



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA



MODELO CONCEITUAL DE FLUXO DOS AQUÍFEROS PELÍTICOS-
CARBONÁTICOS DA REGIÃO DA APA CARSTE DE LAGOA SANTA, MG.

TESE DE DOUTORADO

Rodrigo Sérgio de Paula

Orientadora: Dra. Leila Nunes Menegasse Velásquez

Rodrigo Sérgio de Paula

MODELO CONCEITUAL DE FLUXO DOS AQUÍFEROS PELÍTICOS-CARBONÁTICOS DA REGIÃO DA APA CARSTE DE LAGOA SANTA, MG.

Tese de Doutorado apresentado ao Departamento de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, com requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Geologia.

Área de Concentração: Geologia Econômica e Aplicada.

Linha de Pesquisa: Hidrogeologia

Orientadora: Dra. Leila Nunes Menegasse Velásquez

Belo Horizonte

Junho – 2019

P324m Paula, Rodrigo Sérgio de.
2019 Modelo conceitual de fluxo dos aquíferos pelíticos-carbonáticos da Região da APA Carste de Lagoa Santa, MG [manuscrito] / Rodrigo Sérgio de Paula. – 2019.
278 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientadora: Leila Nunes Menegasse Velásquez.
Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2019.

Área de concentração: Geologia Econômica e Aplicada.

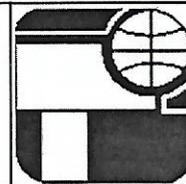
Linha de Pesquisa: Hidrogeologia.

Bibliografia: f. 163-172.

Inclui anexos e apêndices.

1. Hidrogeologia – Teses. 2. Aquíferos – Lagoa Santa (MG) – Teses.
3. Balanço hidrológico – Teses. 4. Carste – Lagoa Santa (MG) – Teses.
I. Velásquez, Leila Nunes Menegasse. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. III. Título.

CDU: 556.3 (815.1)



FOLHA DE APROVAÇÃO

MODELO CONCEITUAL DE FLUXO DOS AQUÍFEROS
PELÍTICOS-CARBONÁTICOS DA REGIÃO DA APA CARSTE DE LAGOA SANTA,
MG.

RODRIGO SÉRGIO DE PAULA

Tese submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOLOGIA, como requisito para obtenção do grau de Doutor em GEOLOGIA, área de concentração GEOLOGIA ECONÔMICA E APLICADA.

Aprovada em 24 de junho de 2019, pela banca constituída pelos membros:

Prof. Leila Nunes Menegasse Velásquez - Orientadora
UFMG

Prof. Maria Antonieta Alcântara Mourão
CPRM

Prof. Paulo Henrique Ferreira Galvão
UFOP

Prof. Julian Cardoso Eleutério
UFMG

Prof. Adelbani Braz da Silva
Brazpoços Serviços Eireli

Belo Horizonte, 24 de junho de 2019.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me guiar nesta jornada;

A todos os alunos que participaram deste trabalho em algum momento, Amanda, Aurélio, Carolina, Clara, Diógenes, Esteban, Frederico, Gabriela, Gustavo, Isabela, Juliana, Leticia, Luisa – lulu, Luiza, Maria Clara, Matheus Brasil, Matheus – vô, Pedro, Sara, Rogerio e Thaís, por cada dia de campo que fizemos juntos. Meu carinho especial e meus sinceros agradecimentos para Gabriela e Pedro que estiveram comigo sempre que precisava;

À minha orientadora Leila Nunes Menegasse Velásquez pela confiança, transmissão de conhecimento, apoio durante a pesquisa e pela oportunidade no projeto financiado pela CECAV, intitulado de: “Projeto de Adequação e Implantação de uma Rede de Monitoramento de Águas Subterrâneas em Áreas com Cavidades Cársticas da Bacia do Rio São Francisco Aplicado à Área Piloto da APA Carste de Lagoa Santa, Minas Gerais”;

À Universidade Federal de Minas Gerais e ao Departamento de Geologia – IGC, aos professores que me ajudaram e apoiaram neste trabalho;

Ao Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear - CDTN, pelo apoio de campo e ao seu corpo técnico, meus agradecimentos especialmente para o engenheiro Peter Marshall Fleming;

À Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM pelo apoio e fornecimento de dados em especial para a geóloga Maria Antonieta Alcântara Mourão;

Ao Instituto Mineiro de Gestão de Água com participação das geólogas Maricene Mattos Paixão (*in memoria*) e Isadora Pinto Coelho de Pinho Tavares;

À minha família e meus amigos Anderson, Avled, Isabela, Júlio, Kenneton e Roberta pela compreensão de vários dias ausentes, em especial a minha mãe Marcia que sempre acreditou em mim.

“Se não puder voar, corra. Se não puder correr, ande. Se não puder andar, rasteje, mas continue em frente de qualquer jeito.”

Martin Luther King Jr.

RESUMO

A área estudada possui 505 Km², dista 35 km a norte do município de Belo Horizonte, envolve parcial ou integralmente seis municípios da Região Metropolitana de Belo Horizonte e engloba os 350 km² da unidade de conservação APA Carste de Lagoa Santa. Apesar da fragilidade natural, a região tem sido alvo de diversos tipos de empreendimentos, intensificando o consumo de água, sobretudo a subterrânea. Esse estudo visou a concepção de um modelo hidrogeológico de fluxo capaz de apoiar, técnica e cientificamente, a gerência desse recurso, valendo-se da caracterização da arquitetura hidroestratigráfica, condições de contorno do aquífero, espacialização dos parâmetros hidráulicos e das entradas e saídas de água.

O sistema aquífero local estudado pertence ao Grupo Bambuí, de neoproterozoica, composto pelos calcários aquíferos da Formação Sete Lagoas, parcialmente recobertos pelos metapelitos constituintes do aquitardo da Formação Serra de Santa Helena e coberturas Cenozoicas. A unidade aquífera Sete Lagoas se sobrepõe diretamente ao aquífero fissural gnássico-granítico-migmatítico do Complexo Belo Horizonte. Os terrenos carbonáticos dispõem de feições características de um carste bem desenvolvido, notoriamente vinculadas aos atributos geológico-estruturais, expressas por uma abundância de maciços fraturados, sumidouros, depressões, surgências/ressurgências caudalosas, dutos, cavernas e drenagem predominantemente subterrânea. Os fluxos superficiais e subterrâneos têm como destino o rio das Velhas, nível de base para região.

Os métodos do estudo envolveram: i) o levantamento das características geológico-estruturais, elaboração do balanço hídrico via Rutledge e Daniel (1994) com a quantificação das entradas e saídas do sistema aquífero; ii) espacialização dos parâmetros hidráulicos (K, S, T, Qs) obtidos a partir de dados de recuperação do nível d'água existentes; iii) identificação das condições de contorno; iv) relações entre as entradas d'água dos poços com as surgências cársticas. Foi realizada a instalação e monitoramento de 7 estações fluviométricas automatizadas ano hidrológico 2016/2017, tendo sido desenvolvido um método baseado na correlação de série temporal, para completar os *lags* dos dados coletados, obtendo-se erro inferior a 10% entre os valores calculados e monitorados. A pluviometria, 1010 mm, foi obtida em estações existentes.

Os resultados obtidos revelaram respostas dos fluxos superficiais dois dias em média e um escoamento básico médio de 91%, evidenciando um sistema cárstico bem evoluído controlado pela água subterrânea. A recarga aquífera foi de 11% da precipitação anual de 1010

mm, além de um aporte de água subterrânea provinda de bacias externas que contribui com um aporte de 26 mm.

As condições de contorno associadas as litologias de menor condutividade hidráulica e a cursos de água caudalosos possibilitaram delimitar a unidade aquífera estudada, a leste pelo Rio das Velhas, a sudoeste e sul pelo Ribeirão da Mata a norte e noroeste pelos metapelitos da Formação Serra de Santa Helena. Foi identificada a leste, na bacia do córrego Palmeiras uma conexão hidráulica com a área adjacente a região de estudo. Identificou-se um compartimento superior altamente produtivo, cárstico, acima da cota 638 m, e outro cárstico-fissural menos produtivo, inferior, abaixo dessa cota. Os valores modais de K obtidos foram da ordem de 10^{-3} m/s e 10^{-7} m/s, respectivamente, com os fluxos dos dois compartimentos no sentido de W para E e de SW para NE, tendo como principal condicionante as fraturas sub-horizontais mergulhantes para E.

Palavras-Chave: Modelo Conceitual de Fluxo, Balanço Hídrico, Aquífero Cárstico-Fissural, Parâmetros Hidrodinâmicos, Completação de dados hidrológicos.

ABSTRACT

The area studied is 505 km², 35 km north of the city of Belo Horizonte, partially or fully encompassing six municipalities in the Metropolitan Region of Belo Horizonte, and encompasses the 350 km² of the APA Lagoa Santa Karst conservation unit. Despite the natural fragility, the region has been a target of several types of projects, intensifying the consumption of water, especially the underground. This study aimed at the design of a hydrogeological flow model capable of supporting, technically and scientifically, the management of this resource, using hydrostratigraphic architecture characterization, aquifer contour conditions, spatialization of hydraulic parameters and water inputs and outputs.

The local aquifer system belongs to the Bambuí Group, a neoproterozoic group composed of the aquifer limestones of the Sete Lagoas Formation, partially covered by the metapelites constituting the aquitard of the Serra de Santa Helena Formation and Cenozoic coverings. The Sete Lagoas aquifer unit directly overlaps the Gnassic-granitic-migmatitic fissural aquifer of the Belo Horizonte Complex. Carbonate terrains have features of a well-developed karst, notoriously linked to the geological-structural attributes, expressed by an abundance of fractured massifs, sinks, depressions, upwelling / upwelling, ducts, caves, and predominantly subterranean drainage. The superficial and subterranean flows have as destination the Das Velhas river, base level for region.

The methods of the study involved: i) the survey of the geological-structural characteristics, elaboration of the water balance by Rutledge and Daniel (1994) with the quantification of the inputs and outputs of the aquifer system; ii) spatialization of hydraulic parameters (K, S, T, Qs) obtained from existing water level recovery data; iii) identification of boundary conditions; iv) relationships between well water intakes and karstic upwellings. It was carried out the installation and monitoring of 7 automated fluvimetric stations, hydrological year 2016/2017, and a method based on temporal series correlation was developed to complete the lags of the collected data, obtaining an error less than 10% between the calculated values and monitored. The rainfall, 1010 mm, was obtained in existing stations.

The results showed surface response of two days on average and an average basic flow of 91%, evidencing a well-developed karstic system controlled by groundwater. The aquifer recharge was 11% of the annual precipitation of 1010 mm, in addition to a groundwater port provided by external basins that contributes with a contribution of 26 mm.

The contour conditions associated with the lower hydraulic conductivity lithologies and flowing water courses allowed to delimit the studied aquifer unit, to the east by the Das Velhas river, to the southwest and south by the Ribeirão da Mata to the north and northwest by the metapelites of the Serra de Santa Helena Formation. It was identified to the east, in the stream basin of Palmeiras a hydraulic connection with the adjacent area to the region of study. A highly productive, karstic upper compartment was identified above the 638 m elevation, and a lower, less productive karstic-fissural compartment was located below this elevation. The modal values of K obtained were of the order of 10^{-3} m/s and 10^{-7} m/s, respectively, with the flows of the two compartments in the direction of W for E and SW for NE, having as main conditioner the sub-horizontal fractures divers for E.

Key Words: Flow Model, Water Balance, Karstic-Fissural Aquifer, Hydrodynamic Parameters, Completion of hydrological data.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS

RESUMO

ABSTRACT

PARTE - 1: APRESENTAÇÃO	11
1. INTRODUÇÃO	12
1.1. JUSTIFICATIVAS	12
1.2. HIPÓTESE	13
1.3. OBJETIVOS	13
2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS DO SISTEMA CARSTICO	15
2.1. O CARSTE	15
2.2. HIDROGEOLOGIA CÁRSTICA	20
2.3. BALANÇO HÍDRICO	24
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
3.1. TRABALHOS ANTERIORES NA ÁREA	27
3.2. MODELO HIDROGEOLÓGICO	30
PARTE - 2: A ÁREA DO ESTUDO	38
4. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA	38
4.1. LOCALIZAÇÃO	38
4.2. GEOLOGIA REGIONAL E LOCAL	39
4.3. HIDROGEOLOGIA REGIONAL E LOCAL	47
4.4. SOLOS E GEOMORFOLOGIA	52
4.5. ASPECTOS HIDROCLIMATOLÓGICOS	56

PARTE - 3: DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	60
5. MATERIAIS E MÉTODOS	60
5.1. LEVANTAMENTO DE CAMPO	60
5.2. TRATAMENTO DE DADOS OBTIDOS	65
5.3. PREENCHIMENTO DE FALHAS DE MONITORAMENTO	67
5.4. BALANÇO HÍDRICO	68
5.5. MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL	70
6. ARTIGOS CIENTÍFICOS	78
6.1. MÉTODO DE COMPLETAÇÃO DE FALHAS DE MONITORAMENTO DIÁRIOS DE VAZÃO APLICADOS ÀS BACIAS HIDROGRÁFICAS DA REGIÃO DE LAGOA SANTA, MG.	78
6.2. BALANÇO HÍDRICO EM SISTEMA HIDROGEOLÓGICO CÁRSTICO, REGIÃO DE LAGOA SANTA, MINAS GERAIS.	106
7. RESULTADOS DO MODELO HIDROGEOLÓGICO	129
7.1. UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS	129
7.2. CONDIÇÕES DE CONTORNO	133
7.3. ENTRADAS E SAÍDAS DE ÁGUA EM RELAÇÃO AO SISTEMA AQUÍFERO	138
7.4. PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS DO COMPARTIMENTO CÁRSTICO-FISSURAL	143
7.4.1 CAPACIDADE ESPECÍFICA (Qs)	143
7.4.2 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (K)	146
7.4.3 COEFICIENTE DE TRANSMISSIVIDADE (T)	149
7.4.4 COEFICIENTE DE ARMAZENAMENTO (S)	150
7.4.5 RAIO DE INFLUÊNCIA (R)	152
7.5. PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS DO COMPARTIMENTO CÁRSTICO	152
7.6. COMPARTIMENTOS DA UNIDADE AQUÍFERA SETE LAGOAS	154

8. CONCLUSÕES	161
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	163
APÊNDICE I: MONITORAMENTO FLUVIOMÉTRICO (ARQUIVO DIGITAL)	173
APÊNDICE II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS (ARQUIVO DIGITAL)	192
APÊNDICE III: BOOK DE FOTOS (ARQUIVO DIGITAL)	243
ANEXO I: HISTÓRICO PLUVIOMÉTRICO (ARQUIVO DIGITAL)	263
ANEXO II: HISTÓRICO FLUVIOMÉTRICO (ARQUIVO DIGITAL)	272

PARTE 1: A APRESENTAÇÃO

Este trabalho teve como finalidade a confecção de um modelo conceitual de fluxo para o aquífero pelítico-carbonático da região da APA Carste de Lagoa Santa e entorno.

Inserido no projeto mais abrangente denominado “Projeto de adequação de uma rede de monitoramento de águas subterrâneas em áreas com cavidades cársticas da bacia do rio São Francisco aplicado à área piloto da APA Carste de Lagoa Santa, Minas Gerais”, o projeto é parte do Plano de Ação Nacional (PAN) para a conservação do patrimônio espeleológico nas áreas cársticas da bacia do São Francisco.

O projeto, e, por conseguinte esse estudo é um produto do Termo de Cooperação Técnica firmado entre a GERDAU AÇOMINAS e Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa (FUNDEP), sob o processo nº 22.317. A Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) atua como instituição executora, enquanto o Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV) exerce a função de órgão fiscalizador e financiador. Conta, ainda, com apoio executivo do Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear (CDTN), apoio técnico e logístico do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e técnica do Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

Quanto a apresentação da tese, ela foi estruturada em três partes contendo oito capítulos e sendo um destes capítulos formados por dois artigos científicos produzidos como parte dos resultados obtidos, um já publicado na Revista *Águas Subterrâneas* e outro submetido à Revista *Brazilian Journal of Geology*.

A primeira parte, denominada “Apresentação” é considerada introdutória, abordando a justificativa, hipóteses e objetivo da pesquisa (capítulo 1), bem como os conceitos fundamentais (capítulo 2) ligados ao carste, hidrogeologia cárstica e balanço hídrico e o capítulo 3, constituído pela revisão bibliográfica, esta com ênfase a trabalhos anteriores realizados na região estudada e ao modelo hidrogeológico.

A segunda parte, constituída pelo capítulo 4, apresenta as características físicas da área estudada.

E a terceira parte consiste no desenvolvimento da tese propriamente dito, contendo os métodos adotados (capítulo 5), os artigos científicos (capítulo 6), os resultados do modelo conceitual (capítulo 7) e as conclusões do trabalho (capítulo 8). Completa a estrutura deste trabalho as referências bibliográficas, apêndices e anexos.

1. INTRODUÇÃO

Um modelo hidrogeológico conceitual de fluxo, conforme aqui proposto, tem como princípio fundamental a definição de condições que permitam identificar o funcionamento do sistema aquífero e suas fronteiras, estabelecer as suas propriedades hidráulicas e estabelecer espacialmente e quantitativamente e os volumes de entradas e de saídas do sistema.

Reconhecendo a significância da compreensão do modelo hidrogeológico do sistema cárstico-fissural para o gerenciamento dos recursos hídricos, propõe-se este modelo para a região em geral e para a unidade federal de conservação APA Carste de Lagoa Santa, de reconhecida relevância para a preservação quantitativa e qualitativa da água em particular.

1.1 JUSTIFICATIVA

A área de estudos engloba a totalidade da APA Carste de Lagoa Santa, situadas no vetor norte da Região Metropolitana de Belo Horizonte. Devido a sua localização próxima a capital mineira a região tem sido alvo de vários empreendimentos de grande porte como Centro Administrativo do Estado de Minas Gerais, siderúrgicas, mineradoras, além do projeto denominado Aerotrópolis, que prevê um complexo de unidades médicas, pólo de microeletrônica, rodoanel, expansão do aeroporto Tancredo Neves com o propósito de promover a exportação industrial, dentre outros.

A região é de notória importância paisagística e cultural, provida de um sistema de cavernas e demais formações cársticas, sítios arqueopaleontológicos, com cobertura vegetal e fauna silvestre, cuja preservação é fundamental para o ecossistema da região (VIANA *et al.*, 1998). Dentre os elementos da região, vale destacar seus aspectos paisagístico (dolinas, lagoas e inúmeras cavernas catalogadas) e cultural (conteúdo fossilífero e rupestre). Inclui também o Parque Estadual do Sumidouro, com as famosas Grutas da Lapinha, Maquiné e Rei do Mato. Ademais, é uma área de referência para estudos arqueológicos e fossilíferos.

Economicamente, a região é um polo industrial que contribui com o abastecimento da região metropolitana de Belo Horizonte. Entre as indústrias locais destacam-se as minerações cujo principal produto é a fabricação de cimento a partir das rochas carbonáticas puras e, subordinadamente, a extração de cascalho residual, cascalho de seixos de quartzo, areia e calcissilitos, conhecidos na região como “pedra de Lagoa Santa”, muito utilizada em revestimentos (VIANA *et al.*, 1998).

No carste da região de Lagoa Santa ocorre o sistema aquífero cárstico do Grupo Bambuí, e de idade do Neoproterozoico, que se estende até o limite com o estado da Bahia, constituindo um dos principais reservatórios de água subterrânea do estado de Minas Gerais.

