lateral da água infiltrada. O círculo superior mostra estes dois níveis de saturação do perfil.

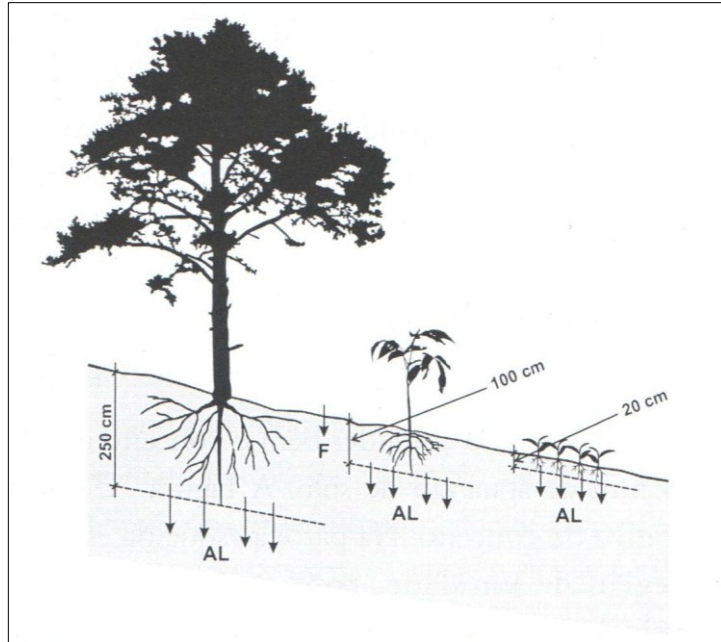
A água subsuperficial que supera o primeiro nível (da couraça), provavelmente por infiltrar em áreas onde ela não atua, vai agir na frente de intemperismo sob o quartzito tendendo a infiltrar pelo sistema de fraturas da rocha, auxiliando no reabastecimento do lençol freático. O primeiro nível tem ação exclusivamente após o início de precipitações e perduram após os meses de alta umidade, ou seja, de outubro a março.

Cerca de 100 metros à jusante da nascente, depósitos coluviais são formados. Estes se devem ao grande aporte de sedimentos gerado pela estrada. Presencialmente é possível observar o material de transporte sendo carregado para a cabeceira, especialmente pela execução de valas de escoamento pluvial das estradas, as quais, na grande maioria não possuem zonas de retenção. Neste trecho do canal, embora possua vegetação exuberante, diferente das áreas circunvizinhas

da cabeceira, são pontos com grande consumo de água subsuperficial pelo sistema radicular das plantas, processo já asseverado por Valente e Gomes (2011), onde ocasionalmente o canal desaparece, ressurgindo mais à jusante, situação descrita outrora por Faria (1997).

A Figura 51 esquematiza diferentes portes da vegetação e o alcance do seu sistema radicular.

Figura 51 - Vegetação de diferentes portes e seus sistemas radiculares.

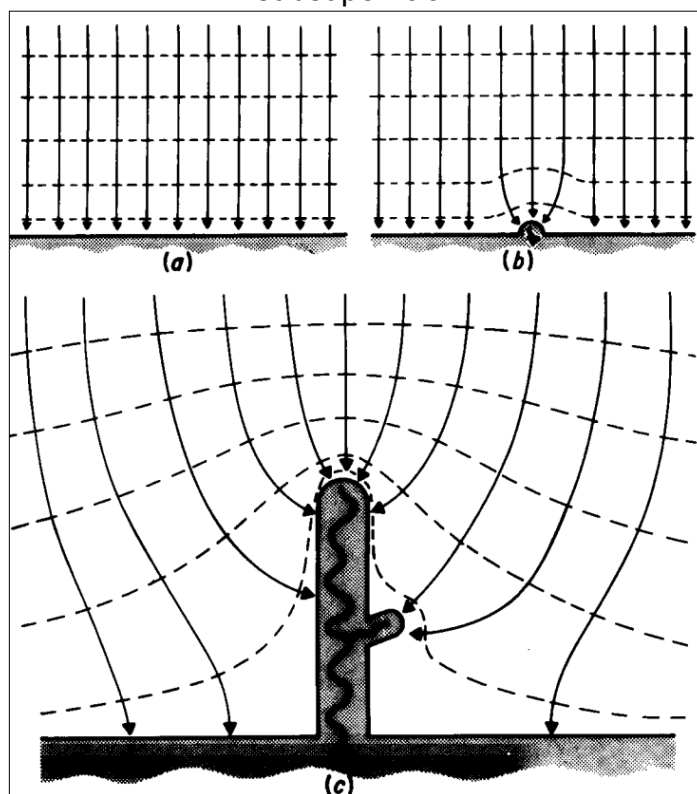


Fonte: Valente e Gomes (2011). AL: água para o lençol

As formas presenciadas nesta nascente remetem ao modelo descrito por Dunne (1980). Na proposta de evolução da rede de drenagem defendida pelo autor, a exfiltração e a retração da cabeceira de drenagem são marcadas pela atividade dos fluxos subterrâneos. Perpassando por três estágios, o processo inicia-se a partir da suave inclinação da superfície pela existência de linhas paralelas de fluxo subsuperficial, com a geração da nascente pela exfiltração deste fluxo anteriormente não evidente, até a retração da cabeceira, desvelando outros fluxos subsuperficiais, retroalimentando todo o processo.

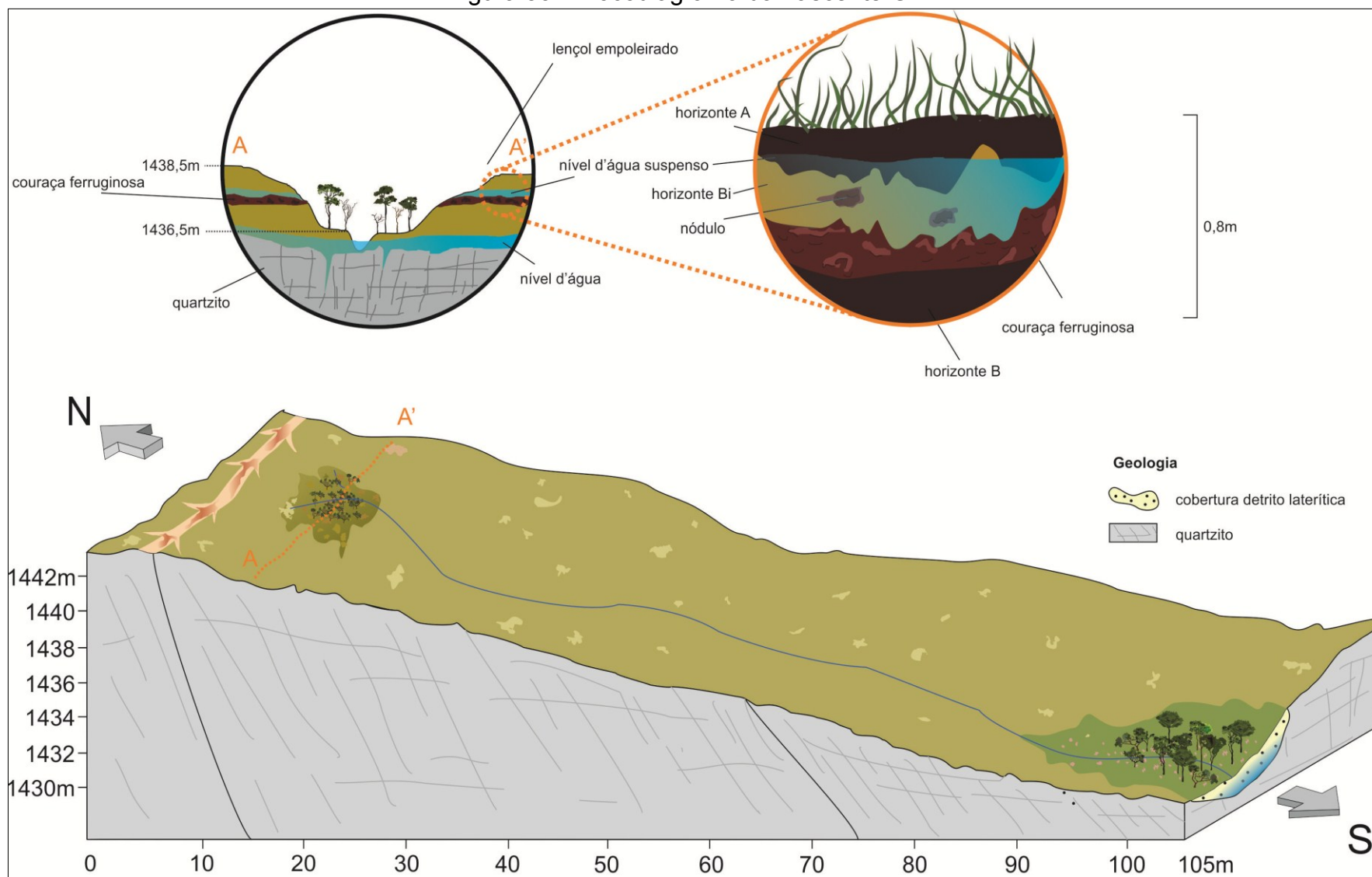
A Figura 52 ilustra o modelo que representa a nascente e os primeiros metros do canal de primeira ordem gerado por ela. Como forma de sintetizar as informações levantadas e descritas sobre a nascente GP2, a Figura 53 apresenta um blocodiagrama da nascente e suas adjacências.