PARTE - 1: A APRESENTAÇÃO – 1 INTRODUÇÃO

Devido a uma das formas pontuais de recarga através de sumidouros e fraturas abertas, esse sistema é intrinsicamente mais vulnerável à poluição, requerendo um nível maior de conhecimento do funcionamento hidrogeológico e dos fluxos subterrâneos, os quais, predominantemente, alimentam os fluxos superficiais de forma muito mais rápida do que os aquíferos porosos granulares.

Além disso, na região, a água subterrânea é responsável pelo abastecimento de mais de 80% da população urbana (RIBEIRO *et al.*, 2003). A água na região é, também, utilizada para dessedentação de animais, irrigação e pela indústria (VIANA *et al.*, 1998; MENESES, 2003).

Assim, perante a relevância hidrogeológica para o desenvolvimento da região, e a crescente pressão antrópica sobre a mesma, é imprescindível a concepção de um modelo hidrogeológico contemplando, em escala adequada: a função hidrogeológica de todas as unidades estratigráficas (aquíferos, aquícludes e aquitardes); os contornos físicos dessas unidades; a identificação e caracterização hidráulica de eventuais compartimentos aquíferos; as principais zonas e formas de recarga, e os volumes e espacialização das entradas e saídas de água natural e antrópica.

Por meio desse modelo e subseqüentes aprimoramentos será possível a implementação de uma rede de monitoramento quali quantitativo sustentada por critérios hidrogeológicos fidedignos visando a identificação de regiões mais produtivas, a proteção dos aquíferos e o gerenciamento dos recursos hídricos da região.

1.2 HIPÓTESE DE TRABALHO

As questões mais contundentes que interpuseram a pesquisa foram:

- a) Avaliar a possibilidade de haver conexões hidráulicas entre a unidade aquífera da Formação Sete Lagoas com as condições de contorno adotadas para área.
- b) Considerando a forte anisotropia do Sistema Hidrogeológico do Grupo Bambuí, suscita-se uma possível compartimentação interna vertical e ou horizontal, delimitando-se tridimensionalmente as direções principais de fluxos e a produtividade.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho consistiu em se conceber um modelo hidrogeológico conceitual e de fluxo do sistema aquífero cárstico-fissural do Grupo Bambuí, compreendendo a região da APA carste de Lagoa Santa e arredores, Minas Gerais.

A composição do modelo foi fundamentada nos seguintes objetivos específicos:

PARTE - 1: A APRESENTAÇÃO – 1 INTRODUÇÃO

- i. Criação de um método para a completação de falhas de monitoramento de vazão dos cursos superficiais, próprio para o ambiente cárstico;
- ii. Realização do Balanço Hídrico com a identificação e quantificação das entradas e saídas ao sistema hidrogeológico analisado, bem como das recargas aquíferas;
- iii. Caracterização dos parâmetros hidráulicos dos aquíferos (K, S, T) e sua relação com as unidades aquíferas do sistema cárstico-fissural;

2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS DO SISTEMA CÁRSTICO

Este capítulo consiste em apresentar os conceitos fundamentais do carste, hidrogeologia cárstica e modelo hidrogeológico que visa esclarecer os principais conceitos utilizados na tese.

2.1. O CARSTE

O termo “carste” designa a paisagem marcada por inúmeras cavernas e extensos sistemas de águas subterrâneas desenvolvida em terrenos de rochas solúveis, principalmente as carbonáticas, como calcário, mármore e gesso, ainda que possa ocorrer também em áreas vulcânicas e permafrosts. Sua origem remonta ao Planalto Dinárico na região dos Balcãs, Europa Oriental, onde seus primeiros e intensivos estudos sobrevieram, sendo também chamado de “Carste Clássico” (Ford & Williams, 2007; Van Beynen, 2011).

As bases para a moderna compreensão dos processos geomorfológicos do final do século XIX foram lançadas, possivelmente, pelo cientista Jovan Cvijić (1865 – 1927) (Van Beynen, 2011) e permitiram a expansão da ciência cárstica a fim de abranger outros tipos de carstes: relictos, paleocarste, pseudocarste, vulcanocarste, fluviocarste e termocarste (Ford & Williams, 2007). Atualmente, a ciência do carste avançou de forma a integrar melhor compreensão dos ambientes cársticos, sua fragilidade e valor para o desenvolvimento humano, visto que grandes áreas continentais livres de gelo da Terra são formadas por carstes e aproximadamente 20 a 25% da população mundial depende das águas subterrâneas provenientes deles, seja parcial ou inteiramente (Ford & Williams, 2007).

As diferentes características naturais típicas do “carste clássico” ficaram conhecidas como fenômenos cársticos, bem como as características semelhantes identificadas por todo o mundo, principalmente Europa, Ásia, América do Norte, América Central e no Caribe e, em menor grau, na América do Sul, Austrália e África (Ford & Williams, 2007; Van Beynen, 2011).

No Brasil, importantes estudos baseados na descrição da geologia regional foram pioneiros na temática da geomorfologia cárstica (Tricart, 1956; Barbosa, 1961; Kohler *et al.*, 1978; Kohler, 1989; Piló, 1989), entretanto, apenas a partir da década de 1990 que se desenvolveu estudos hidrogeológicos e hidroquímicos nestes ambientes, com destaque para os trabalhos de Karmann (1994), na região do vale da Ribeira (SP) e Auler (1994), no carste de Matozinhos e Pedro Leopoldo (Piló, 2000). Mais recentemente, a modelagem hidrogeológica nestes terrenos, bem como o detalhamento de estudos hidrogeoquímicos e geomorfológicos, para a compreensão e monitoramento de fluxos de água nestes terrenos se intensificaram, como nos trabalhos na região cárstica de Lagoa Santa por Silva (2003), Pessoa (2005), Batista (2009), Carneiro (2013), Galvão (2015) e Velásquez *et al.* (2018).

O sistema cárstico é controlado pela integração entre os sistemas hidrogeológicos e geoquímicos e a carstificação é resultado de processos de dissolução química ou ação mecânica da água em rochas carbonáticas (Karamouz *et al.* 2011). A ação da água sobre tais tipo de rocha ocorre pelo fato de que a água que contém gás carbônico dissolvido tem caráter ácido e, quando entra em contato com as rochas carbonáticas, gera sua dissolução. Ressalta-se, entretanto, que a carstificação é produzida pela conjunção da alta solubilidade da rocha e a existência de porosidade secundária bem desenvolvida, sendo que apenas a solubilidade da rocha é insuficiente para a evolução do carste (White, 2003; Ford & Williams, 2007).

Considerando a aleatoriedade da distribuição das superfícies de fraturas e de acamamento, vias preferenciais da circulação de águas e, conseqüentemente, de processos de dissolução, os aquíferos cársticos são caracterizados por elevada anisotropia e heterogeneidade (Legrand & Lamoreaux, 1975; Ford & Williams, 1991). Estas características são observadas ao se analisar a condutividade hidráulica (K) dentro de um aquífero. Caso o parâmetro K seja independente da posição dentro da formação, como geralmente ocorre em um meio poroso simples, o aquífero é considerado homogêneo. Entretanto, se K varia com a localização, então é denominado heterogêneo. O mesmo raciocínio se aplica à direção de medição do parâmetro: se a condutividade hidráulica é a mesma, independentemente da direção de medição, o aquífero é isotrópico, mas há variação de K com a direção, é anisotrópico. À medida que ocorrem os processos de dissolução no aquífero cárstico, mais heterogêneos e anisotrópicos eles se tornam (Ford & Williams, 2007).

Segundo White (2002) os aquíferos cársticos podem ser descritos como tendo tripla permeabilidade, em que os campos de fluxo operam através de cada uma delas em diferentes escalas: permeabilidade da matriz da rocha, permeabilidade de fraturas e permeabilidade de condutos.

A permeabilidade da matriz de rocha é bastante variável, sendo tão baixa em muitos calcários e dolomitos paleozoicos que frequentemente pode ser ignorada, enquanto é muito alta em calcários mesozoicos, como os da Flórida e das ilhas do Caribe (White, 2003). Já o segundo tipo de permeabilidade leva em consideração dois parâmetros, a abertura e o espaçamento de fratura. Intensamente influenciada pela dissolução da rocha, as aberturas podem variar de dezenas ou centenas de micrometros em calcário não modificado à 10 milímetros. Enquanto isso, para os condutos, essa variação pode chegar de 10 mm a dezenas ou centenas de metros, constituindo a permeabilidade de condutos (White, 2002; 2003).

Conforme ocorre o avanço da dissolução ao longo das rotas de fluxo dos calcários e dolomitos, há manifestação mais intensa do alargamento de fraturas dependendo de fatores

como as condições do gradiente hidráulico, distância a percorrer e dimensões iniciais das aberturas (Pessoa, 2005).

Apesar da presença de carstificação variar amplamente de acordo com o tipo de rocha, topografia, estruturas geológicas e outros fatores relacionados, a tendência é de que diminua com a profundidade (Milanović, 2004). Esse comportamento pode ser observado nos gráficos da Figura 2.1, em decorrência da disponibilidade de gás carbônico e da quantidade de descontinuidades também reduzida em profundidade.

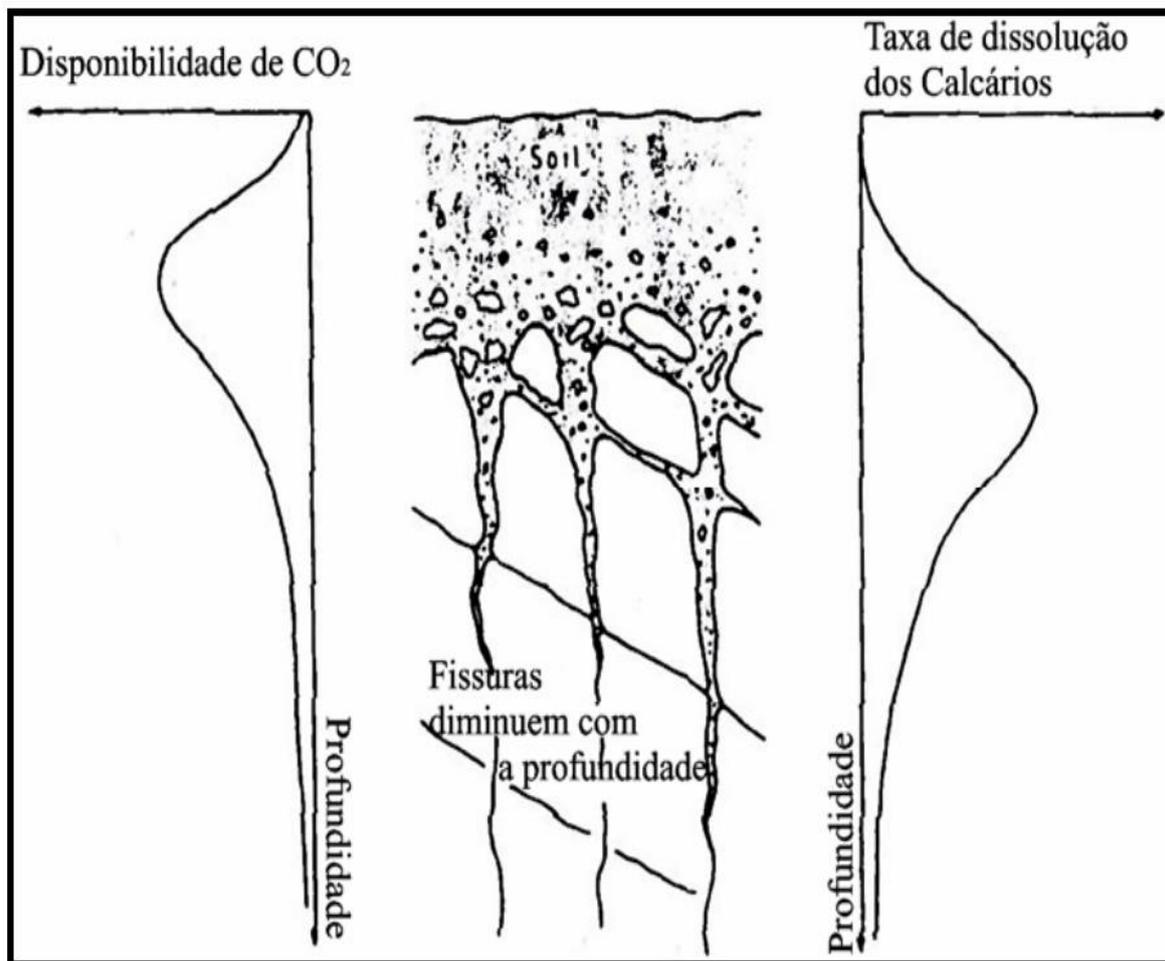


Figura 2.1: Relação entre disponibilidade de CO₂ e processos de dissolução na zona epicárstica. Fonte: Williams 1983 *apud* Pessoa 2005.

Piló (2000) ressalta que a origem do termo “carste” é geomorfológica, de forma que representa um conjunto de formas de relevo formadas por processos típicos de dissolução. A água se torna, portanto, o fator mais significativo no desenvolvimento do carste (Van Beynen, 2011). Geomorfologicamente, as feições mais típicas de um sistema cárstico são dolinas, uvalas, lapiás (*karren*), maciços rochosos, cavernas, nascentes, poljes, vales cegos e sumidouros.

Ford & Williams (2007) salientam que, muitas vezes, hidrogeólogos, quando não observam feições cársticas em superfície, assumem erroneamente que o sistema aquífero subterrâneo também não é cárstico. Dessa forma, tanto o gerenciamento do lençol freático, quanto a avaliação do impacto ambiental, podem ser comprometidos, uma vez que a circulação de águas subterrâneas cársticas pode se desenvolver ainda que o carste superficial não seja aparente.

A geomorfologia cárstica pode ser compartimentada em três domínios que funcionam de maneira acoplada: “exocarste” (em superfície), “epicarste” (em subsuperfície) e “endocarste” (em meio subterrâneo) (Piló, 2000, Goldscheider & Drew, 2007). De acordo com Goldscheider & Drew (2007), o exocarste compreende as feições mais frequentemente representadas em mapas geomorfológicos, ainda que sejam, muitas vezes, expressões superficiais do epicarste e da estrutura do aquífero.

Muito frequentes em rochas calcárias e mais raras nas dolomíticas, os lapiás ou *karren* são sulcos, furos ou saliências irregulares presentes em formas residuais que podem alcançar 2,0 a 4,0 m de profundidade e 0,1 a 1,0 m de largura (Milanović, 2004). Por se formarem pela combinação de dois ou mais processos distintos, os karren possuem tipologia variada e poligenética (Piló, 2000).

As dolinas são feições de absorção fechadas muito comuns no terreno cárstico, de formas circulares, desenvolvidas principalmente pela dissolução de rochas através da infiltração de água por fraturas, juntas e planos de acamamento, entretanto ocorrem, também, dolina de abatimento, colapso devido ao carste subjacente e de subsidência (Piló, 2000; Silva, 2008). Para tanto, três pré-requisitos são necessários para a formação de dolinas: uma passagem para o fluxo de água, zona de rocha solubilizada sub-superficial e, por fim, cobertura de solo ou outro material encobrindo a superfície (Fleury, 2009). Estas feições possuem grande importância para a recarga do aquífero e para a compreensão do sistema cárstico (Galvão, 2015). Um conjunto de depressões de dissolução que se conectam à medida em que crescem são denominadas uvalas ou dolinas compostas (White, 1988 *apud* Piló, 2000). Segundo Silva (2008), essa coalescência resulta-se da evolução superficial mais rápida que em profundidade e, geralmente, sua linha de conjugação associa-se à direção do fraturamento das rochas bem como da direção preferencial do fluxo de água subterrânea.

Poljes é o termo utilizado para caracterizar largas depressões fechadas que podem atingir dezenas de quilômetros, de fundo plano preenchido por sedimentos e paredes abruptas, geralmente bem carstificadas (Piló, 2000; Field, 2002, Ford & Williams, 2007; Silva, 2008). Sua evolução é atribuída à dissolução de suas bordas e inibição dos processos de rebaixamento

de revelo ocasionada pela impermeabilização do fundo das depressões por sedimentos argilosos ou pela proximidade ao nível de base (Piló, 2000). Além de formas cársticas residuais isoladas serem comuns, os poljes podem ser secos, intermitentes ou permanentemente inundados (Silva, 2008).

Outra forma cárstica de absorção fechada comum são os vales cegos, zonas de perdas e vales mortos, que compreendem vales epigenéticos que deixaram de funcionar em consequência de carstificação mais profunda (Silva, 2008).

No que tange as formas cársticas de absorção abertas, as principais consistem nos sumidouros e cavernas. Os primeiros são definidos como locais de infiltração preferencial de águas superficiais no carste, geralmente associados a outras feições cársticas características (Ford & Williams, 2007; Silva, 2008). As cavernas, por sua vez, são aberturas naturais largas o suficiente para entrada de humanos (Milanović, 2004), muitas vezes também conectadas a outras formas do carste e que podem funcionar como condutos para fluxo de água (Silva, 2008). Segundo Milanović (2004), as cavernas consistem em canais horizontais ou levemente inclinados conectados com a superfície por uma ou mais aberturas, que se desenvolvem ao longo de falhas, fraturas e juntas pré-existentes nas rochas.

O epicarste, por sua vez, consiste na zona sub-superficial da rocha cárstica com espessura variável de decímetros a dezenas de metros, em que a permeabilidade é maior e melhor distribuída quando comparada à rocha abaixo, permitindo-a possuir a função principal de armazenamento de água e concentração de fluxo (Goldscheider & Drew, 2007). Piló (2000) salienta a importância do manto de alteração e dos solos no contexto do epicarste, posto que estes materiais estão em contato com a rocha solúvel subjacente e, conseqüentemente, influenciam a circulação hídrica interna e o desenvolvimento do exocarste e endocarste.

Devido à alta solubilidade da rocha, solos e manto de alteração de calcários puros, composto por mais de 90% de calcita, são rasos e pouco desenvolvidos, e seu produto de intemperismo é fina camada de resíduo insolúvel. Apesar disso, a existência de espessas coberturas pedológicas em carste cobertos, como o de Lagoa Santa, sugere que as rochas pelíticas associadas aos calcários são as responsáveis, em maior parte, pela produção dos solos (Piló, 2000).

A zona mais profunda do carste é designada pelo termo endocarste, e compreende cavernas e condutos subterrâneos e seus depósitos químicos, clásticos e orgânicos. Sua gênese é condicionada às estruturas da rocha em combinação com a relação geográfica entre as áreas de recarga e descarga hídrica (Piló, 2000).

2.2. HIDROGEOLOGIA CÁRSTICA

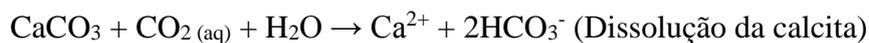
Assim como os demais tipos, o aquífero cárstico pode ser classificado como confinado, quando está contido entre duas camadas impermeáveis de rocha submetidos a uma pressão maior que a atmosférica, livre, quando submetidos à pressão atmosférica, ou suspenso, formado sobre uma camada impermeável entre o nível freático e do terreno (Ford & Williams, 2007; Manoel Filho, 2008).

Não obstante, os aquíferos cársticos possuem características singulares, que os diferem daqueles formados por outros tipos de rochas. Geralmente, tais aquíferos caracterizam-se pela ocorrência de grandes depressões e cavidades no subsolo cujas drenagens são subterrâneas, reduzido escoamento superficial, intrincada circulação de águas subterrâneas tanto em zonas saturadas quanto insaturadas, alta velocidade de infiltração das chuvas e demais águas superficiais, grande variação de parâmetros hidráulicos, como permeabilidade, transmissividade e coeficiente de armazenamento, e anomalias na direção de fluxo em relação ao nível de base regional (Milanović, 2004; Manoel Filho, 2008)

Segundo Goldscheider & Drew (2007), o fluxo de água subterrânea em áreas cársticas é muitas vezes independente da topografia, embora seja geralmente guiado por formações geológicas e feições estruturais. Além dos fatores geológicos e geográficos, a circulação e atividade da água, condicionantes dos fenômenos cársticos, estão também sujeitas aos fatores climáticos, que juntos determinam não só a intensidade de carstificação como a composição química das águas do aquífero (Silva, 2008). Em regiões de clima frio, a dissolução dos calcários é significativamente maior que naquelas de altas temperaturas considerando a mesma quantidade de água, favorecendo a carstificação (Milanović, 2004).

De acordo com Ford & Williams (2007), na dissolução de rochas o que ocorre é a desintegração de seus minerais constituintes, de modo que estudos de diluição devem focar mais nos minerais específicos do que na rocha como um todo. Além disso, o processo de carstificação geralmente é mais desenvolvido em rochas “puras” (monominerálicas). Os calcários são formados principalmente por calcita (CaCO_3), cuja concentração pode superar 90% nas rochas mais puras. São comuns, ainda, carbonatos de magnésio, embora em menor proporção que os de cálcio, formando dolomitos quando seu conteúdo supera 40% (Silva, 2008). Em contato com águas de elevada concentração de CO_2 , os calcários e dolomitos são muito solúveis e sua dissolução produz íons HCO_3^- , Mg^{2+} e Ca^{2+} (Garrels e Christ, 1965).

As reações químicas gerais responsáveis pela dissolução do carste são apresentadas a seguir (Freeze e Cherry, 1979):



No entanto, para que o processo de carstificação ocorra é necessário que exista um fluxo de água subterrâneo capaz de criar cavidades em subsuperfície como produto de dissolução (Galvão, 2015). Essas pequenas cavidades vão, ao longo do tempo, se desenvolvendo e criando uma rede de cavidades e dutos, por onde são criadas condições cada vez mais favoráveis à circulação da água subterrânea.

As nascentes ou surgências constituem os pontos em que a água subterrânea emerge do sistema de drenagem local (Fleury, 2009) e localizam-se, predominantemente, ao longo de regiões de base de erosão, como poljes, vales fluviais e costa marítima. O caráter temporário ou permanente das nascentes depende diretamente de sua descarga na precipitação, além de suas características hidrogeológicas estarem atreladas a diversos fatores do aquífero, como área de captação, porosidade total efetiva, capacidade de recarga e composição geológica (Milanović, 2004). De acordo com Galvão (2015), sua formação é resultado direto da dissolução de rochas carbonáticas ao desenvolver condutos e cavernas que drenam a água subterrânea até a superfície. Constituem, ainda, importantes indicadores de tendência hidrogeológica, apontando qualidade da água, temperatura e fluxo do aquífero (Field, 2002).

Todas as características interconectadas de um aquífero, incluindo áreas de recarga, o substrato geológico e sua respectiva permeabilidade que permitem a percolação do fluxo de água por uma rede de condutos e seu armazenamento, até as regiões de descarga, consistem em um modelo conceitual, geralmente físico, do sistema (White, 2003). No caso do carste, em consequência de suas características genéticas que abrangem a dissolução aleatória e ao longo de fraturas e demais descontinuidades, além da grande variabilidade geomorfológica e hidrogeológica de um lugar para o outro, o entendimento do sistema hidráulico torna-se complicado, bem como a extrapolação de resultados de diferentes regiões cársticas ao redor do mundo (Silva, 2008). Ainda assim, White (2003) destaca a recarga, permeabilidade e descarga como características essenciais do sistema de fluxo do aquífero cárstico, mesmo que nem todos os tipos estejam presentes ou que tenham a mesma importância em todos os aquíferos.

Em termos de recarga, duas formas principais são identificadas: autogênica, em que as águas são provenientes da própria área cárstica, geralmente pela infiltração difusa da precipitação em fraturas nas rochas expostas ou no solo; e alogênica, quando procedentes de áreas não-cársticas adjacentes, normalmente através de cavidades (Goldscheider & Drew, 2007). Ford & Williams (2007) salientam que as características químicas e o volume de recarga

por unidade de área serão diferentes para os dois tipos de recarga, o que influencia também no desenvolvimento da carstificação.

Para White (2002), as águas pluviais podem chegar aos sistemas cársticos basicamente de quatro maneiras: recarga alogênica; infiltração difusa (quando as águas pluviais caem diretamente sobre a superfície cárstica e nela penetram através do solo, fraturas e permeabilidade da matriz rochosa), escoamento interno (quando a água entra rapidamente no aquífero através de fluxos turbulentos em dolinas e depressões) e recarga por aquíferos suspensos (no qual a água é conduzida ao aquífero cárstico subjacente através de poços verticais ou fraturas na zona vadosa). Na prática, a maioria dos sistemas cársticos apresenta uma mistura de componentes autogênicos e alogênicos (Ford & Williams, 2007).

De forma geral, a permeabilidade é extraída da condutividade hidráulica, determinada, por sua vez, por ensaios laboratoriais em núcleos rochosos ou por bombeamento em baterias de poços e piezômetros. As medidas correspondem à condutividade hidráulica ou permeabilidade nas proximidades do poço utilizado nos testes e, para que sejam representativas de todo o aquífero, são necessárias múltiplas amostragens (White, 2002; Pessoa, 2005).

Mesmo que a transmissividade do aquífero, em termos práticos, corresponda à condutividade hidráulica vezes a espessura saturada do aquífero, sendo as variáveis diretamente proporcionais (aumentando à medida que a outra aumenta), esta relação não é simples no caso de aquíferos cársticos, uma vez que as propriedades transmissivas de canais e condutos são muito maiores que na matriz do aquífero (Goldscheider & Drew, 2007). Goldscheider & Drew, (2007) ressaltam, ainda, que a condutividade hidráulica por si só, ao se tratar de fluxos de canais e condutos, não possui significado físico real, trata-se apenas de uma constante de proporcionalidade da Lei de Darcy com dimensão de velocidade.

À vista da grande variabilidade de condutividade hidráulica e permeabilidade dos sistemas cársticos, que promovem a grande anisotropia e heterogeneidade do aquífero cárstico, a velocidade das águas subterrâneas pode variar em muitas ordens de magnitude (Ford & Williams, 2007; Goldscheider & Drew, 2007). Um método muito utilizado para determinação da velocidade aparente do fluxo de água, bem como sua direção e comportamento, além da compreensão e delimitação de zonas de contribuição de aquíferos cársticos e conexões entre sumidouros e surgências são os traçadores corantes (Pessoa, 2005; Goldscheider & Drew, 2007; Galvão, 2015).

Em consequência da elevada anisotropia e heterogeneidade desses aquíferos, poços produtores de grande capacidade e poços praticamente secos podem existir à pequena distância um do outro, sendo sua produtividade muito difícil de prever. A existência de fraturas verticais

concentradas aumentam a probabilidade da dissolução das rochas carbonáticas e, conseqüentemente, do aumento da condutividade hidráulica e produtividade dos poços (Lattman & Parizek, 1964; Parizek & Drew, 1966 *apud* Manoel Filho, 2008). Além disso, a locação dos poços em fundos de vale ou nas partes mais altas das colinas tende a obter melhores resultados de produtividade do que nas encostas, devido a níveis d'água pouco profundos e presença mais abundante de fraturas e aberturas de dissolução, respectivamente (Davis & De Wiest, 1966).

Já em termos de descarga, a água do aquífero é trazida de volta à superfície geralmente através de grandes surgências que podem ser variadas tanto em formas (nascentes de condutos, nascentes difusas, nascentes emersas) quanto em taxas de descarga (White, 2002).

Uma característica peculiar do carste é possuir a descarga controlada por um pequeno número de nascentes grandes, por vezes apenas uma única surgência (White, 2003). Grande parte das maiores nascentes do mundo correspondem a nascentes cársticas, e estas representam o fim do sistema de drenagem subterrânea e o início do predomínio das drenagens superficiais (Ford & Williams, 2007). De acordo com Ford & Williams (2007), a posição vertical da nascente controla a elevação do nível freático no ponto de descarga do aquífero, enquanto a condutividade hidráulica e a vazão de descarga determinam a inclinação do nível freático a montante e sua variação perante diferentes condições de descarga. Sendo um composto de toda a água que flui através do aquífero, as nascentes se tornam um local ideal para medição de vazões, aspectos hidroquímicos e monitoramento de contaminantes (White, 2002; 2003).

As nascentes responsáveis pela manutenção do fluxo de base são denominadas como perenes, enquanto aquelas que fluem apenas durante períodos de alta descarga são chamadas de intermitentes (Worthington, 1991). Entretanto, podem ser classificadas quanto diversos fatores, como controle hidrológico (de drenagem livre, represada e confinada) e suposta origem da água (surgências e ressurgências) (Ford & Williams, 2007).

Do ponto de vista ambiental, os aquíferos cársticos são mais vulneráveis à poluição, uma vez que em meios heterogêneos o transporte de poluentes ocorrerá através de zonas de maior permeabilidade e, dessa forma, existirão vários caminhos imprevisíveis no subsolo em que migrarão os contaminantes, com diferentes orientações e frequência de fraturas proporcionando diferentes dispersões do soluto ao longo do terreno (Silva, 2008).

2.3. BALANÇO HÍDRICO

Por definição, o balanço hídrico consiste no equacionamento das entradas e saídas de água dentro de uma unidade hidrogeológica durante um determinado intervalo de tempo. Obedece ao princípio de conservação de massas, em que a diferença entre as entradas e saídas de água representam a variação de armazenamento do sistema. Dessa forma, as relações entre precipitação, águas superficiais e subterrâneas que chegam à região (entradas), e evapotranspiração e escoamentos superficial e subterrânea (saídas), podem ser atribuídas às bacias delimitadas (Viana *et al.*, 1998; Manoel Filho, 2008).

No carste, além de monitoramento climático e fluvial, faz-se necessária a identificação das rotas de fluxo de água subterrânea mais relevantes que, embora muitas vezes sejam norteadas por formações geológicas e estruturais, são, muitas vezes, independentes da topografia (Goldscheider & Drew, 2007). Em vista disso, os compartimentos hidrogeológicos de uma região não necessariamente equiparam-se às bacias hidrográficas (Paula e Velásquez, 2019).

Em geral, o período de tempo utilizada para o cálculo do balanço hídrico se refere a um ano hidrológico, cujo intervalo é determinado da estação seca até a próxima estação seca, quando o armazenamento se encontra no seu mínimo (Ford & Williams, 2007).

De acordo com Ford & Williams (1989), o balanço hídrico permite, portanto, a aferição dos fluxos de entrada e saída de água no sistema, bem como das mudanças nas taxas de armazenamento de um determinado intervalo de tempo, a partir da seguinte equação:

$$Q_t = P - ETR \pm DS, \text{ em que:}$$

Q_t = escoamento total da bacia;

P = precipitação total na área da bacia;

ETR = evapotranspiração;

DS = representa a variação dos elementos de recarga (renovação ou retirada de água no aquífero).

A equação pode, ainda, ser reescrita em função da variação dos elementos de recarga (DS), como proposto por Thornthwaite & Mather (1955) e apresentado por Ford & Williams (2007) e Manoel Filho (2008):

$$P - ETR - R - I = DS, \text{ onde:}$$

P = precipitação;

ETR = evapotranspiração;

R = deflúvio;

I = infiltração;

DS = variação do armazenamento.

A precipitação consiste na chegada da água meteórica em estado líquido ou sólido à superfície da terra e constitui um fenômeno descontínuo, com variação no espaço e tempo. Sua medição é realizada por pluviômetros (Manoel Filho, 2008). Em estudos regionais, a determinação da precipitação se torna um obstáculo, pois sua estimativa é obtida por pluviômetros distribuídos na região que podem não ser representativos de toda a área de estudo (Pessoa, 2005; Ford & Williams, 2007).

A evapotranspiração, por sua vez, é considerada como a perda de água por evaporação da água do solo e pela transpiração das plantas, variáveis estas difíceis de serem determinadas separadamente (Tucci e Beltrame, 2001; Manoel Filho, 2008). Devido a essa dificuldade, Thornthwaite (1948) introduziu um valor máximo para essas perdas, denominado evapotranspiração potencial, que representa o limite superior da evapotranspiração real. A evapotranspiração real (ETR) é obtida em dois casos: (i) precipitação (P) é maior que a evapotranspiração potencial (ETP), então $ETR = ETP$; (ii) precipitação (P) é menor que ETP, então $ETR = P + |DS|$, quando alteração é negativa e $ETR = P - DS$, quando positiva (Amorim Neto, 1989).

Diferentes tipos de escoamento são observáveis e, portanto, considerados no cálculo do balanço hídrico: escoamento superficial, sub-superficial e subterrâneo (Tucci, 2001; Manoel Filho, 2008; Batista, 2009). O deflúvio (R) corresponde ao escoamento superficial, fluxo da água da chuva que cai na superfície por gravidade, das partes mais altas para mais baixas. Este parâmetro é medido em um posto fluviométrico, composto por uma seção transversal do leito de um curso d'água, obtendo-se a velocidade do fluxo. O produto da velocidade com a área da seção utilizada representa a descarga do curso d'água e, ao conseguir diversas medidas de descarga, é possível estabelecer a curva chave que irá relacionar esses dados com a altura do nível d'água em uma seção (Manoel Filho, 2008).

Já a infiltração é dividida em três partes, como apontado por Manoel Filho (2008): zona de fluxo não saturado, acima do nível freático, em que os vazios do solo estão parcialmente preenchidos por água e ar; interfluxo ou escoamento sub-superficial, fluxo lateral pela zona não saturada, a pequenas profundidades quando há níveis impermeáveis pouco abaixo do solo,

podendo atingir os cursos d'água; e recarga, quando percola até o nível freático, recarregando o aquífero. Segundo Batista (2009), o escoamento sub-superficial é muito reduzido e acaba por não entrar nas análises de hidrogramas, que distinguem apenas os escoamentos superficiais e subterrâneos.

Pessoa (2005) aponta uma inter-relação entre respostas das descargas e as tipologias morfogenéticas do carste, conjecturando-se períodos de elevada pluviosidade, mostrada por Atkinson (1977), Milanović (1981), White (1993). Estas respostas são controladas pelo tipo de recarga, estrutura do carste em termos de permeabilidade e porosidade, e área da bacia de contribuição.

Conforme visto anteriormente, em termos de recarga, as águas pluviais podem chegar aos sistemas cársticos de quatro maneiras: recarga alogênica, infiltração difusa, escoamento interno e por aquíferos suspensos (White, 2002). Dessa forma, a identificação da origem das águas subterrâneas e sua relação com a bacia aflorante, contribui para melhor caracterização do balanço hídrico e, conseqüentemente, para uma melhor interpretação dos quantitativos de saída e entrada do sistema (Paula e Velásquez, 2019).

Os processos de dissolução e carstificação das rochas carbonáticas formadoras das regiões cársticas são determinadas principalmente pela circulação da água e processos hidrológicos. Assim, a natureza da recarga, seja autogênica, alogênica ou mista, influenciará a morfologia cárstica devido à sua percolação na horizontal e/ou vertical, proporcionando a dissolução das rochas. Além disso, diferentes quantidades de escoamento em várias regiões úmidas influenciam tanto a erosão cárstica anual quando a taxa de evolução da paisagem, entretanto não necessariamente irá influenciar o estilo morfológico da topografia cárstica que é desenvolvida (Ford & Williams, 2007).

Ford & Williams (2007) reforçam, ainda, a atuação da variação da temperatura no desenvolvimento da morfologia, principalmente através de sua influência no balanço hídrico, por intermédio da evapotranspiração.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. TRABALHOS ANTERIORES NA ÁREA

A região de Lagoa Santa é uma área clássica de estudos cársticos no Brasil e os principais trabalhos, com enfoques hidrogeológicos e geológicos, realizados na área de estudo remetem a Silva *et al.* (1987), Auler (1994), Berbert-Born (1998), Pessoa (2005) e Galvão (2015), além dos projetos da CPRM (Projeto APA Carste Lagoa Santa – 1998, Projeto Vida – 2003 e Projeto Sete Lagoas – Abaeté - 2010) e dos trabalhos relacionados ao Projeto PAN Cavernas São Francisco (Velásquez *et al.* 2018).

Os estudos na região se diversificam quanto ao assunto e a área de abrangência, sendo que poucos trabalhos compreendem toda a extensão da APA Carste de Lagoa Santa. Com o foco principal na dinâmica dos recursos hídricos, Silva *et al.* (1987) realizaram também o mapeamento geológico da região bem como estudos morfológicos e estruturais imprescindíveis para a compreensão da hidrogeologia local. Os autores reconheceram oito domínios fisiográficos, posteriormente resumidos em seis por Auler (1994), e determinaram domínios hidrogeológicos, com a ocorrência das zonas de recarga nos calcários da Formação Sete Lagoas e nos mantos de alteração no domínio dos Planaltos Cársticos, e zonas de descarga nos leitos de cursos d'água e na Depressão Mocambeiro.

Mais tarde, através dos projetos APA Carste de Lagoa Santa e Vida, a CPRM realizou o mapeamento de toda a região em escala 1:50.000, atualizado mais recentemente por Velásquez *et al.* (2018). As pequenas alterações recém executadas consistem, principalmente, na modificação dos limites da Formação Serra de Santa Helena nas porções norte, nordeste e noroeste da área e na inclusão de contatos por falhas de empurrão entre os membros Pedro Leopoldo e Lagoa Santa, pertencentes à Formação Sete Lagoas.

No que diz respeito à evolução do carste na região, Auler em 1994 descreveu a região de Matozinhos-Pedro Leopoldo como um carste maduro, marcado pela presença de feições cársticas típicas e um fluxo subterrâneo bem desenvolvido. Já Berbert-Born (1998) cita brevemente a história paleoclimática na região com base nos trabalhos de Kohler (1989). Neste modelo, a evolução do carste teria se iniciado após a dissecação dos solos lateríticos terciários sob alternância entre climas frio/seco e quente/úmido. A partir daí o nível carbonático é atingido e se inicia o processo de carstificação, cujo ápice teria ocorrido sob clima quente e úmido no Pleistoceno Superior. Segue-se, então, um período frio e mais seco marcado por sedimentação química, com precipitações secundárias e formação de crostas de calcita e espeleotemas. Posteriormente, um novo aumento de temperatura e umidade tornam-se favoráveis para um novo episódio de carstificação e retrabalhamento de feições primárias e secundárias. Em estudo

morfométrico recente (Velásquez *et al.*, 2018), a região foi dividida em depressões cársticas e maciços rochosos.

Estas mudanças climáticas características do fim do Proterozoico e os diferentes eventos de glaciação e seus registros nos carbonatos da Fm. Sete Lagoas foram apontados por Vieira (2007) através de estudos detalhados de sedimentologia, estratigrafia, geoquímica, geocronologia, isótopos estáveis e paleomagnetismo. Seu trabalho oferece importante contribuição quanto à descrição de fácies e ao modelo de sedimentação das rochas carbonáticas da Fm. Sete Lagoas em toda a região do Carste de Lagoa Santa. Vieira (2007) propõe uma transição de ambientes de águas rasas a oeste para águas mais profundas a leste a partir da distribuição estratigráfica das fácies e sua descrição detalhada, auxiliando na caracterização dos calcários pertencentes aos membros Pedro Leopoldo e Lagoa Santa.