Figura 52 - Evolução da feição erosiva pela ação do fluxo subterrâneo e subsuperficial.



Fonte: Dunne (1980, p. 228).

Figura 53 - Blocodiagrama da nascente GP2.



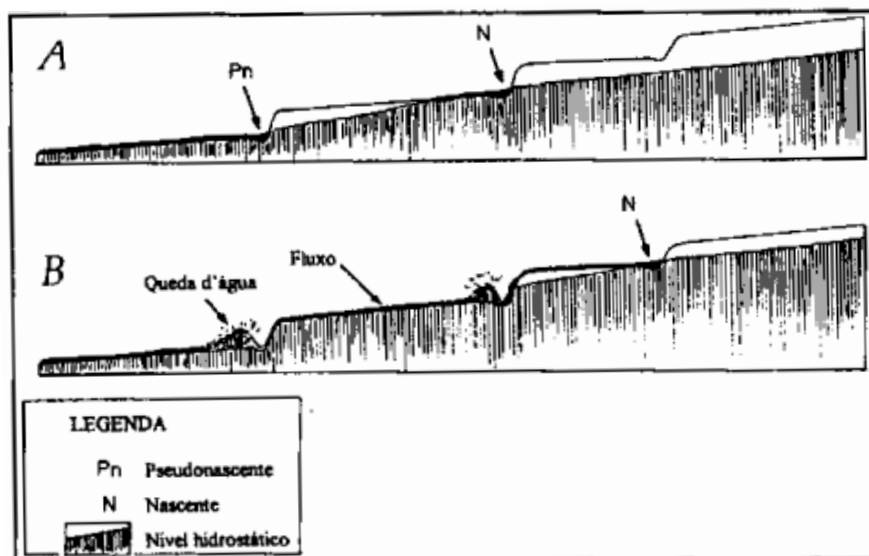
O relevo que compõe a cabeceira da nascente GP3 é fortemente estruturada pela geologia. Como observado na análise geomorfométrica, a área de captação de água para a nascente é a maior delas.

O canal de drenagem surge a partir de dois pontos de exfiltração cujo contato entre a fina camada de material inconsolidado assenta-se sobre a rocha. Avaliou-se que uma fina camada superior distribui-se de forma mais ou menos uniforme por toda adjacência do canal. O alto grau de arredondamento da área de captação é refletido também no coeficiente de compacidade ($K_c = 1,51$). As características supramencionadas condizem com uma pequena bacia sujeita a inundações diante de episódios chuvosos de média intensidade, fato recorrente na área em estudo.

A linha de drenagem também apresenta elementos que evidenciam a estruturação pela litologia. A direção e mergulho das camadas quartzíticas são evidentes em alguns poucos pontos na vertente, mas onde foi removida a cobertura superficial pela incisão da drenagem, verifica-se a ruptura de declive e a formação de *knickpoints* com pequena queda d'água e poços imediatamente abaixo.

O deslocamento do ponto de exfiltração à jusante ocorre com a redução das precipitações e consequente rebaixamento do nível hidrostático, já que é uma região com reduzida capacidade de armazenamento. Estas características já foram observadas em outros estudos, como o de Faria (1997), pormenorizado na Figura 54, que também destaca as pseudonascentes que ocorrem pelo ressurgimento da água infiltrada à montante.

Figura 54 - Variação do nível hidrostático e deslocamento do ponto de exfiltração.



Fonte: Faria (1997, p. 79).

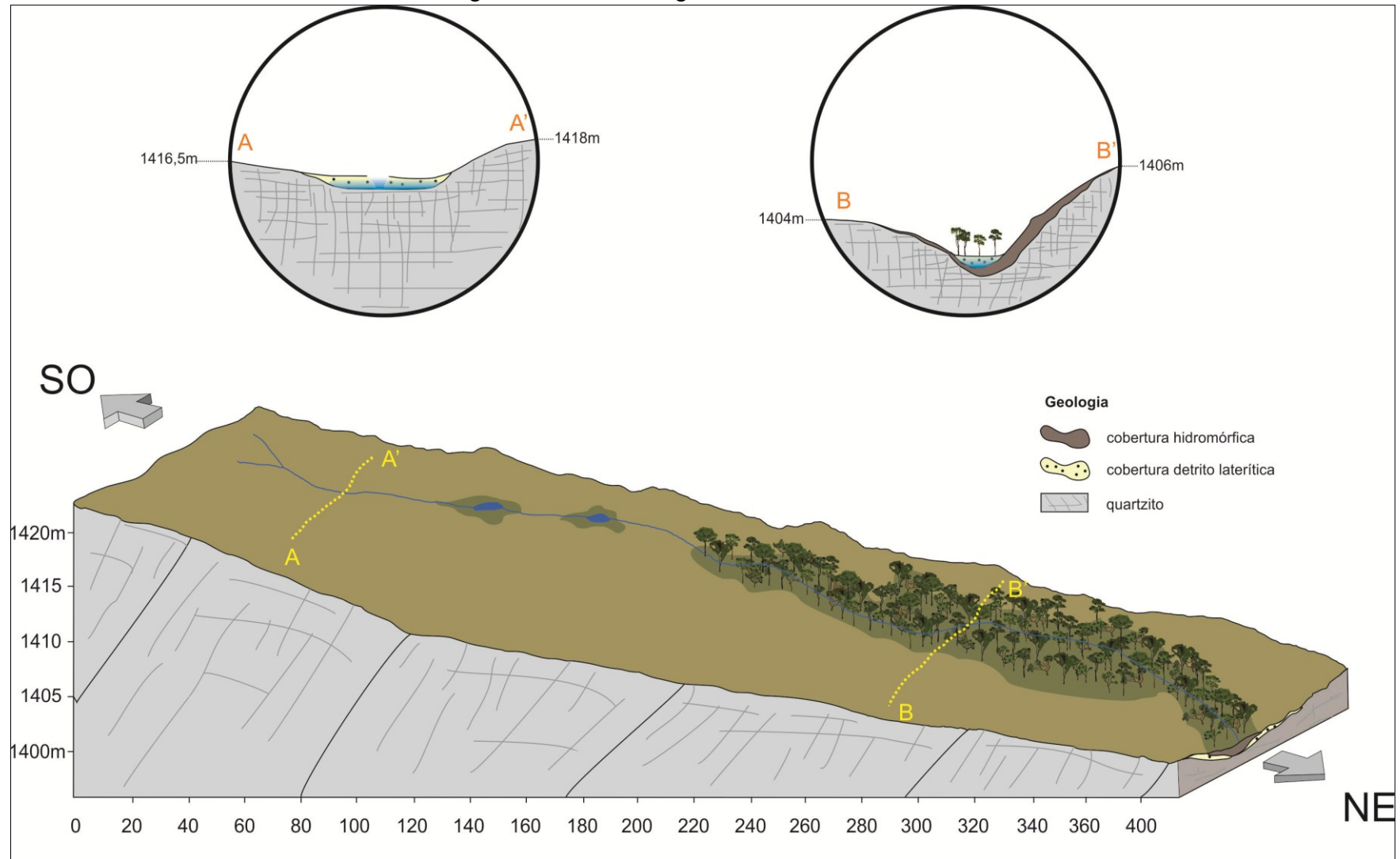
Em situação similar à nascente GP2, mas, em maior proporção, a calha da drenagem gerada pela nascente GP3 possui uma área de deposição de material aluvionar. O material arenoso produzido pelo intemperismo do quartzito, em processo de vertente é transportado para o fundo de vale, acumulando-se em pontos de favoráveis, seja pela redução da energia de transporte ou por estrutura rochosa aflorante.

O perfil B-B' da Figura 55 mostra em detalhes esta condição. Uma camada de depósito foi observada em campo, cuja espessura supera 1 metro, e também sustenta um nível superior hidromórfico. Também se pode notar que, neste trecho, o entalhamento da drenagem produziu vertentes com alta declividade, onde o canal é bem encaixado.