No que tange os estudos dos solos da APA Carste de Lagoa Santa realizados até o momento, os principais correspondem aos trabalhos de Shinzato (1998) e Viana *et al.* (1998). No trabalho de Shinzato (1998) foram analisados perfis de solos em todas as posições do relevo, inclusive em dolinas e outras porções mais rebaixadas, quanto aos aspectos morfológicas, físicos, químicos e mineralógicos. Os solos profundos, granulares e finos característicos da região têm sua gênese atribuída, principalmente, às rochas pelíticas da Fm. Serra de Santa Helena, com pouca contribuição dos calcários.

A caracterização hidrogeológica, incluindo a compreensão da dinâmica hídrica e fluxo de água subterrânea, com desenvolvimento de modelos hidrogeológicos conceituais, foi estudada por diversos autores, mas de forma geral, em áreas restritas. Auler (1994) trabalhou nos municípios de Pedro Leopoldo e Matozinhos, Silva (2003) e Pessoa (2005) restringiram seus estudos ao município de Lagoa Santa, enquanto Batista (2009), Machado (2011), Carneiro (2013) e Galvão (2015) focaram na região de Sete Lagoas.

Auler (1994) conduziu um dos estudos mais relevantes sobre o fluxo de água subterrânea da região da APA Carste fundamentado na aplicação de traçadores artificiais (branqueador óptico e fluoresceína) nas principais redes hidrológicas da área (bacias do Samambaia e do Palmeiras-Mocambo). A partir da injeção do corante foram identificadas três direções principais de fluxo: NW-SE, W-E e SW-NE. Seus estudos permitiram-no concluir que a recarga do carste é essencialmente autogênica, com pouca contribuição dos pelitos, e que o Rio das Velhas recebe a maior parte da descarga do fluxo subterrâneo.

Berbert-Born (1998), por sua vez, cita a “bacia cárstica de Matozinhos-Pedro Leopoldo” como uma região de rochas muito solúveis, onde a maior parte da drenagem se encontra em subsuperfície e em “grande complexidade hidrográfica”. Além disso, a autora descreve o

notável número de lagoas na região, intermitentes ou não, as quais também estão regidas por uma “complexa dinâmica hídrica”.

Kohler (1978) descobriu em seu estudo que a Lagoa central de Lagoa Santa se encontra em estado de equilíbrio, tendo sido formada pela dissolução do pacote calcário sotoposto ao filito. Posteriormente, Auler (1994) classificou três tipos de lagos na área: lagos estáveis sobre o filito, lagos sazonais (sumidouros) nas porções mais altas e base de dolinas e lagos de lençol freático que estão sobre o carbonato, em elevações mais baixas.

Nesse contexto, Berbert-Born (1998) estudou sedimentos em diversos tipos de lagoas na região entre Sete Lagoas e Lagoa Santa, percebendo indicações de modificações recentes no sistema cárstico local. Dentre as lagoas estudadas as lagoas Santo Antônio, Sumidouro e Confins encontram-se em domínios cársticos.

No município de Lagoa Santa, nas proximidades da Mina Lapa Vermelha, Pessoa (2005) verificou a presença de aquífero cárstico extremamente ativo abaixo do manto de intemperismo, cujo controle é exercido primordialmente pela distribuição de faixas de ocorrência de calcários puros (Membro Lagoa Santa). Determinou, ainda, que os processos de carstificação estão condicionados, estruturalmente, à presença de planos de intersecção entre os contatos interestratais (direção N-S) e planos de juntas e foliações tectônicas dos carbonatos. A aplicação do traçador corante Rodamina WT na área de estudo de Pessoa (2005) permitiu, ainda, reconhecer a existência de derivações nas rotas de fluxo subterrâneo entre zonas de recarga e descarga.

No município de Sete Lagoas, Batista (2009) e Galvão (2015) propuseram modelos conceituais do aquífero cárstico. A partir de seu modelo, Batista (2009) concluiu que o fluxo da água subterrânea na região é mais intenso nas porções próximas ao contato com formações geológicas menos permeáveis. Dessa forma o fluxo no carste é concentrado e propicia maior capacidade de produção dos poços instalados nestes locais. O autor verificar, ainda, que as lagoas da área estudada, apesar de certa contribuição dos aquíferos mais profundos, apresentam maior influência do escoamento superficial, uma vez que se localizaram em regiões mais baixas da paisagem e atuam como armazenadores de água.

Já Galvão (2015) aponta as dolinas, entradas de cavidades e manto de intemperismo como as principais zonas de recarga da região de seu estudo e, ainda, estabelece os planos de acamamento alargados pela dissolução das rochas como o principal meio de fluxo de águas. O autor considera as fraturas verticais como vias de circulação de água, embora menos comum que o acamamento. A determinação de águas mistas, a partir da análise hidroquímica, sugere interconexão entre as águas do aquífero cárstico e embasamento.

Também limitado às proximidades de Sete Lagoas, Carneiro (2013) apresentou um modelo hidrogeoquímico para a área, em que verificou uma evolução química da água subterrânea da zona de recarga até a zona de descarga. O modelo apresenta um aumento gradual nos parâmetros de condutividade elétrica, pH e alcalinidade, além do aumento das concentrações de cálcio, magnésio e sílica.

Nos últimos anos diversos trabalhos estão sendo desenvolvidos no âmbito do Projeto PAN Cavernas São Francisco (Velásquez *et al.* 2018), com a inclusão de toda a extensão da APA Carste de Lagoa Santa. Ribeiro *et al.* (2019) identificaram e caracterizaram planos de amamento, fraturas e paleocondutos para associá-las a direções de fluxo já levantadas em estudos anteriores. A concordância das direções de fluxo E-W, NE-SW e NW-SE indicadas pelos traçadores aplicados e as direções preferenciais de fraturas, paleocondutos e cavernas demonstra que o acamamento, em conjunto com as fraturas E-W de alto ângulo, constituem as principais estruturas norteadoras do fluxo regional, orientando a água por meio de condutos em direção ao nível de base regional.

Ainda dentro do Projeto PAN Cavernas São Francisco, Amaral *et al.* (2019) apresenta o comportamento hídrico das depressões cársticas na região da APA Carste de Lagoa Santa embasado nas características morfoestruturais, morfométricas e feições residuais. Os autores consideram que depressões sempre secas e as que se esgotam totalmente ao final da estiagem, especialmente no ano hidrológico normal, são as de elevado potencial para promover a recarga aquífera.

A análise hidroquímica do aquífero cárstico foi realizada por Vieira (2018) indica maiores vazões das nascentes derivadas dos calcários puros do Membro Lagoa Santa quando comparadas com aquelas do Membro Pedro Leopoldo, em virtude de sua natureza mais propícia à dissolução. Entretanto, os poços localizados no domínio das rochas do Membro Pedro Leopoldo apresentam maior capacidade específica e vazão que os associados ao Membro Lagoa Santa. A autora considerou, portanto, um forte controle estrutural na vazão dos poços e atribui a alta produtividade dos mesmos à proximidade de zonas de falha de direção NW-SE.

3.2. MODELO HIDROGEOLÓGICO

A modelagem de aquíferos é uma ferramenta importante e necessária no entendimento e na gestão dos recursos hídricos subterrâneos, além do desenvolvimento de estratégias de proteção contra poluição, nos quais é imprescindível prever a evolução do fluxo e armazenamento de água, conforme a precipitação e vazão das nascentes (Ford & Williams, 2007; Van Beynen, 2011).

Para se modelar um aquífero cárstico, é necessário, a priori, ter um modelo conceitual para posteriormente desenvolver modelos geoquímicos, matemáticos ou computacional. O modelo conceitual, geralmente físico, consiste em uma sequência interconectada de áreas de recarga, distribuições de permeabilidade e substratos geológicos que, em conjunto, sugerem o caminho em que a água é adicionada, armazenada, transmitida e descarregada do sistema (White, 2003; Drew & Goldscheider, 2007).

Entretanto, os aquíferos cársticos apresentam maior complexidade que os torna difíceis de serem modelados quando comparados a aquíferos porosos e fraturados, uma vez que possuem grande heterogeneidade e anisotropia de características hidráulicas, geometria de condutos variável bem como sua delimitação (White, 2002; Drew & Goldscheider, 2007; Batista, 2009; Van Beynen, 2011).

Drew & Goldscheider (2007) apresentam três problemas encontrados na modelagem de aquíferos cársticos. O primeiro problema, devido à anisotropia e heterogeneidade supracitadas, é a definição de parâmetros hidráulicos contínuos. O segundo se refere à seleção e desenvolvimento de código computacional adequado para resolver as equações definidas no modelo conceitual. O terceiro problema relaciona-se a transferência dos resultados simulados para um sistema real, considerando que as hipóteses simplificadas feitas nos modelos conceituais e numéricos aparecem como incertezas nos resultados da simulação, e que estas são muito maiores nos sistemas cársticos devido ao alto grau de heterogeneidade.

White (2003) aponta dois diferentes pontos de vista utilizados por pesquisadores no intuito de resolver os problemas e definir as características essenciais dos aquíferos cársticos. O primeiro, muito utilizado para modelos de fluxo de água subterrânea, fundamenta-se no aquífero e todas as suas partes como uma condição dada, no qual a discussão se concentra na recarga e fluxo de água considerando que não há modificações no próprio aquífero. Já o segundo ponto de vista, aplicado para muitos modelos geoquímicos, considera inicialmente uma massa de rocha carbonática fraturada constituindo um aquífero fraturado e foca na sua evolução para um aquífero com condutos completamente desenvolvidos.

Em seu trabalho, Batista (2009) aponta que, de acordo com Anderson & Woessner (1992), a modelagem de ambientes cársticos através de sistemas equivalentes em aquíferos granulares não é comumente aceita nos meios científicos quando em escala local, porém é considerada apropriada se utilizada em nível regional. Silva (2003) cita Ford & Williams (1989) como defensores da utilização da aplicação desse modelo de fluxo para os sistemas cársticos, que propõem que a rocha pode ser considerada como um meio contínuo, formado por espaços vazios e material sólido, cujos parâmetros macroscópicos podem ser definidos.

Apesar das dificuldades de modelagem e de serem igualmente difíceis para engendrar como fonte de água e proteger de contaminantes, os aquíferos cársticos apresentam particularidades positivas. A primeira delas é o número de técnicas de caracterização que podem ser aplicadas e, em sua maioria, fornecem informações sobre toda a bacia de águas subterrâneas. Uma das características mais importantes consiste no fato de grande parte das águas subterrâneas ressurgirem em uma única nascente ou em um número limitado delas, e a água que descarrega de uma nascente cárstica transporta informações de tudo a montante do aquífero. Além disso, este tipo de aquífero possui grande diversidade de possibilidades de amostragens, seja de medição de fluxo ou de coleta para análises, a água pode ser coletada em diferentes entradas, saídas e passagens de fluxos (White, 2002).

Um dos primeiros estudos que tentaram conceitualizar os aquíferos cársticos (White, 1969) focou na variedade de configurações geológicas e seu controle nos padrões de fluxo de águas subterrâneas. Posteriormente, expandiu-se o estudo para incluir toda a área do sistema hídrico subterrâneo (White, 1977 *apud* White, 2003).

A classificação de Shuster & White (1971) dos aquíferos cársticos em “aquíferos de fluxo de condutos”, relacionados àquelas que contêm sistemas de condutos bem desenvolvidos, e “aquíferos de fluxo difuso”, associados aos que não os possuem, foi considerada inadequada após novos estudos (White, 2003). Mangin (1975) propôs um modelo conceitual cujo principal sistema de condutos transmite águas de infiltração para uma nascente cárstica, porém é pobremente conectado a vazios nas rochas adjacentes, referido como “sistema anexo-dreno”. O autor ainda associou o armazenamento a estes vazios e introduziu o conceito de epicarste, uma zona rasa, carstificada e de alta permeabilidade, logo abaixo da zona de solo, que atuaria como armazenamento temporário e sistema de distribuição de água infiltrada, similar a um aquífero suspenso (Drew & Goldscheider, 2007).

Por sua vez, Drogue (1974,1980) considera que a configuração geométrica da rede de condutos do carste segue o padrão de fraturamento original das rochas e que as juntas constituem um sistema de porosidade duplamente fissuradas. Esta rede compreende blocos fissurados com tamanhos na ordem de centenas de metros, separados por condutos de baixo armazenamento e alta permeabilidade (Drew & Goldscheider, 2007).

Os modelos conceituais de Mangin (1975) e Drogue (1980) foram combinados para formar o modelo proposto por Király (1975, 2002) e Király *et al.* (1995), posteriormente testado quantitativamente e verificado por modelos numéricos (Király & Morel, 1976a, b; Király *et al.*, 1995), que envolve o epicarste e uma organização hierárquica de redes de condutos. Os aquíferos carbonáticos podem ser considerados como unidades interativas de uma rede de

canais cársticos de alta condutividade, hierarquicamente organizada, com uma matriz rochosa fissurada de baixa permeabilidade (Drew & Goldscheider, 2007).

Pessoa (2005) menciona a proposta de Smart & Hobbs (1986) de uma visão sobre dinâmica hídrica em um sistema hidrogeológico cárstico apoiado no reconhecimento dos atributos que controlam o comportamento de tais aquíferos: recarga, armazenamento e descarga. Nessa interpretação, cada atributo varia de forma independente e contínua ao longo do tempo, considerando um sistema cárstico inserido em modelo tridimensional, de acordo com as propriedades específicas do meio: a recarga concentrada ou dispersa; fluxos difusos ou concentrados; e, o armazenamento em zonas saturadas permanentes e não-saturadas, ou vadosas.

Drew & Goldscheider (2007) citam a existência de duas diferentes abordagens fundamentais para o estudo e caracterização dos aquíferos cársticos: modelos globais e modelos distributivos. Os modelos globais ou de parâmetros concentrados implicam na análise matemática de séries temporais de descarga de nascentes (hidrograma), que refletem a resposta hidrogeológica geral dos aquíferos cársticos. As técnicas tradicionais desta abordagem não levam em consideração as variações espaciais dentro do aquífero e não podem fornecer informações diretas sobre a geometria do aquífero, parâmetros hidráulicos e físicos. Os modelos distributivos são utilizados para simulação espacial quantitativa de fluxo das águas subterrâneas e requer a divisão do domínio modelado em subunidades homogêneas, para as quais o fluxo de água subterrânea pode ser descrito por equações de fluxo derivadas de leis físicas básicas. Podem considerar variações espaciais e temporais de parâmetros hidráulicos e condições de contorno e, portanto, exigem informações detalhadas sobre a geometria do aquífero, campos de parâmetros hidráulicos e condições de recarga.

Apesar de cada aquífero cárstico conter características individuais, alguns componentes são essenciais e devem estar presentes em um modelo conceitual. Basicamente, são necessários condição de contorno, controle de entradas (recarga), saída (descarga), fluxo subterrâneo e parâmetros hidrodinâmicos (White, 2002, 2003; Drew & Goldscheider, 2007; Ford & Williams, 2007).

Király (2002) indica que o fluxo de água subterrânea depende do parâmetro hidráulico e das condições de contorno e, conseqüentemente, que outros fatores, como geologia, geomorfologia e clima, exercem sua influência sobre o movimento das águas subterrâneas somente através de campos de parâmetros hidráulicos e condições de contorno (Ford & Williams, 2007). Os campos de parâmetros hidráulicos aplicados em modelos de fluxo de águas

subterrâneas são normalmente obtidos com uma interpolação entre observações discretas (Drew & Goldscheider, 2007).

Batista (2009) cita Anderson & Woessner (1992), que consideram que os contornos podem ser tanto físicos, caracterizados pela presença física de rochas impermeáveis ou grandes corpos de água superficial; quanto hidráulicos, resultantes das condições hidrológicas locais que incluem divisores de águas e linhas de drenagem.

As condições de contorno são determinadas especialmente por influências geológicas, topográficas, climáticas e biológicas, as quais controlam locais e quantidade de recarga e descarga, incluindo altitude de recarga e descarga, precipitação e taxa de infiltração. A partir de determinado conjunto de condições de controle, é possível estimar gradiente hidráulico e descarga específica, mas a longo prazo o processo de circulação de águas subterrâneas cársticas modifica porosidade efetiva, armazenamento específico e condutividade hidráulica, e abaixamento do canal da nascente altera o potencial hidráulico. Como resultado, o sistema de circulação cárstica passa por maior renovação devido ao auto ajuste contínuo que qualquer outro tipo de sistema (Ford & Williams, 2007).

Worthington (1991) atribui as influências das condições de contornos dos sistemas aquíferos sobre os tipos de variação de descargas em surgências aos processos de atenuação de precipitações ou das descargas de cursos d'água superficiais que drenam para o interior dos sistemas.

Já Ford & Williams (2007) apontam a influência do controle geológico sobre aquíferos cársticos em escala regional através da definição do padrão de afloramento, espessura e propriedades das rochas cársticas e sua relação com outras litologias. O tectonismo afeta o equilíbrio entre as taxas de elevação e desnudação e, portanto, tem grande influência no potencial hidráulico.

Considerando o aquífero cárstico como um sistema aberto, delimitado pelos limites da bacia e com controles de entrada, fluxo e saída, o caso mais simples que poderia ocorrer seria a existência de apenas rochas carbonáticas dentro da bacia e recarga restrita à precipitação direta nos calcários (recarga autogênica). Entretanto, normalmente ocorrem circunstâncias geológicas mais complexas e a recarga é derivada, também, de escoamento de águas de rochas não carstificadas adjacentes ou sobrepostas, constituindo uma recarga alogênica. Os dois tipos de recarga apresentam diferentes tipos de fluxo, enquanto a primeira é geralmente difusa, a última é normalmente concentrada, características estas que influenciam na escala e distribuição do desenvolvimento de permeabilidade secundária (White, 2003; Ford & Williams, 2007). De acordo com Ford & Williams (2007), recargas relativamente concentradas ocorrem em sistemas

autogênica apenas onde as dolinas de dissolução são bem desenvolvidas e, ainda assim, seu volume é pequeno quando comparado com recargas alogênicas.

White (2002) divide a recarga autogênica em infiltração difusa, a partir da infiltração das águas da chuva no solo e fraturas das rochas mencionada anteriormente, e escoamento interno, que consiste no fluxo de água de tempestade em dolinas fechadas que é drenada rapidamente para o aquífero por sumidouros. A descarga de escoamento superficial em sumidouros ao invés de fluxos superficiais é comum em muitas regiões cársticas e alguns sumidouros se conectam diretamente com a rede de condutos subjacente.

A descarga através de um conduto depende da quantidade de recarga disponível, denominado controle de captação, ou da capacidade hidráulica da passagem, chamado de controle hidráulico por Palmer (1984, 1991). Esta última é o regulador final do volume de recarga, desse modo, se o influxo instantâneo de correntes superficiais for muito elevado, ocorre a inundação, originando transbordamento através de canais de superfície ou inundação de vales cegos e poljes (Ford & Williams, 2007).

No que diz respeito aos controles de saída de aquíferos cársticos, as nascentes são os principais pontos de descarga, representam o encerramento de sistemas fluviais subterrâneos e marcam o local em que drenagens superficiais se tornam dominantes. As nascentes cársticas, ainda, estão entre as maiores nascentes do mundo e são responsáveis pelo escoamento de toda a bacia subterrânea, incluindo qualquer entrada alogênica (White, 2002; Ford & Williams, 2007).

As nascentes do carste apresentam grande variedade de formas físicas e taxas de descarga e restrições estruturais ou estratigráficas podem resultar em aglomerados de nascentes, onde as descargas de múltiplas bacias de drenagem ressurgem na mesma área. Ademais, sistemas distributivos são comuns para que a mesma bacia de águas subterrâneas possa descarregar de mais de uma nascente (White, 2002).

Dos pontos de recarga até os locais de descarga, o fluxo de água percorre o sistema de condutos do aquífero cárstico. Na escala da bacia, a direção do fluxo é determinada pelo gradiente hidráulico, mas localmente a direção do fluxo é determinada por vias disponibilizadas por fissuras e poros interconectados. Os fatores que determinam a densidade, o tamanho e a distribuição dos vazios são de fundamental importância no controle do escoamento e armazenamento de água em um aquífero cárstico, porque eles ditam os possíveis caminhos de fluxo (Ford & Williams, 2007).

Segundo Pessoa (2005), é de fundamental importância o conhecimento sobre a compartimentação litoestrutural dos sistemas aquíferos cársticos para compreender o

desenvolvimento dos processos de dissolução, auxiliando na determinação de quais propriedades mais se destacam entre aquelas que influenciam os mecanismos de evolução dos aquíferos.

Os planos de acamamento desempenham um importante papel na ligação das rotas conjugadas para a percolação descendente na zona vadosa, mas são mais importantes na zona freática devido à sua grande continuidade lateral. À medida que a imersão se torna mais íngreme, as divisões do plano de acamamento podem fornecer cada vez mais rotas de recarga. A água confinada em grandes planos de acamamento entre camadas densas e espessas de rocha pode ser levada a grandes profundidades no que corresponde a condições artesianas, antes que as juntas cruzadas permitam o movimento lateral (Ford & Williams, 2007).

A porosidade efetiva é fortemente influenciada pelo tamanho do poro e determina o armazenamento específico. O espaço vazio (diâmetro ou largura) disponível para movimento da água varia de sete ou oito ordens de magnitude até dezenas de metros, e desde que permeabilidade é uma função do tamanho de vazio, também varia em uma ampla faixa. Como tamanho de vazio e continuidade aumentam, a permeabilidade aumenta e a resistência ao fluxo diminui. Assim, a condutividade hidráulica é melhorada e, para uma determinada espessura do aquífero, a transmissividade também cresce (Ford & Williams, 2007).

Um importante resultado prático da modelagem da fase inicial do desenvolvimento de condutos é que, no caso especial de fraturas iniciais amplas, distâncias curtas e gradientes altos, o avanço pode ocorrer em menos de 100 anos, um número dentro da vida útil projetada de barragens e estruturas hidráulicas relacionadas (Dreybrodt, 1992, 1996 *apud* White, 2002).

Ford & Williams (2007) concluem que, dado potencial hidráulico suficiente, o estilo de recarga tem forte influência sobre a ocorrência, densidade e tamanho de permeabilidade do conduto (embora não no processo de desenvolvimento de condutos).

As características e informações essenciais do aquífero cárstico e informações necessárias para o desenvolvimento de um modelo conceitual podem ser obtidas a partir de abordagens complementares, como estimativa do balanço hídrico, análise de furo, análise de nascentes e aplicação de traçadores corantes (Ford & Williams, 2007).

No que tange os aquíferos da região de estudo, APA Carste de Lagoa Santa, os modelos conceituais desenvolvidos até o presente se referem a áreas restritas, não abrangendo toda a extensão da APA. Mourão *et al.* (2001) associam os aquíferos fissurados-cársticos da região à existência de pacotes rochosos que apresentam mistura ou alternância de frações siliciclásticas e carbonáticas. Ainda segundo os autores, esses sistemas apresentam aspectos hidráulicos contrastantes e variando desde aquíferos fissurados a aquíferos cársticos.

Em relação à recarga, Pessoa (1996) aponta que o processo de infiltração mais eficaz na região de Lagoa Santa ocorre ao longo das zonas mais fraturadas, em que metassedimentos possuem espessura em torno de 60 m. Segundo o autor, a recarga é lenta nos locais cobertos por espessos mantos de intemperismo, e ocorre apenas por filtrações verticais descendentes ou em zonas coincidentes com os cursos d'água em que o talvegue confere com o tipo riacho-fenda.

Por fim, é apresentado o modelo da evolução geológica do carste da região de Sete Lagoas e imediações, por Galvão (2015). Nesse esquema (Figura 3.1) o autor apresenta de maneira resumida os principais eventos evolutivos na região: (i) eventos extensionais na borda do Cráton São Francisco; (ii) a deposição da Formação Sete Lagoas em ambiente de mar epicontinental; (iii) evento de transgressão marinha com a deposição de sedimentos que deram origem à Formação Serra de Santa Helena; (iv) fim do evento transgressivo; (v) processos de deformação das rochas envolvendo fraturamentos e dobramentos com vergência para oeste; e (vi) deposição de coberturas.

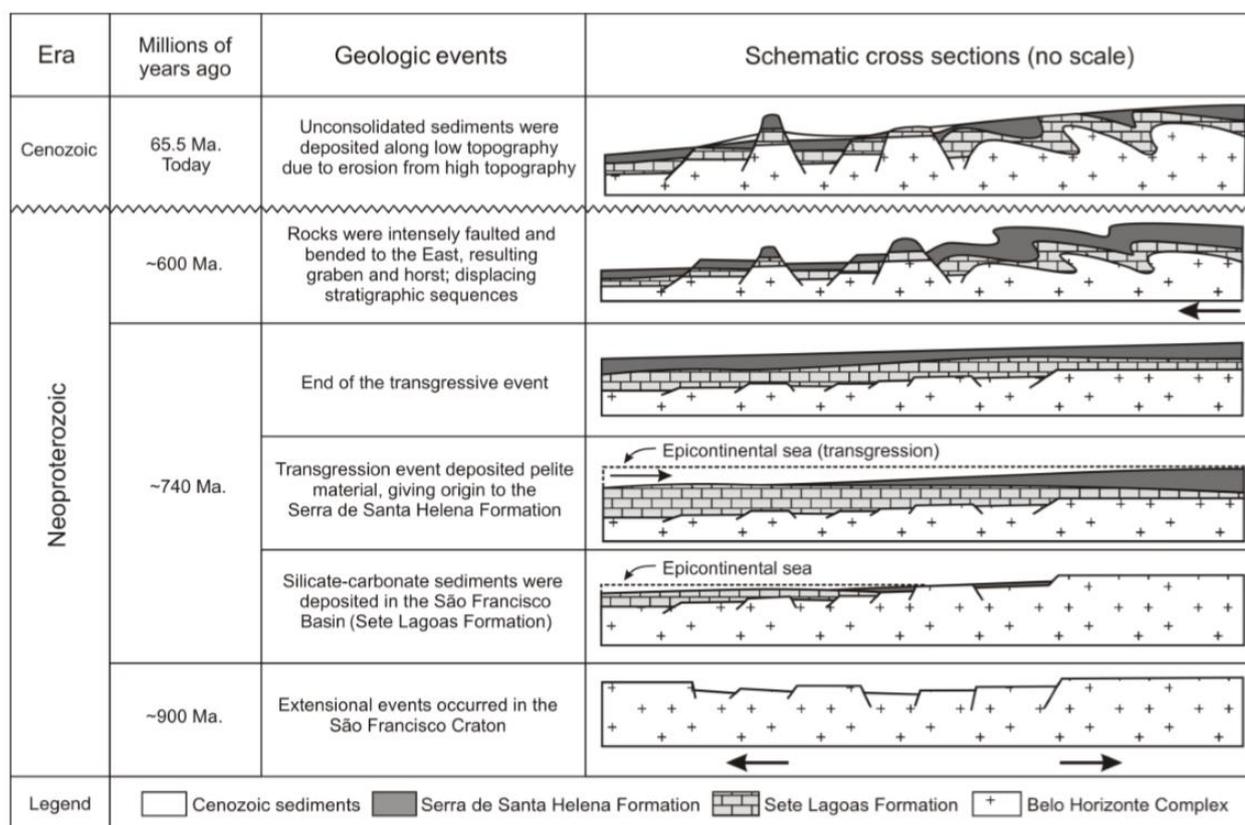


Figura 3.1: Modelo de evolução do carste em Sete Lagoas e região proposto por Galvão (2015).

PARTE 2: A ÁREA DO ESTUDO

A parte 2 da tese é constituída dos dados característicos da área de estudo, como a localização, geologia regional e local, hidrogeologia regional e local, solo e morfologia e aspectos hidroclimatológicos que compreende a área de estudo.

4. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

A caracterização física contempla todos os subtópicos descritos anteriores, formando o capítulo único desta parte da tese.

4.1. LOCALIZAÇÃO

A área de estudo está localizada a aproximadamente 35 km de Belo Horizonte abrangendo, parcial ou integralmente, sete municípios: Lagoa Santa, Confins, Pedro Leopoldo, Matozinhos, Vespasiano, Funilândia e Prudente de Moraes. Além dos centros urbanos citados, compreende toda a extensão da APA Carste de Lagoa Santa e extrapola seus limites à noroeste e oeste (Figura 4.1).

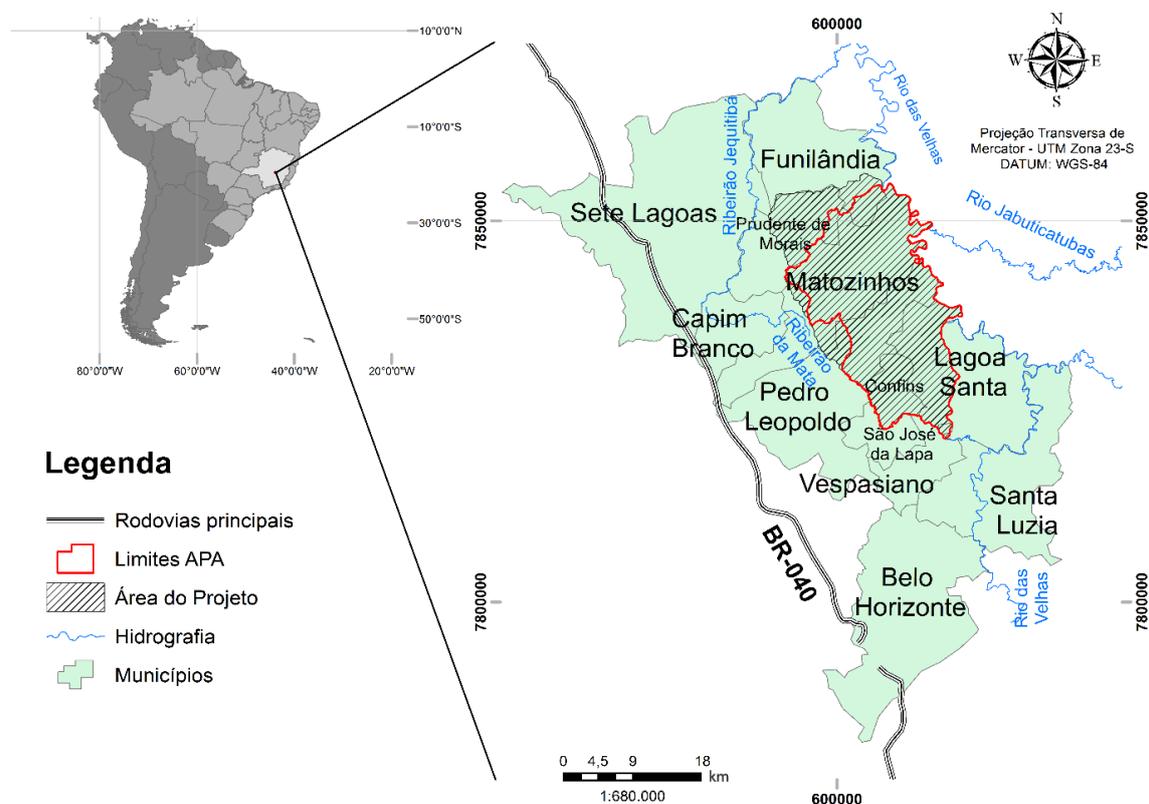


Figura 4.1: Mapa localização da área.

Totalizando aproximadamente 505 km², a área é limitada, principalmente, pelas rodovias MG-010 e MG-424 (à sul e oeste, respectivamente) e pelas principais drenagens da região: Rio das Velhas (à leste) e Ribeirão da Mata (à sul).

O principal acesso à região do projeto, partindo de Belo Horizonte, é feito através da rodovia estadual MG-010 sentido Lagoa Santa. No entanto, na altura de Vespasiano, a MG-010 se bifurca e dá origem à rodovia MG-424, que pode ser seguida, sentido Pedro Leopoldo, como via alternativa.

A área em estudo, que encerra a denominada “região cárstica de Lagoa Santa” por (Kohler *et al.* 1978), situa-se em um ambiente amplamente estudado desde o século XIX, despertando interesse científico sobre vários aspectos, dentre os quais os de natureza paleontológica, arqueológica e geomorfológica (Pessoa, 2005).

Além de abranger parte da região metropolitana de Belo Horizonte, abarca a APA Carste de Lagoa Santa, área de proteção ambiental criada em 1990 com vistas a proteger o frágil ecossistema cárstico local, de relevância nacional.

A região é marcada, ainda, por empreendimentos agropecuários e de condomínios residenciais. Em Confins, na porção sul da área, está localizado o aeroporto internacional Tancredo Neves, sendo a região, também, servida pela Rede Ferroviária Federal S.A.

Situa-se no contexto geológico do Cráton São Francisco (CSF), sendo marcada pelas bacias sedimentares carbonáticas do Grupo Bambuí. No âmbito hidrológico, a área faz parte da Bacia do São Francisco e sub-bacia do Rio das Velhas.

Além disso, associados à exploração de água subterrânea, tem-se o registro de questões geotécnicas como colapsos, registrados principalmente na região de Sete Lagoas, à oeste da área (Galvão *et al.*, 2015).

4.2. GEOLOGIA REGIONAL E LOCAL

A área de estudo está inserida na porção sul do CSF, compreendendo, regionalmente, o embasamento gnáissico-migmatítico do Complexo Belo Horizonte sobreposto por sequências metassedimentares neoproterozóicas detrítico-glaciais, Grupo Macaúbas e Formação Jequitaí, e pelito-carbonáticas do Grupo Bambuí (Almeida 1977; Dardenne, 1978; Alkmim & Martins-Neto, 2001; Alkmim, 2004). Dessa forma, o CSF funcionou como base para a deposição de sedimentos pelito-carbonáticos marinhos sobre a plataforma epicontinental estável (Schobbenhaus *et al.*, 1984).

Dentro dos limites do CSF foi observada uma compartimentação tectônica oriunda de uma deformação progressiva com esforços compressivos de leste para oeste (Alkmim *et al.*,

1993), o grau de deformação diminui para o centro do cráton (Magalhães, 1988; Alkmim *et al.*, 1993; Ribeiro *et al.*, 2003).

O principal trabalho de referência para descrição geológica local é o mapeamento geológico do Projeto Vida, realizado pela CPRM na escala de 1:50.000 (Ribeiro *et al.*, 2003), reforçado pelo mapeamento mais recente do Projeto Sete Lagoas – Abaeté (Tuller *et al.*, 2010). Nestes são caracterizados os litotipos do Complexo Belo Horizonte, da porção basal do Grupo Bambuí, constituída pelas formações Sete Lagoas e Serra de Santa Helena, além das coberturas cenozóicas compostas por coberturas detrito-lateríticas e aluvionares (Figura 4.2).

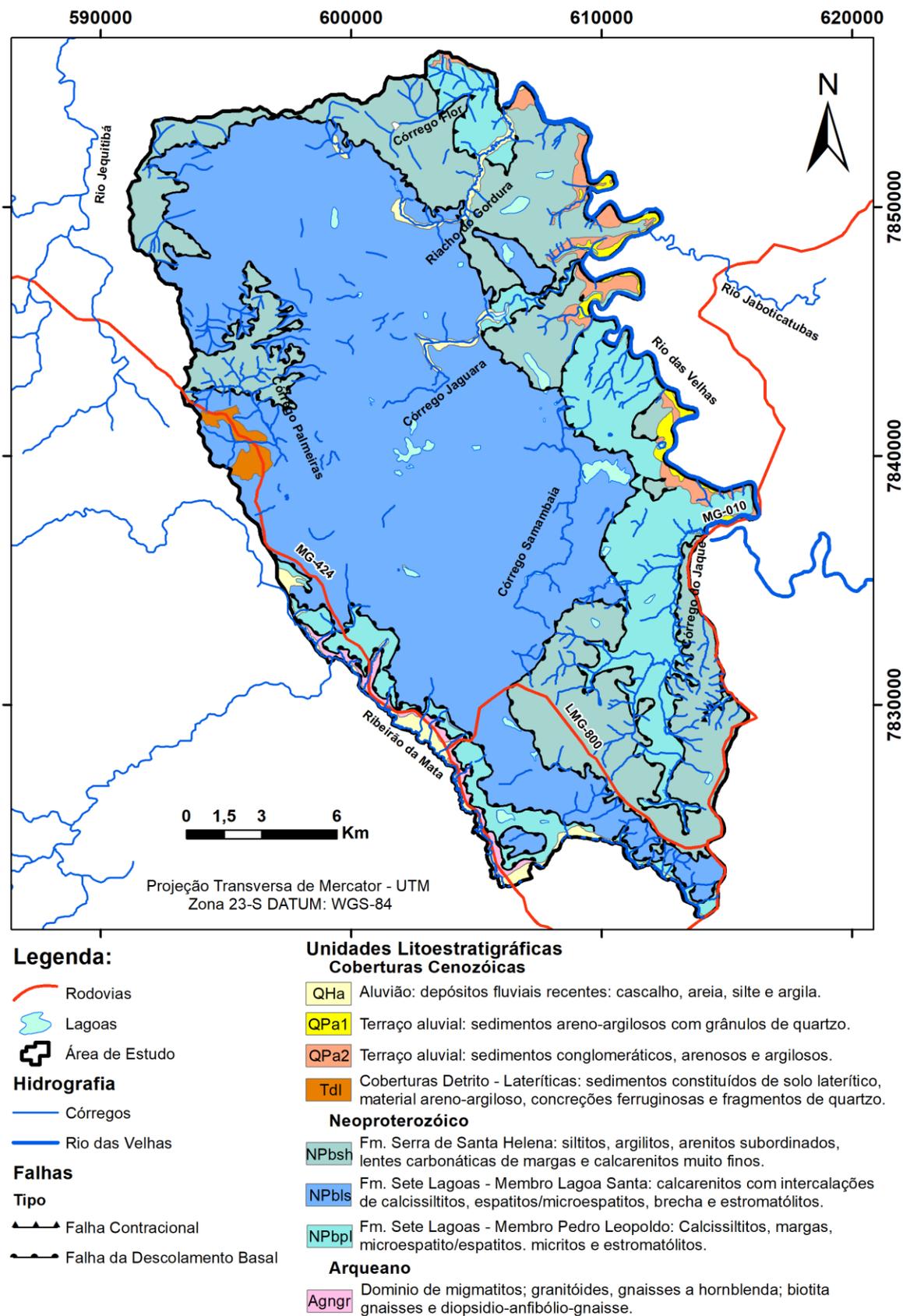


Figura 4.2 - Mapa geológico da área de estudo.

O complexo granítico-gnáissico-migmatítico indiferenciado é composto por rochas gnáissicas, granitóides e migmatíticas e constitui o substrato das rochas supracrustais adjacentes, com as quais apresenta contato brusco e discordante (Pessoa, 1996). São rochas geralmente marcadas por um alto grau de intemperismo e sua representação na área de estudo é restrita e ocorre principalmente a sul, em uma estreita faixa de direcionamento NW-SE, ocupando aproximadamente 1% da área total do projeto. Ainda que os melhores afloramentos sejam encontrados em pedreiras, foram mapeadas ainda exposições em drenagens, como por exemplo junto ao Rio das Velhas e encontradas partes entre os sedimentos e coberturas próximo às cidades como a de Matozinhos.