Contudo, faz-se necessário uma importante reflexão acerca das áreas de preservação permanente, sobretudo, as matas ciliares. Trata-se de uma região muito dinâmica, seja na espessura como na quantidade de água retida. Com lençol freático pouco profundo, e as árvores de maior porte, que, por consequência possuem raízes mais profundas, atingem facilmente a orla de capilaridade, que se situa imediatamente acima do nível freático, fornecendo, portanto, água a estes vegetais.

Desta maneira, ao passo que se tem estas áreas com grande número de indivíduos, maior absorção de água ocorrerá pelo sistema radicular das árvores. Assim, mata ciliar muito densa, produz uma taxa de transpiração elevada, capaz de concorrer com o volume disponibilizado pela nascente (VALENTE; GOMES, 2011).

Figura 55 - Blocodiagrama da nascente GP3.



Fonte: próprio autor, 2019.

A nascente GP4 encontra-se na região mais fortemente condicionada pela litologia. Neste local, os afloramentos quartzíticos são muito evidentes, sobretudo, pela sua alta resistência, característica responsável por sustentar o Chapadão Diamante.

Também marcado por um relevo mais movimentado, se comparado às demais nascentes, em associação com a dureza da rocha, condicionam uma baixa taxa de pedogênese, garantindo um material de cobertura raso em praticamente toda a cabeceira. Algumas exceções ocorrem principalmente às margens da estrada, onde as valetas de drenagem pluvial ofertam grande quantidade de material arenoso transportado pelos caminhos preferenciais da estrada. Observando imagens aéreas é possível distinguir toda a área onde a deposição ocorre, inclusive, recobrando a área de contribuição dinâmica, que é muito importante para a sobrevivência da nascente.

O princípio do fluxo ocorre no contato entre solo e rocha, justamente no ponto onde a mesma aflora. A exfiltração se dá por um merejamento neste contato, que, à jusante vai criar um fluxo por um caminho preferencial, possibilitando a medição da vazão e agindo na desnudação da paisagem de forma bastante eficiente, mesmo que sua atuação cesse durante alguns meses no ano.

Em situação parecida com a nascente GP3, ao longo do canal ocorre uma área de deposição. Reserva-se um trecho do córrego iniciado pela nascente GP4, em que se deposita, por transporte de vertente, uma grande quantidade de material, que armazena água durante todo o ano. A vegetação estabelecida sob este material é capaz de gerar uma camada húmica, conforme observado na Figura 56.

Mesmo tendo uma alta porcentagem de escoamento subsuperficial, isso não indica que haverá contribuição para o armazenamento do lençol, sobretudo, se o material superficial assenta-se sob quartzito, apontado por Valente e Gomes (2011, p. 162) como um material com baixo percentual de espaços disponíveis para infiltração de água, cerca de 1%.

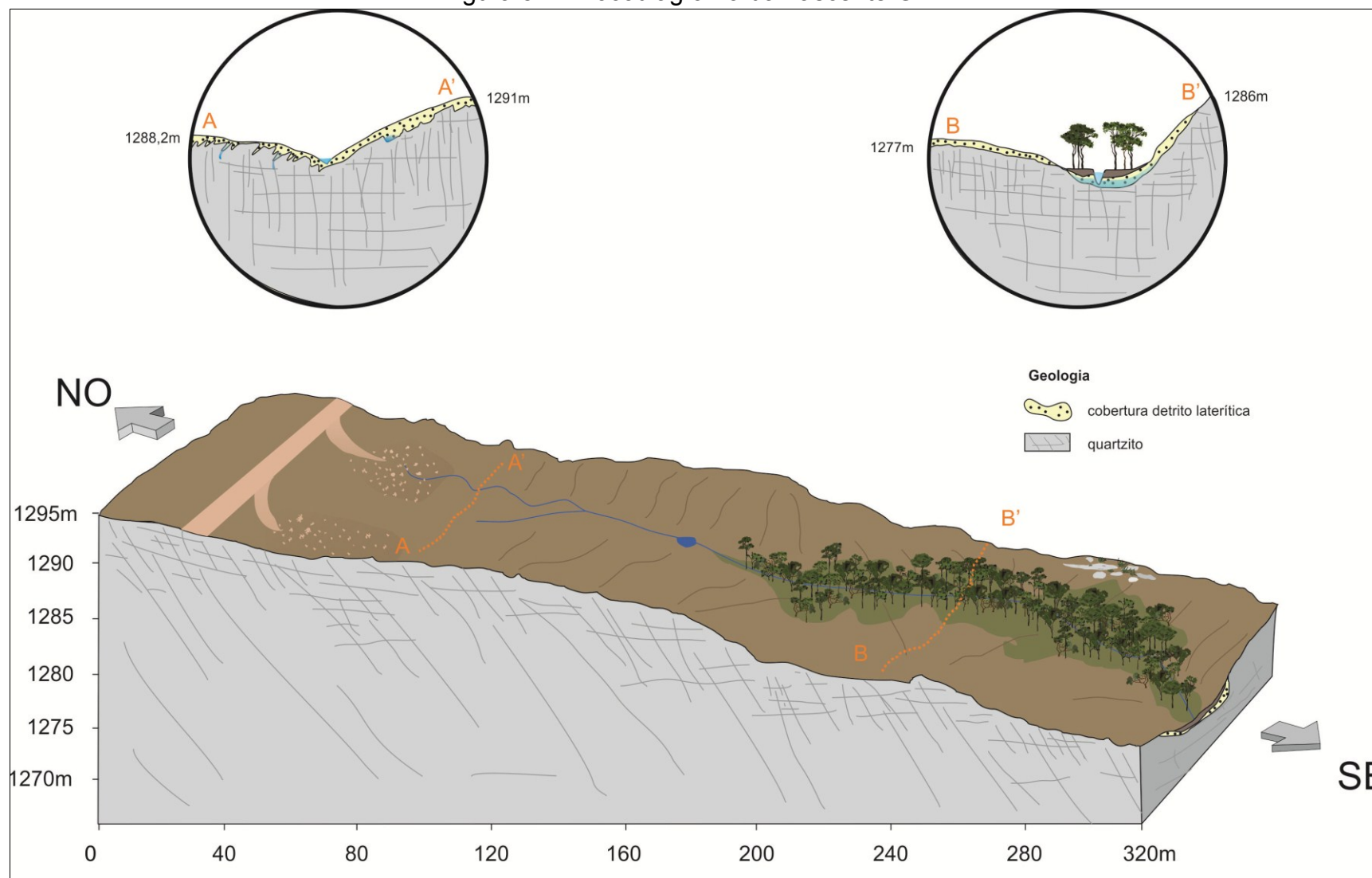
Conforme os autores, em pequenas bacias hidrográficas, o fluxo estará no córrego poucas horas depois do episódio chuvoso. Destaca-se também que, embora o escoamento subsuperficial denote que a água se encontra em profundidade de mais fácil acesso pelas fraturas do quartzito, isso não quer dizer que haverá boas vazões na estiagem. A Figura 57 apresenta as configurações da nascente GP4 além de dois perfis transversais do canal de primeira ordem.

Figura 56 - Área de deposição no canal gerado pela nascente GP4.



Fonte: Confessor, J. (2018).

Figura 57 - Blocodiagrama da nascente GP4.