De acordo com Ribeiro *et al.* (2003), litologicamente, as rochas do embasamento, apesar de serem muito diversificadas, apresentam composição essencialmente granito-gnáissica e migmatítica. Entre os litotipos, os contatos geralmente ocorrem de maneira transicional. No geral, as rochas possuem coloração clara, granulação média a grossa e é comum a presença de minerais estirados e orientados, como biotita e anfibólio, *shear bands* e *boudins*. A foliação é marcante e, preferencialmente, de baixo ângulo. A migmatização é comum e registra um processo de metamorfismo de fácies anfíbolito (Viana *et al.*, 1998; Ribeiro *et al.*, 2003) ao passo que a paragênese formada pelo retrometamorfismo, indicado pela saussuritização, sericitização, uralitização e cloritização, é típica de fácies xisto verde (Vieira *et al.*, 2018). Estas porções apresentam bandamento e partes caóticas, muitas dobras, veios quartzo-feldspáticos e pegmatóides. Além disso, é comum a presença de fraturas preenchidas por calcita e epidoto.

As idades atribuídas ao complexo gnáissico variam entre os autores. Alguns admitem idades arqueanas para as rochas da região (Danni & Fuck, 1981; Teixeira & Danni, 1979 *apud* Ribeiro *et al.* 2003), outros atribuem ao Proterozoico, entre 2000 e 500 Ma (Hasui & Almeida, 1970; Cordani & Hasui, 1975 e Hasui *et al.*, 1980 *in* Ribeiro *et al.* 2003) e estudos mais recentes (Hasui, 1980; Tassinari, 1981) indicam rejuvenescimento isotópico das rochas do arqueano durante eventos tecnotermiais mais recentes, como o evento Brasileiro (600-800 Ma).

O Grupo Bambuí, de acordo com Ribeiro *et al.* (2003), foi inicialmente descrito por Rimann (1917) e teve, ao longo da evolução dos estudos geológicos, descrições e divisões variadas, podendo-se citar os trabalhos de Freyberg (1932), Costa & Branco (1961) e Braun (1968). Neste trabalho, adotou-se, as nomenclaturas utilizadas por Ribeiro *et al.*, (2003) que provêm dos trabalhos de Dardenne (1978) e das modificações de Scholl (1976) e Grossi & Quade (1985). As unidades estratigráficas que compõem o registro dessa bacia se caracterizam por uma intercalação de calcários de texturas variadas e rochas pelíticas, com contatos, em geral, gradacionais.

Ribeiro *et al.* (2003), baseado nos trabalhos de Magalhães (1988), adota um modelo de sedimentação com três ciclos (Figura 4.3). O primeiro ciclo, representado pelo Membro Pedro Leopoldo, é do tipo transgressivo. O segundo é um ciclo regressivo que deu origem ao Membro Lagoa Santa e o terceiro e mais recente, é novamente transgressivo, correspondente à Formação Serra de Santa Helena.

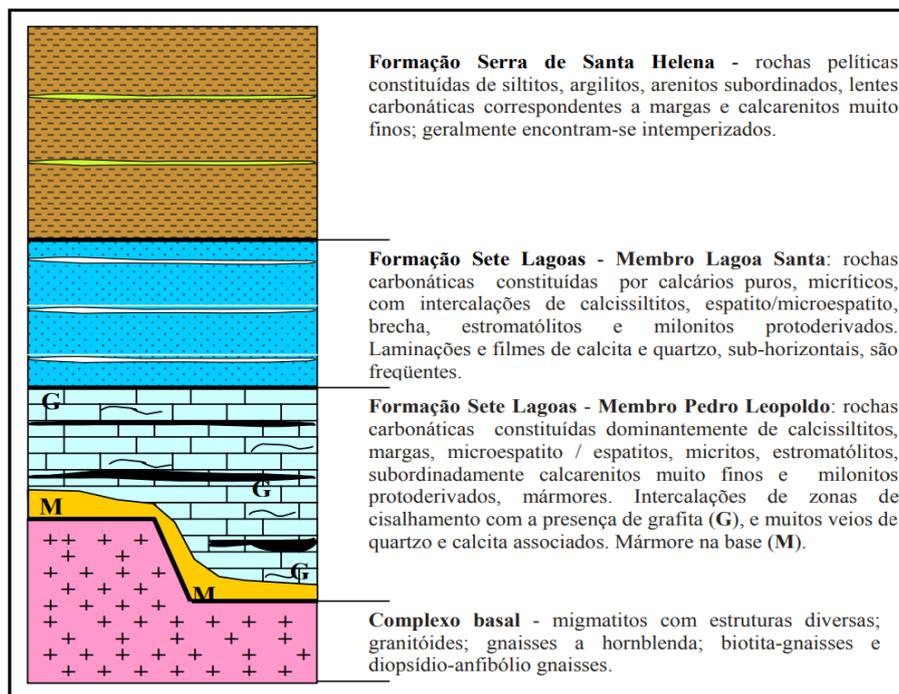


Figura 4.3: Perfil esquemático com as principais formações que constituem a geologia regional da área de estudo. Extraído de Pessoa (2005).

A Formação Sete Lagoas é caracterizada, regionalmente, por uma sequência carbonática formada predominantemente por calcários e, de forma subordinada, por dolomitos, tendo sido descrita conforme as variações composicionais observadas através de horizontes distintos. Constitui a porção basal do Grupo Bambuí e divide-se em Membro Pedro Leopoldo, inferior, e Membro Lagoa Santa, superior. É, ainda, a unidade de maior representatividade na região de estudo, ocupando aproximadamente 70% de toda a área, principalmente a porção central, o noroeste e sudoeste. Em consequência aos eventos deformacionais que atingiram a região, os dois membros que compõem a unidade apresentam rochas intensamente recrystalizadas e com estruturas primárias em grande parte obliteradas (Tuller *et al.*, 2010).

Geocronologicamente, a Formação Sete Lagoas foi datada com base em seu conteúdo estromatolítico. Assim, datações iniciais atribuíram a deposição destes carbonatos ao Paleozoico, mas, posteriormente, foram encontrados dados mais antigos. Assim, de acordo com Ribeiro *et al.* (2003), Marchese (1974) atribuiu o intervalo de 950-600 Ma para deposição do

Bambuí, ao passo que Cassedane (1964, 1968, 1986) e Cloud & Dardenne (1986), estipularam o intervalo de 950-1350 Ma para deposição deste grupo.

Estudos mais recentes, no entanto, determinaram idades cada vez mais novas para a unidade por diferentes métodos. De acordo com Vieira *et al.* (2007) a sequência carbonática da Formação Sete Lagoas pode se dividir em sete associações de fácies que formam dois megaciclos. O primeiro é iniciado em depósito de plataforma profunda supersaturada em CaCO₃, no qual se depositam cristais de aragonita da base da formação, que representa os carbonatos de capa identificados na unidade, e termina em depósitos com influência de tempestade. O segundo megaciclo, por sua vez, caracteriza-se como depósitos de plataforma rasa a profunda, ricos em matéria orgânica, com valores de $\delta^{13}\text{C}$ positivos. Ao correlacionar essas características sedimentares e isotópicas dos carbonatos de capa da base da Formação Sete Lagoas e compará-los com outros depósitos descritos no mundo, tanto Babinski *et al.* (2007) quanto Vieira *et al.* (2007) atribuem idade Sturtiana (~800-635 Ma) à unidade. Já no trabalho de Caxito *et al.* (2012) as fácies de leques de aragonita e as finas capas de dolomita na base da sequência carbonática em questão são correlacionadas com depósitos Ediacaranos (~635-541 Ma) de ocorrência mundial, sem nenhuma descrição em sequências Sturtianas. A recente descoberta do fóssil guia *Cloudina sp.* em Januária (Warren *et al.*, 2014), em porções medianas da formação, corrobora a idade Ediacarana da Formação Sete Lagoas.

O Membro Pedro Leopoldo, situado na base da Formação Sete Lagoas, sobrepõe o Complexo Gnáissico-migmatítico indiferenciado em contato brusco e discordante, por vezes através de uma falha de descolamento (Ribeiro *et al.*, 2003). Suas exposições na área de estudo ocorrem geralmente em faixas de direção SE-NW, com destaque para a porção entre as cidades de Pedro Leopoldo, Lagoa Santa e Funilândia. Ocupa, no total, quase 14% da área. Ademais, o pacote carbonático correspondente à unidade possui aproximadamente 150 m de espessura (Cabral, 1994)

No que diz respeito à sua litologia, o Membro Pedro Leopoldo é constituído de calcissiltitos e ou microesparitos/esparitos micritas, subordinadamente calcarenitos muito finos margas e milonitos protoderivados (Ribeiro *et al.*, 2003). De acordo com Pessoa (2005), trata-se de um calcissiltito, podendo ser caracterizado como calcário laminado de coloração cinza claro e com impurezas argilosas e deformação incipiente a elevada entre os estratos. O mineral principal destes calcários é a calcita e suas intercalações pelíticas são formadas predominantemente por quartzo e sericita, ocorrendo ainda sulfetos disseminados. As porções mais puras das rochas apresentam, muitas vezes, aspecto sacaroide.

As rochas do Membro Pedro Leopoldo possuem, localmente, porções milonitizadas oriundas de deformações mais intensas (Pessoa, 2005). A intercalação pelítica desta unidade acomoda a maior parte da deformação devido sua menor espessura (Ribeiro *et al.*, 2003) e confere às rochas uma ampla variedade de estruturas, como foliação, clivagem de crenulação, sombras de pressão, lineação mineral, mica *fish*, dobras suaves a cerradas e de arraste, além de estruturas S-C.

O Membro Lagoa Santa sotopõe, por contato brusco, o Membro Pedro Leopoldo e é a unidade principal da área de estudo local, constituindo-se por estratos sub-horizontais de rochas calcárias. Trata-se da litologia dominante que aflora em quase toda a área (55%), exceto nas porções à nordeste e leste. Ao contrário das demais unidades, devido a sua natureza composicional essencialmente carbonática, os seus estratos podem ser observados através de afloramentos naturais e nas cavas abertas. Ocorre formando morros contínuos de maciços calcários intensamente fraturados localizados em colinas suaves e de grande extensão, contendo formas cársticas desenvolvidas como dolinas e condutos. Sua espessura aproximada é de 100 metros (Cabral, 1994).

Esta unidade é formada por calcarenito, espatitos e calcilitos subordinados (Ribeiro *et al.*, 2003). Tratam-se de calcarenitos de coloração cinza escuro, com alternâncias de lâminas claras e camadas escuras, ambas fundamentalmente calcíticas. A alternância nas cores claras e escuras está relacionada à quantidade de matéria orgânica contida e na granulometria da calcita. Em geral, os calcários do Membro Lagoa Santa apresentam granulação mais grossa que aqueles do Membro Pedro Leopoldo e sulfetos disseminados.

Diferentemente das rochas do membro inferior, as estruturas presentes nos calcários desta unidade decorrem do estiramento dos cristais de calcita e, geralmente, são menos evidentes. Dentre aquelas observáveis nos calcários em questão estão foliação subparalela ao acamamento, lineação de estiramento de direção aproximada E-W, milonitização e dobras isoclinais intrafoliais. São comuns, ainda, veios de calcita de espessuras milimétricas a centimétricas.

A Formação Serra de Santa Helena, conforme descrição por Dardenne (1978), foi originalmente feita na serra homônima, no município de Sete Lagoas, no entanto, encontra-se principalmente ao norte e sudoeste da área e nas imediações da cidade de Lagoa Santa estendendo-se até o Rio das Velhas. Ocupa cerca de 24% da área total do projeto.

De acordo com Ribeiro *et al.* (2003) a Formação Serra de Santa Helena dispõe-se, de maneira geral, sobre a Formação Sete Lagoas através de contato tectônico brusco. Convém

ressaltar que, por vezes, os litotipos da Formação Serra de Santa Helena estão assentados diretamente sobre o embasamento cristalino.

Ainda segundo o mesmo autor, esta formação é composta de litotipos predominantemente siliciclásticos e, por vezes, carbonáticos. Os litotipos siliciclásticos são siltitos e argilitos que, em sua maioria, apresentam-se decompostos e semi-alterados. Nessas condições, possuem coloração variada gradando do ocre ao vermelho e do creme ao cinza-claro, além de textura argilosa e altamente friáveis. Nos casos de rochas frescas, encontradas principalmente em pedreiras, tem-se coloração verde escuro e, por vezes, clivagem do tipo ardósiana. São compostas essencialmente por quartzo e sericita, subordinadamente por argila e óxidos de ferro.

Do ponto de vista estrutural, as rochas da Formação Serra de Santa Helena apresentam laminação, em geral caracterizada pela intercalação de lâminas espessas de sericita e delgadas de quartzo, crenulação e dobras fechadas a abertas frequentes.

A Formação Serra de Santa Helena é interpretada com um ciclo transgressivo sobre as rochas da Formação Sete Lagoas, depositada em ambiente marinho sublitorâneo de baixa energia, com águas redutoras e profundas (Ribeiro *et al.*, 2003).

Tanto as rochas da Formação Sete Lagoas quanto as da Formação Serra de Santa Helena possuem paragêneses típicas de metamorfismo de baixo grau de fácies xisto verde (Ribeiro *et al.*, 2003; Tuller *et al.*, 2010).

As coberturas recentes, datadas do terciário e quaternário, recobrem boa parte da área estudada e se dividem em dois tipos: coberturas detrito-lateríticas e depósitos aluviais.

As coberturas detrítico-lateríticas apresentam exposições expressivas e descontínuas, ocupando aproximadamente 1% da área total, e se manifestam em faixas alongadas e irregulares, de espessuras variáveis, maiores que 2 m e em cotas acima de 800 m. Em relação a litologia, tais depósitos superficiais apresentam composição diversa, com variações de cascalho fino, areia, material silto-argiloso e porções limonitizadas. As coberturas possuem origem residual, sendo resultantes de processos erosivos nas rochas mais antigas (Ribeiro *et al.*, 2003).

Os depósitos aluvionares, por sua vez, são bastante presentes na área do estudo e foram divididos em aluviões recentes e terraços aluviais, além de ocuparem cerca de 5% da área. Ainda de acordo com Ribeiro *et al.* (2003) os depósitos mais recentes são encontrados associados às drenagens atuais e os mais antigos apresentam níveis distintos, situando-se abaixo dos depósitos aluviais recentes, e são topograficamente mais elevados que os atuais, sendo comumente encontrados nos arredores do Rio das Velhas. A composição dos depósitos aluvionares engloba cascalhos, areias, argilas e siltes.

4.3. HIDROGEOLOGIA REGIONAL E LOCAL

A rede de drenagem subterrânea da APA Carste de Lagoa Santa é composta por amplo sortimento de condutos e cavernas amiudadamente interconectados com as numerosas feições cársticas superficiais, como dolinas, uvalas, surgências e sumidouros, presentes na região. Tal caracterização sugere um sistema aquífero complexo e intrincado em que se predomina o fluxo subterrâneo, com escoamento superficial de baixa densidade (Viana *et al.*, 1998). Em geral, as nascentes dos rios da área de estudo situam-se nos terrenos carbonáticos e, a partir da geomorfologia cárstica bem desenvolvida e como maior parte da água pluvial, são drenadas para condutos subterrâneos (Ribeiro *et al.*, 2016)

Com base nos aspectos geológicos, incluindo estruturais, litológicos, estratigráficos e morfológicos, a hidrogeologia da área divide-se em quatro unidades hidroestratigráficas: Cristalino, Sete Lagoas, Serra de Santa Helena e das Coberturas. Dadas as suas características, tais sistemas se comportam, respectivamente, como aquífero fissural, aquífero cárstico-fissural, aquífero granular.

O principal sistema aquífero local é do tipo cárstico e se desenvolve nas rochas calcárias da Formação Sete Lagoas, unidade também de maior representação na área (70% do total), enquanto o complexo Gnáissico Migmatítico constitui a base impermeável do sistema. Apesar de constituírem sistemas aquíferos distintos, o fluxo subterrâneo cárstico deve ser caracterizado considerando a interação entre tais sistemas ou, como dito por Pessoa (2005), “a partir do acoplamento entre o pacote de rochas carbonáticas e a estruturação do complexo basal cristalino”.

O sistema aquífero cristalino ocorre no domínio das rochas do complexo gnáissico migmatítico indiferenciado. Trata-se de um aquífero confinado na maior parte da área onde é recoberto pelos metassedimentos do Grupo Bambuí e, na pequena região aflorante a sul da área, constitui um aquífero livre.

Possui porosidade do tipo fissural, no qual o fluxo subterrâneo se dá através das discontinuidades, principalmente nos planos de fratura resultante dos esforços tectônicos que atuaram na região. Segundo Pessoa (1996), neste aquífero decorre duas formas de fluxo que se distinguem pela profundidade de circulação: uma mais rasa, em que as estruturas de percolação da água se interconectam com o manto de intemperismo, e a outra mais profunda, na qual o fluxo está confinado em decorrência do isolamento de fraturas em profundidade. As porções não fraturadas nesse tipo de aquífero, em geral, possuem porosidade primária praticamente nula e comportam-se como aquíferos.

A recarga do aquífero fissural é atribuída ao encaixe de parte dos cursos d'água em sistemas de fratura do embasamento cristalino e à infiltração de água através das coberturas coluvionares. Por sua vez, a descarga do aquífero se verifica pela transferência da água para zonas mais profundas e para os cursos d'água, além das fontes pontuais difusas que ocorrem tanto em fissuras como nas regiões de contato entre o saprolito e a rocha fresca (Mourão *et al.*, 2001).

Trata-se de um sistema aquífero bastante heterogêneo e anisotrópico nas suas propriedades hidrodinâmicas e que funciona como base impermeável do Sistema Aquífero Sete Lagoas, correspondendo ao aquífero de menor expressão na área.

O Sistema Aquífero Sete Lagoas - SASL (Pessoa, 2005; Galvão, 2015) constitui o aquífero de maior importância e representatividade na região, sendo do tipo cárstico-fissural devido a sua composição predominantemente carbonática com intercalação pelítica e influência tectônica. Ocorre nos calcários do Membro Lagoa Santa, intensamente carstificado, e no Membro Pedro Leopoldo, menos carstificado e onde o maior potencial hídrico apresenta-se na região de fraturamento e nos planos de acamamento. Em geral, caracteriza-se por aquífero bastante produtivo e vulnerável, além da boa qualidade da água mesmo com sabor desagradável ocasionado pela presença de íons de Ca^{2+} em concentração significativa (Viana *et al.*, 1998)

Encontra-se limitado na base pelo complexo gnáissico migmatítico e no topo pelos metapelitos da Formação Serra de Santa Helena. Trata-se de um aquífero livre na maior parte do empreendimento e semi-confinado nas porções onde é sotoposto pelo aquífero Serra de Santa Helena. Seu fluxo predomina de oeste para leste em direção ao Rio das Velhas que funciona como nível de base regional (Galvão, 2015).

No aquífero preponderantemente cárstico, o fluxo e o armazenamento se condicionam por condutos originários do alargamento de fraturas decorrentes da dissolução do material carbonático (Carneiro, 2013). Considerando a composição pura dos calcários do Membro Lagoa Santa, as rochas desta unidade apresentam maior susceptibilidade à solubilização quando comparadas às do Membro Pedro Leopoldo e, dessa forma, as áreas em que ocorrem apresentam carstificação mais intensa.

Em virtude da presença da alternância entre intercalações pelítica e porções carbonáticas nas rochas do Membro Pedro Leopoldo, o SASL corresponde a um aquífero cárstico-fissural segundo definição de Mourão *et al.* (2001). Esse tipo de sistema aquífero apresenta características hidráulicas tanto de aquíferos fissurais quanto cársticos, sendo seus fluxos relacionados a fraturas pré-existentes e à dissolução de lentes carbonáticas (Carneiro, 2013).

A diferença comportamental dos calcários dos dois membros que compõem o SASL é também indicada por Peñaranda-Salgado (2016), que correlaciona a composição das rochas da Formação Sete Lagoas com o desenvolvimento de condutos de dissolução. O autor identificou teor significativamente maior de MgO nos calcários impuros do Mb Pedro Leopoldo que no Mb Lagoa Santa e associou ao menor potencial de formação de condutos no primeiro membro.

A porosidade do tipo cárstica resulta da dissolução do carbonato de cálcio que gera condutos de dissolução, permitindo um fluxo subterrâneo rápido (White, 2002). Aquíferos cársticos são muito heterogêneos, anisotrópicos e possuem permeabilidade hidráulica muito variável, que vão desde valores quase impermeáveis a valores correspondentes a cursos de águas superficiais (White, 2003). Pessoa (2005) descreve velocidades de fluxo subterrâneo de até 80 m/h em regime de fluxo turbulento e a presença de uma extensa rede de fraturas e conexões hidráulicas no sistema aquífero cárstico. Velásquez *et al.* (2018) encontraram no norte da área de estudo velocidades aparentes superiores a 182 m/h, onde foram injetados traçadores corantes em pontos de entrada e saída com distância aproximada em linha reta superior a 4,2 km e recuperação de 100% do corante em aproximadamente 23 h.

Uma vez que apenas a solubilidade não é suficiente para gerar carste, sendo as estruturas e litologias das rochas também essenciais (Ford & Williams, 1989), a análise estrutural da região também foi amplamente discutida por diversos autores. De acordo com Galvão *et al.* (2015) e Peñaranda-Salgado (2016), o Aquífero Sete Lagoas apresenta porosidade primária muito baixa e porosidade secundária caracterizada por micro fraturas e também reduzida nas porções com preenchimento por calcita. Os autores citam ainda um terceiro tipo de porosidade, da qual advém o maior aporte de água subterrânea, caracterizada por planos de acamamento carstificados e por fraturas sub-verticais carstificadas, em menor grau. A partir da aplicação de traçadores corantes nas principais redes hidrológicas da área, bacia do Samambaia e do Palmeiras-Mocambo, Auler (1994) identificou três direções de fluxo principais: NW-SE, W-E e SW-NE. Ao correlacionar a geologia estrutural e os fluxos de água na área, Ribeiro *et al.* (2019) destacam a importância das fraturas de alto ângulo para os fluxos do sistema cárstico e corroboram com o trabalho de Auler (1994), determinando o sentido preferencial da circulação da água de oeste para leste. Em seu trabalho, Peñaranda-Salgado (2016) obteve, também, três direções teóricas preferenciais para o desenvolvimento de condutos, N20E (L1), N40E (L2) e N80W (L3), ao relacionar as atitudes do acamamento com as fraturas predominantes identificadas N10-20E (C1); N30-40E (C2); e N80-W a E-W (C3).

Silva *et al.* (1987) descreve a presença de padrão de juntas produzidos no Evento Brasileiro com atitudes N-10E/28E e N50/69E. Pessoa (2005) relaciona os processos de

carstificação na região à existência de planos de interseção entre os estratos carbonáticos, que em geral ocorrem na direção N-S, e com planos de juntas e foliação paralelos e também a faixas de contato entre fraturas conjugadas NW-SE e ENE-SSW. O mesmo autor ressalta a existência de uma zona epicárstica desenvolvida abaixo do espesso manto de intemperismo - principalmente em carbonatos puros -, que controla o aporte de recarga de águas meteóricas, exercendo influência no regime de fluxo para surgências e no processo de dissolução lateral. Segundo Mourão *et al.* (2001), a recarga do aquífero cárstico ocorre, além da área supracitada, em afloramentos calcários e em zonas de feições cársticas típicas, como dolinas e sumidouros.

Os estudos de Velásquez *et al.* (2018) indicaram que os dutos de dissolução, por onde desloca-se parte da água subterrânea, se desenvolveram nas regiões em que se verifica a junção de discontinuidades, fraturas de direção E-W com fraturas sub-horizontais. Assim, as áreas onde o fluxo subterrâneo se dá predominantemente por condutos, a direção principal é N80-90W, no sentido do Rio das Velhas. Prevalece, na região, o sistema “fluxo difuso” no qual o deslocamento de água subterrânea ocorre nas direções das fraturas NE e NW dos metacalcários e, mais especificamente conforme as direções N0-10E, N10-30E e N10-90W. Tais fraturas favorecem a recarga quando expostas mas possuem pequena capacidade de armazenamento e transmissividade.

A recarga do aquífero cárstico nas porções de calcários aflorantes - incluindo estruturas cársticas de abatimento - e através das coberturas, principalmente, nas regiões planas e planaltos cársticos foi anteriormente salientada por Auler (1994). Galvão (2015) cita ainda que a recarga da região de Sete Lagoas é limitada ao período chuvoso entre outubro e dezembro, ocorrendo de maneira direta (autogênica) nas porções aflorantes do aquífero cárstico e através de infiltração superficial nas zonas recobertas por sedimentos inconsolidados (recarga alogênica). Vale ressaltar ainda que o percentual de recarga varia nas áreas expostas pela mineração, onde a taxa de infiltração é maior (Pessoa, 2005).

Por sua vez, a descarga desse sistema aquífero advém de infiltrações em zonas de circulação lenta e mais profunda e de escoamento ao longo de condutos em direção ao nível de base regional, Rio das Velhas (Pessoa, 1996). Auler (1994), em seu estudo de utilização de traçadores corantes para mapeamento do fluxo subterrâneo, estimou em 88% da porcentagem da água vai para o Rio das Velhas. A descarga pode possuir caráter artificial através de exploração da água subterrânea por poços tubulares profundos (Carneiro, 2013).

Com relação aos parâmetros hidrodinâmicos na região de estudo, nota-se a grande amplitude (Tabela 4.1) com relação aos dados obtidos e variação conforme a região estudada, mostrando a heterogeneidade do sistema aquífero cárstico. Entre os trabalhos de Pessoa (1996,

2005), ressalta-se a grande diferença na taxa de infiltração que se mostrou cerca de 12% maior nas áreas próximas a minerações. Já no trabalho de Galvão (2015), destacam-se as diferenças nos valores de condutividade hidráulica (K) e transmissividade (T) obtidos em análises de pequena escala (amostras de mão), em testes de aquífero e análise de zona da captura.

Tabela 4.1: Compilação de parâmetros hidrodinâmicos em trabalhos realizados na região de estudo.

Autor	Local Estudado	K (m/s)	n	n _e	I	T (m ² /d)
PESSOA 1996	Aquífero Sete Lagoas, região de Sete Lagoas				0,2	
PESSOA 2005	Aquíferos cársticos cobertos, região de Lagoa Santa, incluindo áreas próximas a minerações	2,46x10 ⁻⁷ a 3,33x10 ⁻⁵	1,53% ³ 5,9% ⁴	09 a 10,8%	0,32	
PESSOA 2005		1,9x10 ⁻⁹ a 4,1x10 ⁻⁸ ¹				1,2x10 ⁻² a 2,6x10 ⁻¹ ⁵
GALVÃO <i>et al</i> 2017	Aquífero Sete Lagoas, região de Sete Lagoas	1,9x10 ⁻⁹ a 4,1x10 ⁻⁸ ¹¹ , 1,2x10 ⁻ ⁵ a 4,2x10 ⁻⁴ ²				1,2x10 ⁻² a 2,6x10 ⁻¹ ⁵ 90 a 3600 ⁶

K = Condutividade hidráulica (¹ testes em pequena escala, ² testes de aquífero); n = Porosidade total (³ Furos totalmente penetrantes, até o embasamento; ⁴ furos parcialmente penetrantes no carbonato); n_e = porosidade efetiva (%); I = coeficiente de infiltração (%) e T = transmissividade (⁵ testes em pequena escala para um aquífero com espessura de 75 m, ⁶ testes de aquífero).

No tocante à condutividade hidráulica, Galvão *et al.* (2017) notou que os valores de condutividade, principalmente nas análises em pequena escala, estão na base do range para carbonatos (quando comparados com os resultados de Freeze & Cherry, 1979), sendo consistentes com calcários com precipitação secundária de calcita. Já Pessoa (2005), em testes de permeabilidade notou variações de condutividade hidráulica em uma mesma seção horizontal, interpretando os resultados como uma dupla porosidade do meio cárstico. Além disso, o autor destaca que os valores de K encontrados correspondem sempre a um valor médio de condutividade para o trecho saturado do aquífero, compreendido por porções carbonáticas e faixas de espaços vazios.

Como esperado, a porosidade diminui com a profundidade, como evidenciado por Pessoa (2005), que encontrou uma porosidade total muito maior em furos parcialmente penetrantes, constatando que a maior parte das cavidades (80%) está situada até 100 m de profundidade.

Por fim, vale ressaltar ainda os eventos geotécnicos cársticos, em Sete Lagoas, relacionados a extração de águas subterrâneas para uso no município. De acordo com Galvão (2015) com o rebaixamento do nível d'água ocorre a exposição do plano de acamamento que deixa de ser saturado, aumentando os riscos geotécnicos.

O Sistema Serra de Santa Helena encontra-se nos metapelitos da Formação Serra de Santa Helena, constituída de siltitos argilosos finamente laminados e que ocorrem na porção sudeste e nordeste da área de estudo.

Trata-se de um aquífero com porosidade do tipo fraturada, associada aos planos de descontinuidades da rocha (fraturas e falhas). As maiores capacidades de armazenamento estão associadas aos raros níveis carbonatos carstificados, geralmente encontrados no contato com os calcários da Formação Sete Lagoas.

É possível que estas rochas funcionem mais como zonas de recarga para os aquíferos carbonáticos do que um aquífero produtivo. Auler (1994) cita a presença de aquíferos suspensos em algumas porções argilosas. Já Pessoa (1996) sugere que a recarga mais eficaz ocorre em zonas intensamente fraturas, nas quais os metassedimentos possuem espessura aproximada de 60 m., mas que há também recarga lenta em regiões com espessos mantos de intemperismo através de infiltrações verticais ou em zonas relativas aos cursos d'água.

Sua descarga transcorre por meio de infiltração para o aquífero cárstico encoberto como já citado, sendo que coincide com as zonas de fraturamento mais intenso. Devido ao alto grau de intemperismo que as rochas da Formação Serra de Santa Helena apresentam na área de estudo, a ocorrência deste tipo de Sistema Aquífero é incomum (Carneiro, 2013).

O sistema de coberturas é constituído pelas coberturas detrito-lateríticas e depósitos aluviais recentes. Estudos pedológicos de Shinzato (1998) identificaram que os solos que compõem a região a APA de Lagoa Santa possuem elevada permeabilidade e estão intensamente intemperizados e lixiviados.

Um dos principais tipos de solos presentes na região são os latossolos, geralmente muito argilosos, mas que devido ao arranjo estrutural em forma de micro agregados podem apresentar condutividade relativamente elevada. Já os cambissolos, também de grande importância, apresentam duas camadas distintas, uma fina de cascalho com certo grau de cimentação e, outra, de material compacto silto-argiloso (Carneiro, 2013).

Trata-se de um aquífero heterogêneo e anisotrópico e com porosidade do tipo granular. Esse tipo de aquífero é livre e, em geral, apresenta baixa potencialidade aquífera. Sua principal característica é funcionar como zona de recarga dos aquíferos subjacentes, sendo explorados por meio de cisternas e cacimbas, geralmente para abastecimento doméstico.

4.4. GEOMORFOLOGIA E SOLOS

O sistema cárstico da região está desenvolvido sobre os calcários cristalinos da Formação Sete Lagoas, onde o processo de dissolução é favorecido pela pureza do calcário e

pequena quantidade de magnésio (Rauch & White 1970, 1977 *in* Auler 1994). Nesse contexto, Pessoa (2005) em estudos em furos de sondagem na região próxima à Lagoa Santa, constatou que a maior parte das cavidades se desenvolve em calcários calcíticos (51,5%), seguidas dos calcários cálcio filíticos (35,5%), xistos carbonáticos (10%) e mármore (3%).

A partir da intensa correspondência do relevo com o contexto geológico da APA Carste de Lagoa Santa, dois domínios geomorfológicos distintos podem ser caracterizados. O primeiro, de ocorrência majoritária na porção central, é dominado pelos calcários da Formação Sete Lagoas e caracteriza-se por feições tipicamente cársticas, dentre elas dolinas, uvalas, colinas convexas, morros alongados e paredões (Viana *et al*, 1998). As dolinas e uvalas, formadas por dissolução predominantemente e por abatimento em menor parte, estão grosseiramente alinhadas e possuem tamanhos variados. Paredões de calcário estão frequentemente bordejando essas feições. A intersecção dos condutos de drenagens subterrâneas com a superfície de relevo resulta na grande quantidade de cavernas e reentrâncias identificadas na região (Berbert-Born, 2002).

O segundo domínio está instalado sobre os pelitos da Formação Serra de Santa Helena e possui ocorrência espacial subordinada em relação ao primeiro. As rochas pelíticas situam-se nas bordas da área, principalmente na porção sudeste, próximo à cidade de Lagoa Santa. Caracteriza-se morfologicamente por colinas convexas e alongadas, sendo representada por cotas acima de 850 metros (Meneses, 2003). Kohler (1989) reconhece este segundo domínio como remanescente da superfície de aplainamento Sul-Americana do Terciário, definida por sua vez como Pediplano Sul Americano por King (1956).

De forma mais detalhada, a área de estudo pode ser dividida nos seis domínios propostos por Auler (1994):

- Planaltos cársticos: topografia de carste mais desenvolvida que ocorre na região central e a noroeste da área, em elevações entre 700 e 860 m de altitude. Domínio muito permeável com formas cársticas tropicais e drenagens subterrâneas;
- Depressão Mocambeiro: área de relevo dissecado que está na porção norte da região de estudo. Trata-se de uma área mais rebaixada com altitudes menores que 700 m e marcada por fluvio-carste com nascentes, rios e lagos.
- Superfícies cársticas encobertas: ocorrem na porção noroeste da área e se estendem em uma faixa de largura variável até sudeste. São áreas com feições cársticas pouco evidentes devido ao espesso manto de intemperismo sobrejacente.

- Superfícies filíticas: áreas de relevo suave e altitudes maiores que 800m. Ocorrem mais significativamente a sudeste, mas também a nordeste e em uma pequena porção a noroeste da área.
- Planícies fluviais: domínio dos rios.
- Domínio ígneo metamórfico: marcado por formas arredondadas, com diques e rochas básicas associados. Localiza-se em uma pequena faixa a sul.

No estudo morfométrico de Velásquez *et al.* (2018), a área de estudo foi dividida em depressões cársticas e maciços calcários rochosos. Foram mapeadas 393 depressões, das quais, 84% possui área menor que 147 m², 60% possui profundidade entre 3,0 e 12,9 m e a grande maioria possui declividade de 0 a 10° em seu interior.

Entre as feições cársticas mais comumente encontradas na área, Auler (1994) cita as dolinas (formas mais abundantes, especialmente nas porções mais elevadas do carste), feições do tipo “karren”, depressões preenchidas por lagos temporários, presença de sumidouros de dissolução e sumidouros por colapso.

A região é marcada ainda pela presença de cavidades, que, até 2003 tinham sido contabilizadas em 289 pelo Projeto Vida (Ribeiro *et al.*, 2003). Entre as principais cavernas, pode-se destacar a Gruta da Lapinha, Gruta de Maquiné, Gruta do Rei do Mato e Gruta do Sumidouro. Em 1988, Auler mostrou que a maioria das cavernas ocorre em porções mais elevadas e aquelas com nível freático são as mais comuns.

A evolução do conhecimento cárstico na região foi levando, cada vez mais, à compreensão de que as condições de carstificação em subsuperfície e as feições em superfície estão fortemente ligadas à processos subterrâneos, com grande influência do embasamento. Assim, Auler (1994) destacou que os pontos mais altos na região, se destacam no relevo e teriam uma orientação relacionada ao fluxo de água subterrâneo. Berbert-Born (1998) notou que o comportamento hídrico, especificamente o esvaziamento, das lagoas Santo Antônio e Confins, localizadas no Membro Lagoa Santa, é fortemente controlado por processos subterrâneos.

Por sua vez, Pessoa (2005) concluiu que o assoalho cristalino exerce grande influência na situação dos carbonatos - controlando os processos de dissolução - e, dessa forma, variações de atitude encontradas nos carbonatos não estariam associadas às grandes dobras como sugeriu Ribeiro *et al.* (2003), mas seriam influência de processos de deformação impostos pelo relevo basal do embasamento; as porções mais carstificadas estariam relacionadas a zonas mais irregulares do embasamento, ao que o autor chamou de “embaciamentos”.

Ademais, em estudos mais recentes (Velásquez *et al.*, 2018), o mapeamento geológico estrutural em escala 1:300.000, mostrou um mesmo padrão de comportamento das fraturas do embasamento e lineamentos da cobertura, indicando que a cobertura da área é fortemente controlada pelas estruturas do embasamento.

A região da APA Carste de Lagoa Santa, mais propriamente o domínio do planalto cárstico, expõe numerosas classes de solos, predominando os latossolos vermelho-escuros e, subordinadamente, cambissolos e podzólicos vermelho-escuros (Shinzato, 1998). Em geral, caracterizam-se pela hegemonia de componentes de granulometria silte e argila, são bem drenados, profundos e possuem boa porosidade e permeabilidade.

Os latossolos vermelhos ocorrem, principalmente, nas porções sul, leste e nordeste. Sua textura é argilosa, apresentam estrutura granular e horizonte A com boas características de infiltração e retenção de umidade. Correntemente são muito profundos e têm espessura de *solum* superior a 1 m (Meneses, 2003). Carneiro (2013) caracteriza os latossolos como ricos em caulinita e óxidos de ferro e alumínio, dentre eles hematita, goethita e gibbissita, pela intensidade do intemperismo. A presença destes minerais aumenta a acidez do solo, reduzem a reserva de nutrientes e aumentam a toxicidade para as plantas pelo alto teor de alumínio. Apresentam-se, portanto, pouco férteis, o que acarreta em elevados custos de correção e fertilização para o uso agrícola (Meneses, 2003).

Nas dolinas, que se apresentam na região de tamanho e formas diversificados, predominam cambissolos gleicos eutróficos de textura muito argilosa. Essas características são adquiridas devido à ação da água dura, que geralmente deixa o solo fértil (eutrófico) e com a coloração acinzentada, em especial próximo do nível freático ou em locais de grande circulação hídrica (gleico) (Shinzato, 1998). À vista da grande variedade de material de origem, formas de relevo e das próprias condições climáticas, os cambissolos também apresentam ampla diversidade, comportando-se por vezes como fortemente a imperfeitamente drenados, de rasos a profundos, de cor bruno, bruno-amarelado até vermelho escuro. No que diz respeito à fertilidade natural, os cambissolos háplicos tornam-se aptos em manejos mais desenvolvidos, mas inapto em utilização nas lavouras sem mecanização. Por sua vez, os cambissolos gleicos eutróficos possuem limitações em sua utilização devido ao excedente hídrico de dolinas e uvalas nas quais estão localizados (Meneses, 2003)

As várzeas são ocupadas, predominantemente, por gleissolos e solos aluviais, normalmente mal drenados a imperfeitamente drenados (Shinzato, 1998). Ocorrem ao longo dos cursos d'água, o que os torna susceptíveis a inundações periódicas e, conseqüentemente, favorece a aptidão desses solos à utilização agropecuária nas planícies fluviais, apesar do risco

constante de inundações atuar como fator limitante ao seu uso (Meneses, 2003). Em função da água rica em cálcio e magnésio provinda da dissolução das rochas carbonáticas possuem elevada fertilidade (Shinzato, 1998).