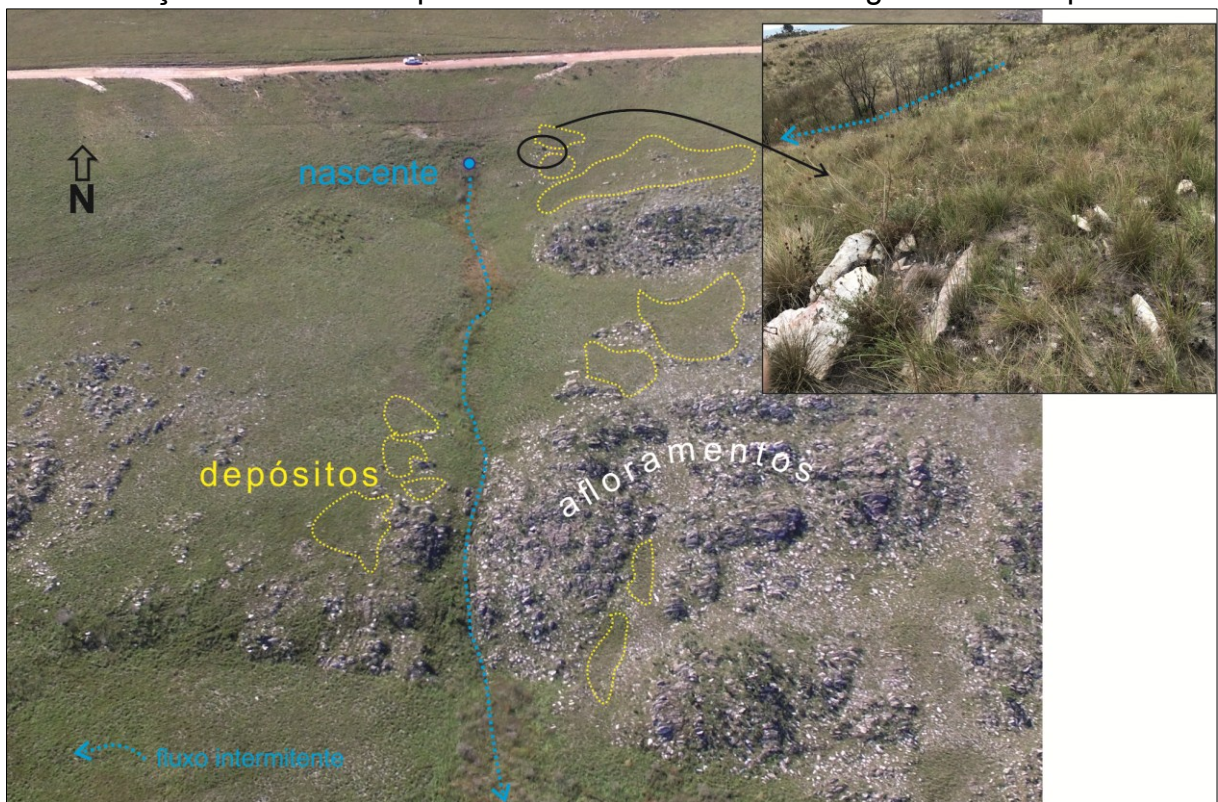


Fonte: próprio autor, 2019.

A nascente GP5, dentre as outras seis nascentes estudadas, é uma das que apresentou menor valor de vazão. Suas adjacências estão basicamente ocupadas por afloramentos, o que significa relacionar a baixa capacidade de infiltração e armazenamento em subsuperfície.

Entretanto, embora sua cabeceira esteja fortemente vinculada a afloramentos, as avaliações em campo possibilitaram levantar áreas com bolsões de deposição. A Figura 58 ilustra as áreas onde afloram os quartzitos e os locais em que, esta rocha barra o transporte do material de cobertura.

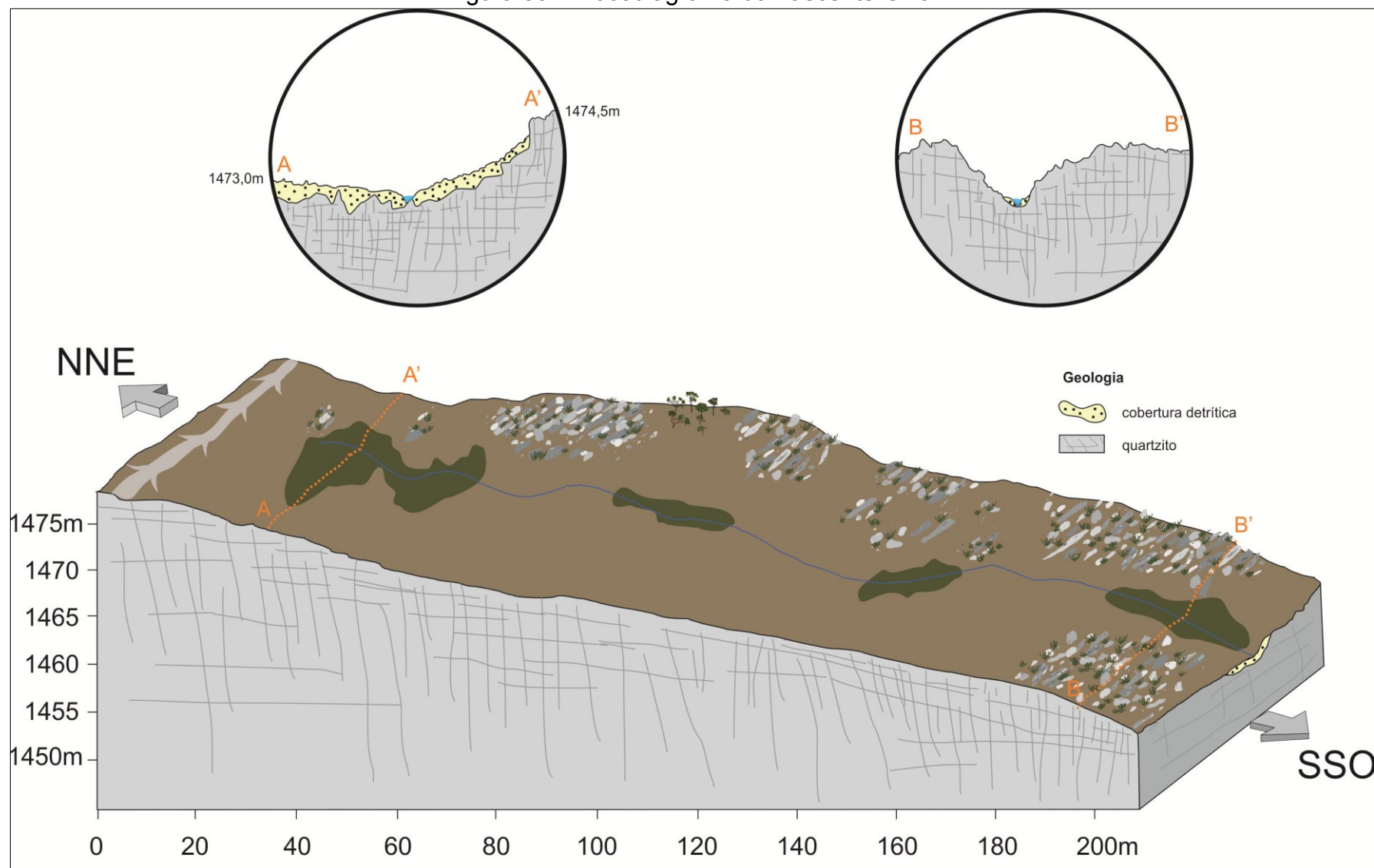
Figura 58 - Adjacências da nascente GP5 com os afloramentos e as áreas de acumulação de material superficial e armazenamento de água em subsuperfície.



Fonte: Próprio autor, 2018.

Os círculos na Figura 59 detalham os perfis transversais. Percebe-se que as condições de drenagem estão associadas à estruturação litológica. No perfil A-A' evidencia-se a característica da nascente, já que a exfiltração surge pelo afloramento do substrato rochoso. Na evolução do canal, mais incipiente é o material de cobertura, já que os afloramentos estão sobressalentes em ambas as margens do canal de primeira ordem.

Figura 59 - Blocodiagrama da nascente GP5.



Fonte: próprio autor, 2019.

A nascente GP6 distingue-se das demais por ser uma nascente antropogênica. Sua importância para a pesquisa também ocorre pela sua perenidade que foi alterada entre as aferições de março a agosto de 2018.

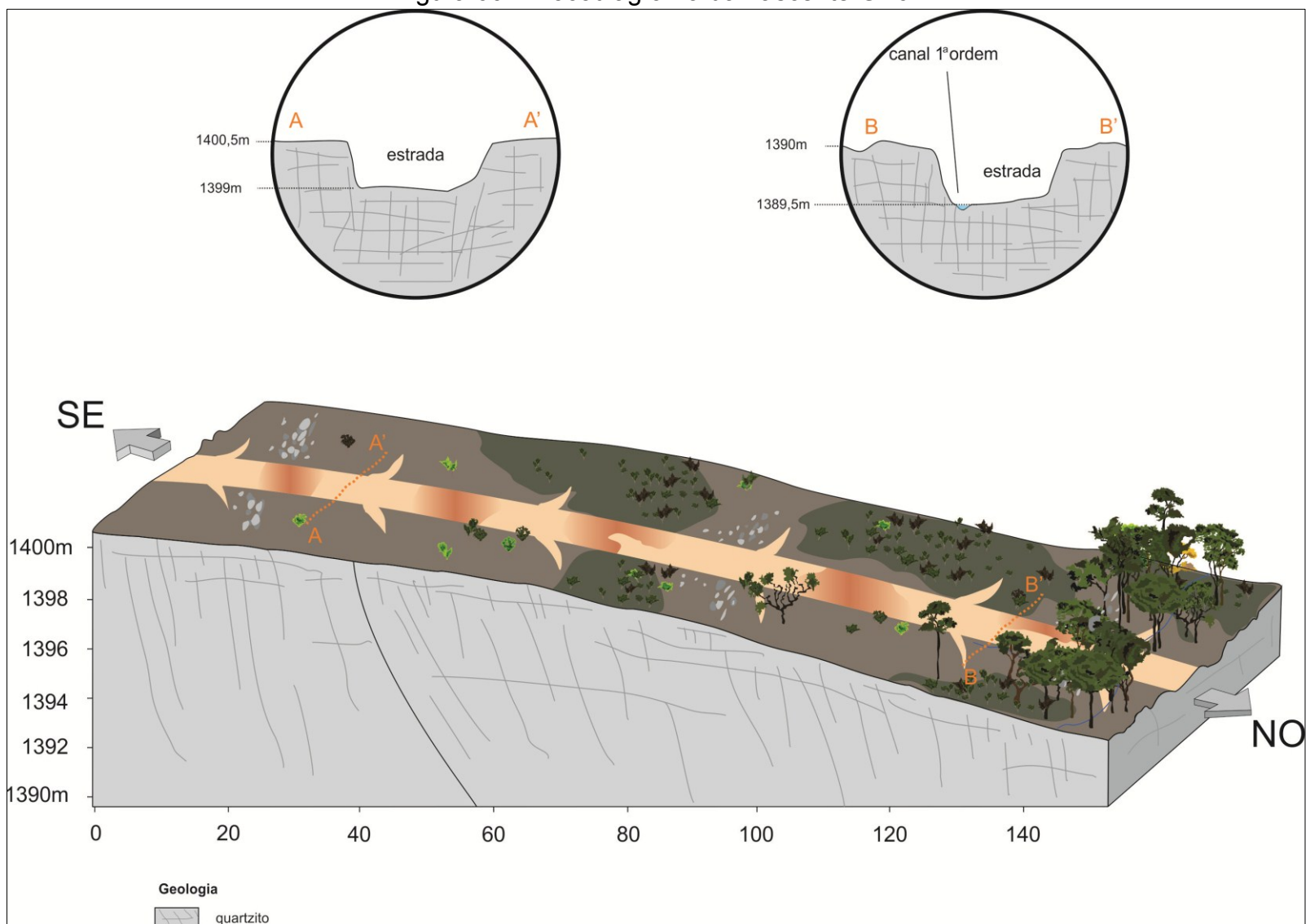
Dentre as seis nascentes analisadas em junho de 2017, ela foi a única a apresentar fluxo, com vazão medida de 25,3 ml/s. Nos cenários subsequentes, também apresentou elevados valores, sendo classificada entre as 3 nascentes com maior vazão. Na última campanha de campo, em agosto de 2018, a nascente tinha perdido sua atividade. Processos de intervenção pela manutenção da estrada promoveram o soterramento desta nascente, cessando seu fluxo.

A “perenidade” desta nascente que fora interrompida pela atividade na estrada, está vinculada à sua localização na vertente. A exfiltração pontual situa-se na baixa vertente, no princípio da concavidade. Desta maneira, há grandes chances da concentração do fluxo subsuperficial estarem reunidos para este nível topográfico. Como resultado, tem-se uma zona com maior umidade mesmo nos períodos de longa estiagem.

O fato de ser uma nascente antropogênica gerou uma área de captação com formato peculiar. Totalmente vinculada à estrada, sua área de captação recebe escoamento e sedimento oriundo da mesma, facilmente observado em imagens aéreas. Também possui área representativa que apresenta permeabilidade muito baixa, devido a compactação da estrada gerada pelos veículos.

Como pode ser observada na Figura 60, a nascente GP6 surge na baixa vertente. O perfil A-A' exhibe os taludes e o desnível promovido pela intensa atividade de escavação do leito carroçável. O segundo perfil, B-B' também apresenta a feição da escavação que é efetuada ao longo dos anos para a trafegabilidade da estrada. Neste perfil ainda, na margem direita da estrada nota-se a canal preferencial.

Figura 60 - Blocodiagrama da nascente GP6.



Fonte: próprio autor, 2019.

Similar a outras nascentes estudadas, a GP7 tem sua origem pela exfiltração no contato entre a fina camada de material superficial e a rocha que embasa a região. Os afloramentos no fundo do vale formam poços e condiciona a linha de drenagem a produzir curvas angulares e subangulares.

A forma da área de captação desta nascente é mais estreita e o coeficiente de compacidade é 1,9. Em geral, esta configuração remete a uma área com maior chance de retenção de água pelas vertentes, amenizando os picos de cheia na calha do riacho.

Dentre as sete nascentes a GP7 está entre as duas mais produtoras de água. Acredita-se que os fatores responsáveis por esta condição seja por ela estar localizada em área de acesso restrito, também com boas condições de vegetação e pelo formato da sua área de captação.

Observando os dados de vazão de dezembro de 2017 e março de 2018, notou-se um aumento quase dobrado. O início dos períodos chuvosos (novembro de 2017 com 330 mm) foram importantes para que a nascente apresentasse vazão de 78,6 ml/s. A recorrência, nos meses seguintes, de bons índices pluviométricos favoreceu um aumento significativo da vazão, sendo mensurado 140,8 ml/s em março de 2018.

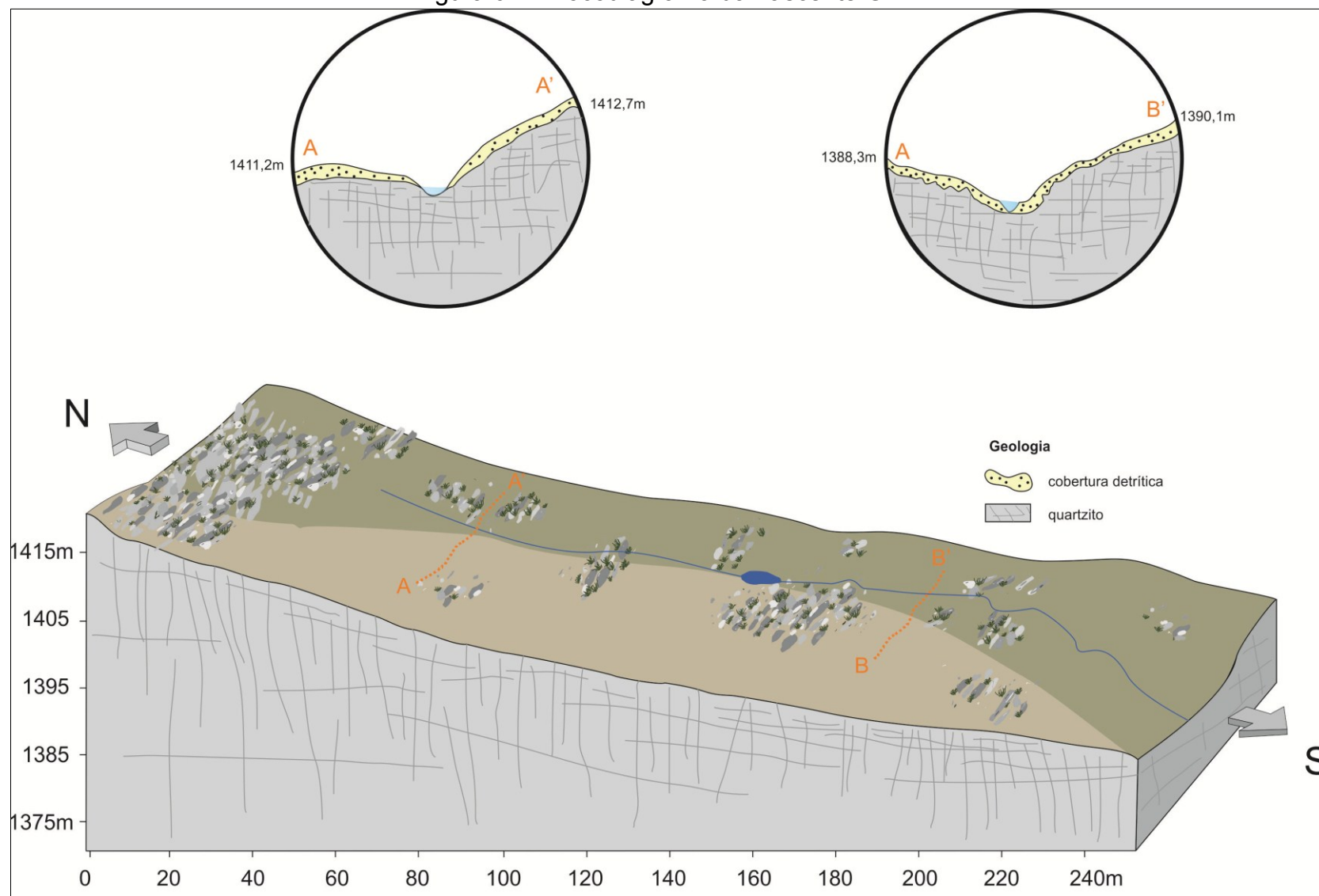
Entretanto, no mês de agosto do ano de 2018, não houve vazão. O declínio das chuvas de abril a julho foi suficiente para que todas as sete nascentes, inclusive a GP7 não produzisse água neste cenário. A Figura 61 representa o local onde foram realizadas as medições sazonalmente e a Figura 62 apresenta a síntese das análises hidrodinâmicas pelo blocodiagrama.

Figura 61 – Nascente GP7: canal sem funcionamento no ponto de medição de vazão, em Agosto de 2018.



Fonte: próprio autor, 2018.

Figura 62 - Blocodiagrama da nascente GP7.



Fonte: próprio autor, 2019.

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A litologia tem uma grande contribuição para a dinâmica hidrogeomorfológica das nascentes estudadas. As características de dureza do quartzito, ricamente composto por sílica, mineral muito resistente ao intemperismo químico em condições superficiais e subsuperficiais, condiciona o arranjo da drenagem. Tais situações são observadas pela disposição dos canais, sejam nos seus alinhamentos e nas curvas angulosas.

A delgada camada do material inconsolidado também está fortemente condicionada, dentre outros fatores, pela litologia. Estas configurações contribuem para uma menor retenção de água da chuva, desencadeando o escoamento rápido de água para o exultório. Como resposta, se tem uma baixa contribuição do fluxo de base para a perenidade do sistema de drenagem.

A nascente GP2, embora esteja localizada em região onde a cobertura ofereça melhores condições de infiltração, a presença de uma camada cimentada por ferro, promove um subnível freático, que tende a criar uma maior área variável de afluência.

Importante frisar a necessidade de análise e planejamento prévio para o mapeamento com os RPAS. As imagens em melhor resolução produzidas pelo equipamento utilizado neste estudo, juntamente com o elevado número de fotos para cobrir as áreas, exigiu um computador mais potente para processamento. Mesmo com máquinas robustas, o tempo necessário exigido pode ser elevado, a depender do número de fotos para cada área. Desta forma, acredita ser indispensáveis testes para avaliar a altitude dos vôos e as taxas de recobrimento, conforme o produto que se pretende gerar a partir das fotos aéreas.

Os materiais gerados (MDE e ortofotos) pela cobertura com RPAS foram muito importantes para este estudo. Os modelos em detalhe possibilitaram tecer e descrever perfis topográficos das cabeceiras, destacando as microformas do relevo e a presença da vegetação, áreas fundamentais para retenção de água. As ortofotos com alta resolução espacial auxiliaram sobremaneira para a caracterização das cabeceiras quanto à geologia, morfologia, atividade da nascente pela presença de água, entre outras características.

As áreas de maior condição de infiltração e retenção de água estão vinculadas aos bolsões de deposição. Estes tendem a ocorrer principalmente em

cabeceiras com alinhamento SE-NO, pela direção e mergulho das camadas arqueadas no período de metamorfismo, que oferecem barramento ao transporte do material coluvial.

Embora a existência de vegetação nas áreas de depósitos à jusante das nascentes demonstre exuberância pelo suporte àqueles indivíduos, mais de 60% de toda a água que chega à superfície é ciclada pela evapotranspiração. Isso quer dizer que, nestas áreas, a perda de água para o meio é muito superior, que a quantidade de água que infiltra para abastecer os lençóis subterrâneos, sendo eles os principais responsáveis pela existência das nascentes perenes.

Com base nos episódios de medição, nos meses de baixos índices de precipitação, de maio a setembro, seis das sete nascentes param de exfiltrar no ponto adotado para medição de vazão. Com o retorno das chuvas, que basicamente se inicia em outubro, as nascentes recomeçam a exfiltrar, sobretudo, do mês de dezembro em diante.

A mobilidade das nascentes dá importante informação. O extenso deslocamento do ponto de exfiltração ao longo das oscilações sazonais mostra que as AVA's são muito variáveis topograficamente, isso implica em um lençol subsuperficial mal desenvolvido. Ademais, conforme citam alguns autores, estas áreas são muito frágeis e precisam ser melhores investigadas e preservadas.

Ainda não se pode excluir a influência das estradas na alteração destas áreas, seja

Em seis das sete nascentes estudadas mostra que a existência delas, no ponto adotado para medição de vazão, resulta da presença de chuvas em determinados períodos do ano hidrológico. Nestes períodos, a superfície freática é deslocada verticalmente para cima até atingir a superfície topográfica, resultando na exfiltração.

O Parque Nacional da Serra da Canastra é uma Unidade de Conservação, desde meados da década de 1970, para tanto, exige intervenções na infraestrutura de locomoção dos turistas são comuns e necessárias. As características geológicas favorecem o escoamento concentrado em episódios chuvosos, que vão atingir a integridade das estradas. Entretanto, espera-se que este trabalho possa elucidar os impactos que são causados pelas atividades nas estradas e balizar novos projetos com menores danos ao sistema de drenagem, inclusive visando a retenção parcial das águas das chuvas. Embora a rede de drenagem é muito conhecida pelos

turistas, sobretudo por abrigar nascentes do Rio São Francisco, ainda sim carece de mais estudos devido sua fragilidade intrínseca.

Este estudo abre caminhos para novas pesquisas na área, pois, se consideradas as especificidades das nascentes, nota-se o quanto são heterogêneas. Acredita ser de grande importância avaliar o balanço de água nas matas ciliares, sobretudo àquelas nos depósitos à jusante das nascentes. Outro aspecto que carece estudo diz respeito às saídas de água da chuva oriundas das estradas e seus impactos, principalmente quando as valetas descarregam fluxos sedimentares nas áreas variáveis de afluência.

Acredita-se que os aspectos discutidos nesta pesquisa sejam frutíferos para ampliar as discussões acerca da complexidade que envolve a gênese e a dinâmica em nascentes, e, sobretudo auxiliar nas tomadas de decisões diante de processos de intervenções antrópicas.

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. Cotia: Ateliê Editorial, 2005.
- AGISOFT, L. **Agisoft PhotoScan User Manual Professional Edition, Version 1.3**. 2017. Disponível em: <http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_3_en.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2018.
- ALMEIDA, C. N. R. DE. **Estudo geoambiental da região da Serra da Canastra-MG: potencialidades e restrições ao uso turístico**. Dissertação de Mestrado—São Carlos: Universidade de São Paulo, 2014.
- ANA, A. N. DE Á. **A evolução da Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília, 2002.
- ANTONELI, V.; THOMAZ, E. L. Perda de solo em estradas rurais em área de cultivo de tabaco na bacia do Arroio Boa Vista - Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 17, n. 2, 30 jun. 2016. <https://doi.org/10.20502/rbq.v17i2.769>
- ARAÚJO, M. S. **Evolução dos canais fluviais: morfometria e sedimentologia na bacia hidrográfica do rio Santo Antônio, Serra da Canastra - MG**. Dissertação (Mestrado em Geografia)—Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2017.
- BABAR, M. **Hydrogeomorphology: Fundamentals, Applications and Techniques**. New Delhi: New India Publishing, 2005.
- BENITEZ, L. **Províncias diamantíferas de Minas Gerais: uma proposta para a caracterização de populações de diamantes típicas como subsídio à Certificação Kimberley**. Tese (Doutorado em Geologia)—Belo Horizonte: UFMG, 2009.
- BLANTON, P.; MARCUS, W. A. Railroads, roads and lateral disconnection in the river landscapes of the continental United States. **Geomorphology**, v. 112, n. 3–4, p. 212–227, nov. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.06.008>
- BRASIL. de 20 de março de 2002. Ministério do Meio Ambiente. 2002.
- BRAUN, O. P. G.; BAPTISTA, M. B. **considerações sobre a geologia pré-cambriana da região sudeste e parte da região centro-oeste do Brasil**. Salvador, 1978. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/14494>>.
- CHAVES, M.; BENITZ, L.; ANDRADE, K. W. Cachoeira da Casca D'Antas, São Roque de Minas, MG. **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**, v. 2, p. 151–162, 2009.
- CHAVES, M. L. DE S. C. et al. Kimberlito Canastra-1 (São Roque de Minas, MG): geologia, mineralogia e reservas diamantíferas. **Revista da Escola de Minas**, v. 61, n. 3, p. 357–364, 2008a. <https://doi.org/10.1590/S0370-44672008000300014>

CHAVES, M. L. DE S. C. et al. Província diamantífera da Serra da Canastra e o Kimberlito Canastra-1: primeira fonte primária de diamantes economicamente viável do país. **Geociências (São Paulo)**, v. 27, p. 299–317, 2008b.

CHORLEY, R. J. The hillslope hydrological cycle. **Hillslope Hydrology**, p. 1–42, 1978.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. [s.l.] Blücher, 1980.

COLÂNGELO, A. C. Modelo de feições mínimas ou das unidades elementares do relevo: um suporte cartográfico para mapeamentos geoecológicos. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 10, p. 29–40, 1996.

<https://doi.org/10.7154/RDG.1996.0010.0003>

COUTO JÚNIOR, A. F. et al. Integração de parâmetros morfométricos e imagem ASTER para a delimitação das fitofisionomias da Serra da Canastra, Parque Nacional da Serra da Canastra, MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 11, n. 1, p. 57–68, 21 set. 2010. <https://doi.org/10.20502/rbg.v11i1.142>

DE SOUZA, D. A.; RODRIGUES, S. C. ASPECTOS MORFOESTRUTURAIS E MORFOESCULTURAIS DA SERRA DA CANASTRA E ENTORNO (MG). **Revista do Departamento de Geografia**, v. 27, p. 47–66, 2014.

<https://doi.org/10.11606/rdg.v27i0.472>

DJI. **Phantom 3 Standard - Specs, FAQ, manual, video tutorials and DJI GO - DJI**. Disponível em: <<http://www.dji.com/phantom-3-standard/info#downloads>>. Acesso em: 11 jul. 2017.

DUNNE, T. “Field Studies of Hillslope Flow Processes” in Hillslope Hydrology. In: KIRBY, M. J. (Ed.). **Hillslope Hydrology**. New York: Wiley, 1978.

DUNNE, T. Formation and controls of channel networks. **Progress in Physical Geography: Earth and Environment**, v. 4, n. 2, p. 211–239, jun. 1980.

<https://doi.org/10.1177/030913338000400204>

EMBRAPA. **Bioma Cerrado - Portal Embrapa**. Governamental. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/cerrados/colecao-entomologica/bioma-cerrado>>. Acesso em: 11 mar. 2019.

FARIA, A. P. A dinâmica de nascentes e a influência sobre os fluxos nos canais. **A Água em Revista (CPRM)**, v. 8, p. 74–80, 1997.

FELIPPE, M. F. **Caracterização e tipologia de nascentes em unidades de conservação de Belo Horizonte-MG com base em variáveis geomorfológicas, hidrológicas e ambientais**. Dissertação (mestrado em Geografia e Análise Ambiental)—Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.

FELIPPE, M. F. **Gênese e dinâmica de nascentes: contribuições a partir da investigação hidrogeomorfológica em região tropical**. Tese (doutorado em Geografia)—Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2013.

FELIPPE, M. F. et al. Nascentes antropogênicas: processos tecnogênicos e hidrogeomorfológicos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 4, p. 279–286, 2013. <https://doi.org/10.20502/rbg.v14i4.210>

FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES JR., A. P. Conflitos conceituais sobre nascentes de cursos d'água e propostas de especialistas. **Revista Geografias**, v. 9, n. 1, p. 70–81, 1 jun. 2013.

FERREIRA, M. M. DE S. **Avaliação da qualidade da água subterrânea para consumo humano na bacia do Rio São Bartolomeu: o caso dos poços tubulares profundos do Setor Habitacional Jardim Botânico, Distrito Federal**. Dissertação de Mestrado—Brasília: Universidade de Brasília, 2010.

FORMAN, R. T. T.; ALEXANDER, L. E. Roads and Their Major Ecological Effects. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 29, p. 207–C2, 1998. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.29.1.207>

GOERL, R. F.; KOBAYAMA, M.; SANTOS, I. D. Hidrogeomorfologia: princípios, conceitos, processos e aplicações. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 2, p. 103–111, 2012. <https://doi.org/10.20502/rbg.v13i2.166>

IBGE. **Carta Topográfica Serra da Canastra. Folha SF-23-V-A-III-2**, 1970.

ICMBIO. **Dados de Visitação**. São Roque de Minas, 2018a.

ICMBIO. **Dados de Pluviosidade - Pluviômetro da Portaria 1 (Jaguarê)**. São Roque de Minas, 2018b.

IMAIZUMI, F.; HATTANJI, T.; HAYAKAWA, Y. S. Channel initiation by surface and subsurface flows in a steep catchment of the Akaishi Mountains, Japan. **Geomorphology**, v. 115, n. 1–2, p. 32–42, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.09.026>

JAEGER, K. **Channel-initiation and surface water expression in headwater streams of different lithology**. [s.l.] University of Washington, 2004.

JONES, J. A. Hydrologic processes and peak discharge response to forest removal, regrowth, and roads in 10 small experimental basins, Western Cascades, Oregon. **Water Resources Research**, v. 36, n. 9, p. 2621–2642, set. 2000. <https://doi.org/10.1029/2000WR900105>

LA MARCHE, J. L.; LETTENMAIER, D. P. Effects of forest roads on flood flows in the Deschutes River, Washington. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 26, n. 2, p. 115–134, 2001. [https://doi.org/10.1002/1096-9837\(200102\)26:2<115::AID-ESP166>3.0.CO;2-O](https://doi.org/10.1002/1096-9837(200102)26:2<115::AID-ESP166>3.0.CO;2-O)

LEMES, G. P. AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS NO PARQUE NACIONAL SERRA DA CANASTRA – MINAS GERAIS, NO PERÍODO DE 1991–201. p. 89, 2013.

LEMES, G. P. et al. Spatiotemporal assessment of forest fires occurred in the Serra da Canastra National Park between 1991 and 2011. **Ambiência**, v. 10, n. 1, 2014. <https://doi.org/10.5935/ambiencia.2014.supl.03>

MAGALHÃES, S. R. DE; LIMA, G. S.; RIBEIRO, G. A. Avaliação do Combate aos Incêndios Florestais no Parque Nacional da Serra da Canastra. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 1, p. 80–86, 2011. <https://doi.org/10.4322/floram.2011.025>

MAGALHÃES JR., A. P. et al. Domínios hidrogeológicos como critério de identificação de territorialidades-chaves na bacia do rio São Francisco. **Revista Geografias**, v. 3, n. 1, p. 24–45, 2007.

MARTINS, C. R.; LEITE, L. L.; HARIDASAN, M. Capim - gordura (*Melinis minutiflora* P. Beauv.), uma gramínea exótica que compromete a recuperação de áreas degradadas em unidades de conservação. **Revista Árvore**, v. 28, n. 5, p. 739–747, out. 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622004000500014>

MEDEIROS, M. B. DE; FIEDLER, N. C. Incêndios florestais no parque nacional da Serra da Canastra: desafios para a conservação da biodiversidade. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, p. 157, 30 jun. 2004. <https://doi.org/10.5902/198050981815>

MESSIAS, C. G. **Mapeamento das áreas suscetíveis à fragilidade ambiental na Alta Bacia Do Rio São Francisco, Parque Nacional da Serra da Canastra – MG**. Dissertação (mestrado em Geografia)—Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2014.

MMA/IBAMA. Plano de Manejo do Parque Nacional da Serra da Canastra. Resumo Executivo. p. 104–104, 2005.

MONTGOMERY, D. R.; DIETRICH, W. E. Source areas, drainage density, and channel initiation. **Water Resources Research**, v. 25, n. 8, p. 1907–1918, 1989. <https://doi.org/10.1029/WR025i008p01907>

MORAES, J. A. P. **Teoria elementar do movimento das águas subterrâneas**. 1982.

MUNARETTO, L. **VANT E drones: a Aeronáutica ao alcance de todos**. 2. ed. São Paulo: Editora Independente, 2017.

NAZAR, T. I. S. M. **O Chapadão do Diamante na Serra Da Canastra/MG, Brasil: caracterização geomorfológica e análise integrada do meio físico a partir de dados multifontes**. Tese (Doutorado em Geografia)—Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2018.

NAZAR, T. I. S. M.; RODRIGUES, S. C. Relevo do Chapadão do Diamante, Serra da Canastra/MG, Brasil: compartimentação e análise a partir dos aspectos geomorfométricos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 1, 2 jan. 2019. <https://doi.org/10.20502/rbg.v20i1.1300>

NEPOMUCENO, P. L. M.; LUCHIARI, A. Mapeamento morfológico de detalhe: experiências para a integração entre técnicas de fotointerpretação e Sistemas de

Informações Geográficas no município de Salesópolis-SP. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 28, p. 198–220, 2015.

NOVAIS, G. T. **Caracterização climática da mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e do entorno da Serra da Canastra (MG)**. Dissertação (mestrado em Geografia)—Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2011.

PEREIRA, L. F. et al. Evolução geológica dos grupos Canastra e Ibia na região entre Coromandel e Guarda-Mor, MG. **Revista Geonomos**, v. 2, n. 1, 1994.
<https://doi.org/10.18285/geonomos.v2i1.229>

PEREIRA, L. F. et al. Evolução geológica dos grupos Canastra e Ibiá na região entre Coromandel e Guarda-Mor, MG. **Revista Geonomos**, v. 2, n. 1, 2013.

PESSOA, P. F. P. **Revisão do Plano de Manejo do Parque Nacional da Serra da Canastra, estado de Minas Gerais: relatório de caracterização dos aquíferos superficial e subterrâneo**Instituto Terra Brasilis, , 2002.

PILÓ, L. B. **Revisão do Plano de Manejo do Parque Nacional da Serra da Canastra, estado de Minas Gerais: relatório de Geomorfologia e solos**Instituto Terra Brasilis, , 2002.

PINTO, L. V. A. et al. Estudo das nascentes da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG. **Scientia Forestalis**, v. 65, p. 197–206, jun. 2004.

PIX4DCAPTURE. **Pix4D**. Utilitário. Disponível em: <<https://cloud.pix4d.com/pro>>. Acesso em: 3 maio. 2018.

RADAMBRASIL. **Levantamento de recursos naturais: folhas SF 24-25**, 1983.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do Bioma Cerrado. p. 89–166, 1998.

ROSS, J. L. S. Relevo brasileiro: uma nova proposta de classificação. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 4, p. 25–39, 1985.
<https://doi.org/10.7154/RDG.1985.0004.0004>

SANTOS, I. DOS. **Monitoramento e modelagem de processos hidrogeomorfológicos: mecanismos de geração de escoamento e conectividade hidrológica**. Tese (Doutorado em Geografia)—Florianópolis: UFSC, 2009.

SAYAMA, T. et al. How much water can a watershed store? **Hydrological Processes**, v. 25, n. 25, p. 3899–3908, 2011. <https://doi.org/10.1002/hyp.8288>

SIDLE, R. C.; ONDA, Y. Hydrogeomorphology: overview of an emerging science. **Hydrological Processes**, v. 18, n. 4, p. 597–602, mar. 2004.
<https://doi.org/10.1002/hyp.1360>

SIEFERT, C. A. C.; DOS SANTOS, I. Mecanismos de geração de escoamento e áreas hidrologicamente sensíveis: uma abordagem hidrogeomorfológica para

delimitação de áreas de preservação permanente. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 24, p. 227–257, 2012. <https://doi.org/10.5380/raega.v24i0.26216>

SIEFERT, C. A. C.; SANTOS, I. Áreas hidrologicamente sensíveis: teoria e aplicação para a bacia do rio Barigui, PR, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 5, p. 61–76, 2010. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.137>

SILVA, J. M. F. DA; OKA-FIORI, C.; SILVEIRA, C. T. DA. Geomorfometria: uma análise de conceitos, métodos e aplicações em geografia física. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 2, 2017. <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20170036>

SILVA, H. C. et al. O Grupo Canastra em sua área-tipo, região de Tapira, sudoeste do estado de Minas Gerais. **Revista do Instituto de Geociências**, v. 12, n. 2, p. 83–98, 1 ago. 2012. <https://doi.org/10.5327/Z1519-874X2012000200006>

SILVA, P. A. et al. Determinação da extensão do Rio São Francisco. p. 8, 2003.

SILVA, R. E. **Assinaturas topográficas humanas (ATH's) no contexto dos canais derivados multifuncionais e suas repercussões hidrogeomorfológicas**. Tese (Doutorado em Geografia)—Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2018.

SIMÕES, L. S. A. **Evolução tectonometamórfica da Nappe de Passos, sudoeste de Minas Gerais**. Tese (doutorado em Mineralogia e Petrologia)—São Paulo: USP, 1995.

SIMÕES, L. S. A. et al. **Folha Vargem Bonita, SF.23-V-B-I. Escala 1:100.000.**: Projeto Fronteiras de Minas Gerais. Programa Mapeamento Geológico do Estado de Minas Gerais. Contrato CODEMIG 3473, FUNDEP 19967. Belo Horizonte: UFMG, 2015.

SIMON, A. L. H.; CUNHA, C. M. L. Alterações geomorfológicas derivadas da intervenção de atividades antrópicas: Análise temporal na Bacia do Arroio Santa Bárbara-Pelotas (RS). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 9, n. 2, 2008. <https://doi.org/10.20502/rbg.v9i2.107>

SOULIS, K. X.; DERCAS, N.; PAPADAKI, CH. Effects of forest roads on the hydrological response of a small-scale mountain watershed in Greece. **Hydrological Processes**, v. 29, n. 7, p. 1772–1782, 30 mar. 2015. <https://doi.org/10.1002/hyp.10301>

STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

SVORAY, T.; MARKOVITCH, H. Catchment scale analysis of the effect of topography, tillage direction and unpaved roads on ephemeral gully incision. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 34, n. 14, p. 1970–1984, 30 nov. 2009. <https://doi.org/10.1002/esp.1873>

TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3 rev. e ampl. ed. Brasília: EMBRAPA, 2017.

TSUKAMOTO, Y.; MINEMATSU, H. Hydrogeomorphological characteristics of a zero-order basin. **Proceedings of the Corvallis Symposium**, v. 165, p. 61–69, 1987.

TUCCI, C. E. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2012.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Recursos hídricos no século XXI**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

UHLEIN, A. et al. Tectônica da Faixa de Dobramentos Brasília–setores Setentrional e Meridional. **Revista Geonomos**, v. 2, n. 20, 2012.

<https://doi.org/10.18285/geonomos.v2i20.243>

VALENTE, O. F.; GOMES, M. A. **Conservação de nascentes: hidrologia e manejo de bacias hidrográficas de cabeceiras**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2005.

VALENTE, O. F.; GOMES, M. A. **Conservação de nascentes: produção de água em pequenas bacias hidrográficas**. 2. ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2011.

VALERIANO, C. DE M. et al. A Evolução Tectônica da Faixa Brasília. In: **Geologia do Continente Sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Editora Beca, 2004.

VALERIANO, M. DE M. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 539–546, dez. 2003.

VASCONCELOS, V. et al. Caracterização de uma Topossequência no Parque Nacional da Serra da Canastra, MG. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento - Embrapa Cerrados**, n. 277, 2010.

VASCONCELOS, V. Classificação das formas de terreno e a sua relação com os solos do Chapadão do Zagaia, Serra da Canastra-MG. 2012.

WEMPLE, B. C.; JONES, J. A.; GRANT, G. E. Channel Network Extension by Logging Roads in Two Basins, Western Cascades, Oregon. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 32, n. 6, p. 1195–1207, 1 dez. 1996.

<https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1996.tb03490.x>

ZUQUETTE, L. V. Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras. **São Carlos**, v. 3, 1987.

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

APÊNDICE I – Ficha de Campo

FICHA DE CAMPO

Data: _____ Horas: _____

Ponto/perfil nº: Altitude: _____(metros) Vão: () sim () não

Coordenadas: Long (x) _____ Lat (y) _____
Posição topográfica: () Alta vertente () Média Vertente () Baixa Vertente () Vertente intermediária:

Condições de cobertura vegetal: _____

Litologia e Material originário (informar sobre a natureza do material primitivo do qual o solo de originou, tomando por base principalmente as observações efetuadas no local do perfil; se possível especificar algo sobre a granulometria, composição mineralógica aparente; no caso de solos orgânicos, informar sobre a natureza dos detritos vegetais): _____

AMOSTRAS COLETADAS: _____

MORFOLOGIA DA NASCENTE:

() concavidade () duto () afloramentos () talvegue () olho () cavidade () intervenção

TIPO DE EXFILTRAÇÃO DA NASCENTE:

() pontuais () difusas () múltiplas

VAZÃO: L/s

1° () 2° () 3° () 4° () 5° ()

Demais descrições: _____

FICHA DE CAMPO

Data: _____ Horas: _____

Ponto/perfil nº: Altitude: _____(metros) Vão: () sim () não

Coordenadas: Long (x) _____ Lat (y) _____
Posição topográfica: () Alta vertente () Média Vertente () Baixa Vertente () Vertente intermediária:

Condições de cobertura vegetal: _____

Litologia e Material originário (informar sobre a natureza do material primitivo do qual o solo de originou, tomando por base principalmente as observações efetuadas no local do perfil; se possível especificar algo sobre a granulometria, composição mineralógica aparente; no caso de solos orgânicos, informar sobre a natureza dos detritos vegetais): _____

AMOSTRAS COLETADAS: _____

MORFOLOGIA DA NASCENTE:

() concavidade () duto () afloramentos () talvegue () olho () cavidade () intervenção

TIPO DE EXFILTRAÇÃO DA NASCENTE:

() pontuais () difusas () múltiplas

VAZÃO: L/s

1° () 2° () 3° () 4° () 5° ()

Demais descrições: _____