Ressalta-se, entretanto, que as rochas carbonáticas de maior expressividade na região da APA Carste de Lagoa Santa são compostas por mais de 90% de calcita e, assim, é de se esperar a formação de solos rasos e pouco espessos. Por conseguinte, a existência de espessas coberturas pedológicas na área de estudo indica que as mesmas estejam mais relacionadas ao pelito da Formação Serra de Santa Helena que às rochas carbonáticas (Shinzato, 1998; Piló, 2000).

4.5. ASPECTOS HIDROCLIMATOLÓGICOS

Característico de toda a região tropical brasileira, o clima da APA Carste de Lagoa Santa está sob domínio do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), centro bórico de alta pressão com umidade proveniente do Oceano Atlântico (Viana *et al.*, 1998; Meneses, 2003). Em consequência da intensa radiação solar incidente, este sistema estacionário possui alto grau de umidade absoluta e temperatura interior elevada, no entanto ocorre predomínio de condições de estabilidade atmosférica em virtude dos efeitos das correntes verticais descendentes (Viana *et al.*, 1998).

Resultantes da relação de variáveis climatológicas e fatores ambientais, como vegetação, solo, precipitação, as classificações climáticas são bastante diversificadas. A classificação de Koppen se fundamenta na precipitação e temperatura média do ar e, de acordo com esta, a região da APA Carste de Lagoa Santa é inserida no tipo climático Aw, tropical, cujas características consistem em duas estações bem definidas, inverno seco e verão chuvoso (Viana *et al.*, 1998). O verão quente e chuvoso ocorre no período de outubro a março, enquanto o inverso frio e seco abrange os meses de abril a setembro. No que tange a classificação utilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a área do projeto inclui-se no tipo climático Tropical Brasil Central subquente a semiúmido, com período seco de quatro meses que corresponde de maio a agosto (Nimer, 1989).

A estação convencional de Sete Lagoas pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) é a mais próxima da área de influência da APA Carste de Lagoa Santa e, segundo seus dados históricos, a média anual pluviométrica da região é de 1283 mm, considerando o período de 1961 a julho de 2016. A temperatura máxima média anual no mesmo período é de 28,5 °C, enquanto a mínima corresponde à 15,9 °C. Contudo, salienta-se que o ano

de 2014 apresenta valor de precipitação bem abaixo da média histórica, com registro de 551 mm.

Meneses (2003) salienta a geração de consequências diretas para a região cárstica devido a variação climática, acometendo suas características hídricas, como o fluxo e a composição química da água, além do grau e modo de atuação dos processos morfogenéticos, incluídos nestes a dissolução de rochas.

Do ponto de vista hidrográfico, a área está inserida na sub-bacia do Rio das Velhas, tendo o rio homônimo como principal curso d'água e nível de base local, além do Ribeirão da Mata como seu principal tributário na região (Meneses, 2003). Seis córregos constituintes das seis sub-bacias principais, Jaque, Samambaia, Jaguará, Palmeira, Gordura e Flor, ocorrem dentro dos limites da área de estudo (Figura 4.4).

Caracterizada por baixa densidade de escoamento superficial, a rede de drenagem da região da APA Carste de Lagoa Santa é predominantemente subterrânea. Delimitando a área a oeste, o Ribeirão da Mata possui suas nascentes situadas à sudoeste da cidade de Matozinhos, enquanto seu curso d'água margeia as cidades de Capim Branco, Matozinhos, Dr. Lund e Vespasiano (Viana *et al*, 1998). Segundo os autores supracitados, a utilização do Ribeirão da Mata, ao longo de seu percurso, para recepção de esgotos urbanos e industriais e intensa extração de areia o comprometem em diversos trechos.

O córrego do Jaque é formado pelos tributários córregos do Fidalgo e Capão de Santana, e está localizado no município de Lagoa Santa, sendo o mais extenso da região com aproximadamente 17 km. Por ter escavado seu leito em uma porção com predominância de calcários impuros do Membro Pedro Leopoldo, seu curso é contínuo e ainda possui orientação S-N. Possui área de drenagem de 59,3 km² e feições cársticas que proporcionam a ocorrência de importantes lagoas perenes (Olhos D'água e Sangrador) e intermitentes (Fidalgo e Velhas) (Meneses, 2003). Suas águas são utilizadas, principalmente, para dessedentação de animais e irrigação de pequenas culturas pelas propriedades rurais (Viana *et al*, 1998).

Já a sub-bacia do córrego Samambaia é tipicamente cárstica em consequência da elevada diversidade de feições identificadas, particularmente surgências e ressurgências como da Samambaia, Gameleira, Palestina e do Engenho. A orientação de seu curso d'água segue a direção SW-NE, possui aproximadamente 9,1 km e deságua, ainda, na Lagoa do Sumidouro, sendo o responsável pelas maiores contribuições à Lagoa mesmo apresentando baixas vazões. Da mesma forma que o córrego do Jaque, suas águas são utilizadas para dessedentação de animais e irrigação (Meneses, 2003).

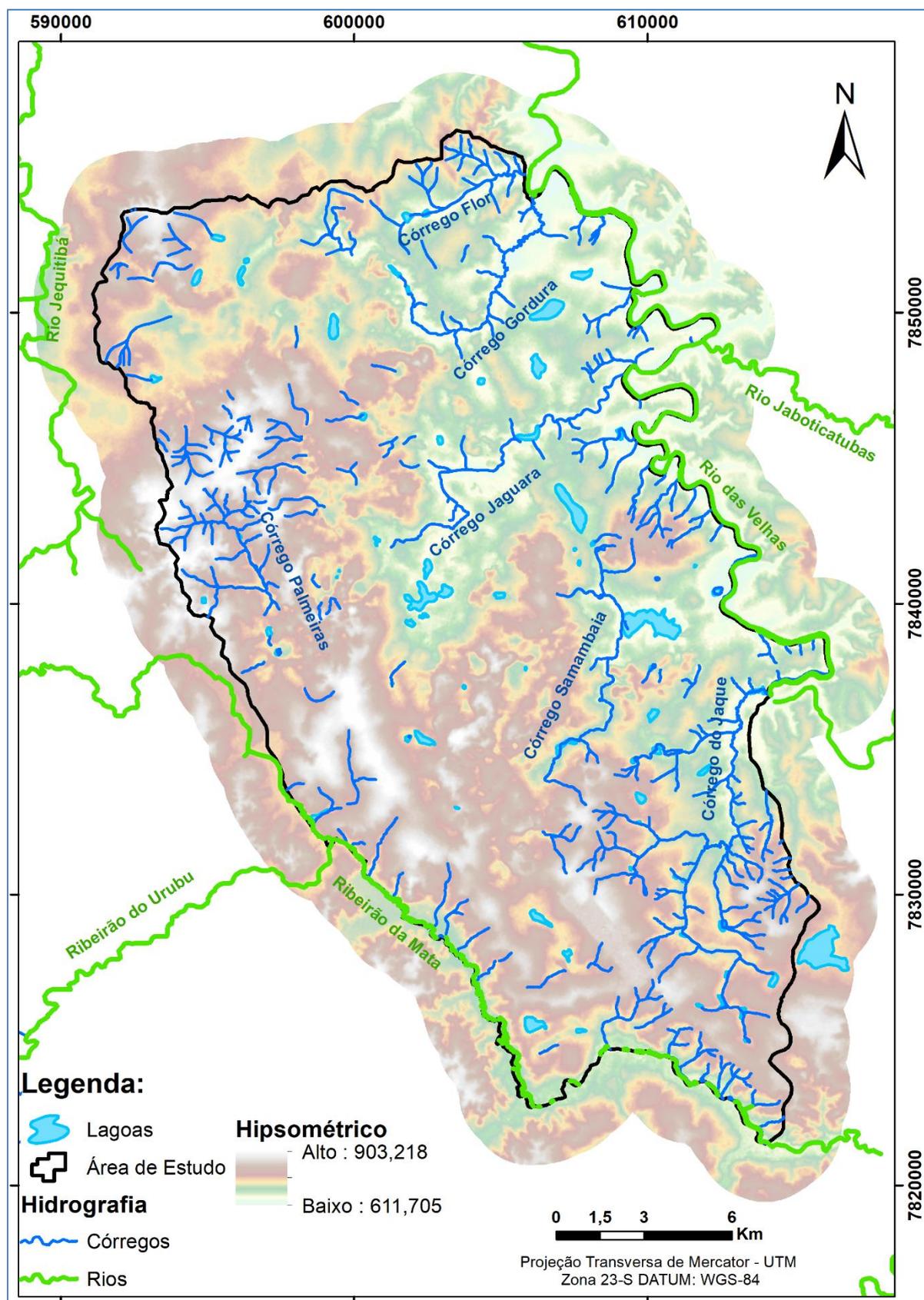


Figura 4.4 - Mapa hidrográfico da área de estudo com os principais rios e córregos da região.

O córrego Palmeira, localizado a norte de Matozinhos, possui um trajeto de 5,8 km e orientação NW-SE, além de se desenvolver em extensa formação calcária que propicia a existência de inúmeros sumidouros e ressurgências ao longo do curso. Como identificado por Auler (1994) através da aplicação de traçadores corantes, o córrego é retido pelo aquífero cárstico no maciço da Cimento Mauá Minerações e emerge novamente a 2,5 km a noroeste, na ressurgência de Mocambo. Os principais usos das águas são abastecimento doméstico, dessedentação animal e irrigação de culturas temporárias (Viana *et al.*, 1998).

Ao ressurgir a norte de Mocambeiro, o córrego Palmeira recebe o nome de córrego Mocambo. Uma grande surgência, surgência da Jaguará, é registrada cerca de 3 km a jusante da ressurgência de Mocambo, na fazenda Experiência da Jaguará. Suas águas, a partir da confluência com o córrego Mocambo, formam o córrego Jaguará e, ainda que sua origem seja desconhecida, apresentam vazões significativas (Viana *et al.*, 1998). Em função de sua intensa carstificação que compreende dolinas, lagoas, grutas e sumidouros ao longo de seus 13,8 km de extensão até desaguar no Rio das Velhas, o córrego Jaguará constitui uma sub-bacia de grande importância na região. Está completamente inserido no município de Matozinhos e possui orientação SW-NE.

Similarmente ao córrego Jaguará, o córrego Gordura é intensamente carstificado e, como resultado, apenas uma pequena parte do seu curso é superficial. Localiza-se na porção norte da APA, possui extensão total de 11,2 km e orientação variante de NW-SE, W-E e, enfim, de SW-NE, até desaguar no Rio das Velhas no limite dos municípios de Matozinhos e Funilândia (Meneses, 2003). As águas que fluem em subsuperfície afloram nas ressurgências a partir da porção média da bacia, principalmente na ressurgência da Gordura (Viana *et al.*, 1998). Os autores ainda sugerem que, tal como a do Jaguará, a sub-bacia do córrego Gordura pode não representar um sistema hídrico fechado, uma vez que pode haver fluxo de água, através do sistema aquífero, entre ela e as áreas circunvizinhas.

A menor sub-bacia da área do projeto corresponde à do córrego Flor, localizada fora dos limites da APA Carste de Lagoa Santa no extremo norte. Sua área de drenagem é de aproximadamente 16 km² e possui baixas vazões. A extensão do córrego principal é de 5 km, seguindo direção SW-NE até desaguar no Rio das Velhas.

PARTE 3: OS DESENVOLVIMENTOS

A parte 3 da tese é constituída pelos matérias e métodos utilizados para o desenvolvimento dos trabalhos, os artigos científicos que compõem parte dos resultados da tese além dos resultados do modelo hidrogeológico e conclusões da tese.

5. MATERIAS E MÉTODOS

Esta seção inicial da parte 1 é constituída pelos materiais e métodos, apresentando os procedimentos de campo e de tratamento dos dados obtidos, os métodos utilizados para construção do modelo conceitual além da metodologia simplificada de completção de falhas de monitoramento e do balanço hídrico, dito que esta se encontra detalhada dentro dos artigos científicos submetidos ou já publicados destes dois temas. Além

Tendo em vista a importância da elucidação dos procedimentos adotados neste trabalho, serão descritos a seguir os materiais e métodos a partir dos quais chegou-se aos resultados que serão apresentados ao longo do texto. O capítulo foi dividido em tópicos em ordem cronológica nos quais se aplicaram técnicas que atendem aos objetivos específicos e que, em conjunto, permitem chegar ao objetivo geral da tese.

5.1 LEVANTAMENTO DE CAMPO

Previamente aos métodos utilizados para compor o objetivo específico, serão detalhados os levantamentos de campo necessários para compor o trabalho. Os pontos coletados se encontram pormenorizados na figura 5.1.

As atividades de campo se iniciaram com o reconhecimento geológico e estrutural realizado durante 20 dias, juntamente ao trabalho de graduação realizado por Ribeiro *et al.* (2016), tendo como objetivo o reconhecimento da área e medidas sistemáticas de fraturas e feições de dissolução. Neste trabalho, a área de 505 km² foi dividida de maneira regular em quadrículas de 9 km² (Figura 5.1) que tiveram como meta o levantamento das estruturas mencionadas em um afloramento desse espaço e o arrolamento das medidas de espaçamento, abertura, número de famílias e atitude de todos os dutos e fraturas encontradas neste ponto.

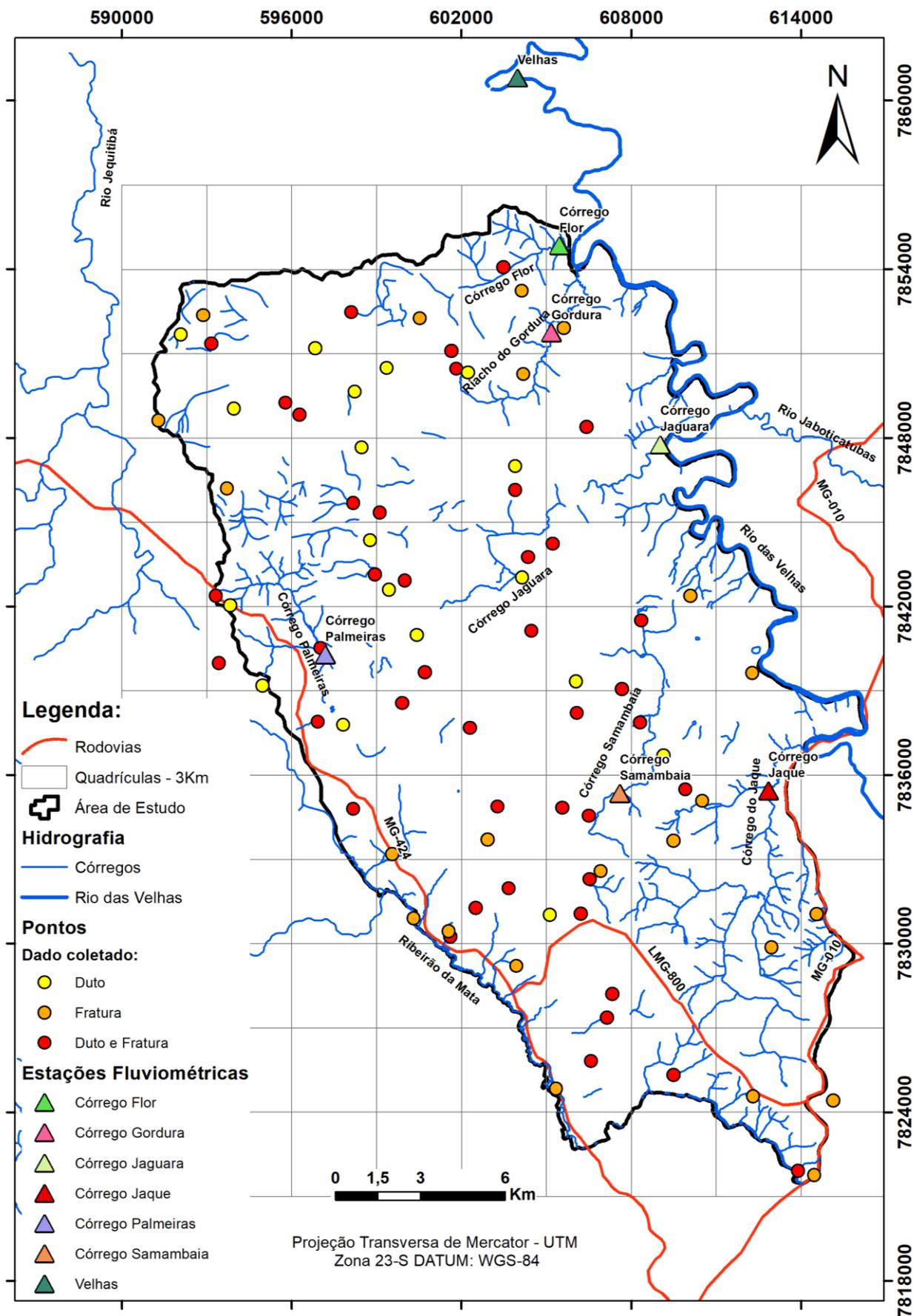


Figura 5.1: Mapa de localização dos pontos de levantados em campo.

Posteriormente ao levantamento estrutural, as medidas de fratura foram normalizadas para um metro linear, de forma a obter uma relação sem anomalias para essas medidas em cada quadrícula da área. Ao todo foram levantados 65 afloramentos rochosos fraturados, com determinação de 1163 fraturas, e 61 afloramentos com identificação de dutos, de onde foram determinadas 429 estruturas desta natureza (Figura 5.2). Esses dados foram utilizados para avaliar a condutividade hidráulica do sistema cárstico-fissural para cada quadrícula.



Figura 5.2: Fotos de afloramento de calcário ressaltando fraturas (à esquerda) e dutos de dissolução (à direita) avaliados quanto a sua abertura, espaçamento e atitude.

As atividades de campo, relacionadas diretamente aos levantamentos de dados hidrogeológicos, consistiram na instalação de um sistema automático de monitoramento de pressão de água (Figura 5.3) nos seis córregos dentro da área e na porção mais a jusante do rio das Velhas, localizada nas imediações da área. Também foi feita a instalação de transdutores de pressão em 20 poços tubulares parados, com o objetivo de obter dados para realização do balanço hídrico, analisar as variações de níveis subterrâneos para propor uma rede adequada de monitoramento, e por fim avaliar na composição do modelo conceitual para região.

Os dados de pressão obtidos pelos transdutores, é constituído pela pressão de coluna d'água sobre o instrumento além da pressão atmosférica, mediante a este cenário de influência da pressão atmosférica, foram instalados transdutores de pressão barométrica em alguns pontos da área, para retirar a atuação da pressão atmosférica. De posse da pressão exercida apenas pela água, estes foram correlacionados com altura obtida nas régua linimétricas para as estações fluviométricas ou medidor de nível para os poços, os dados de pressão foram convertidos em metros de coluna de água sobre o transdutor.

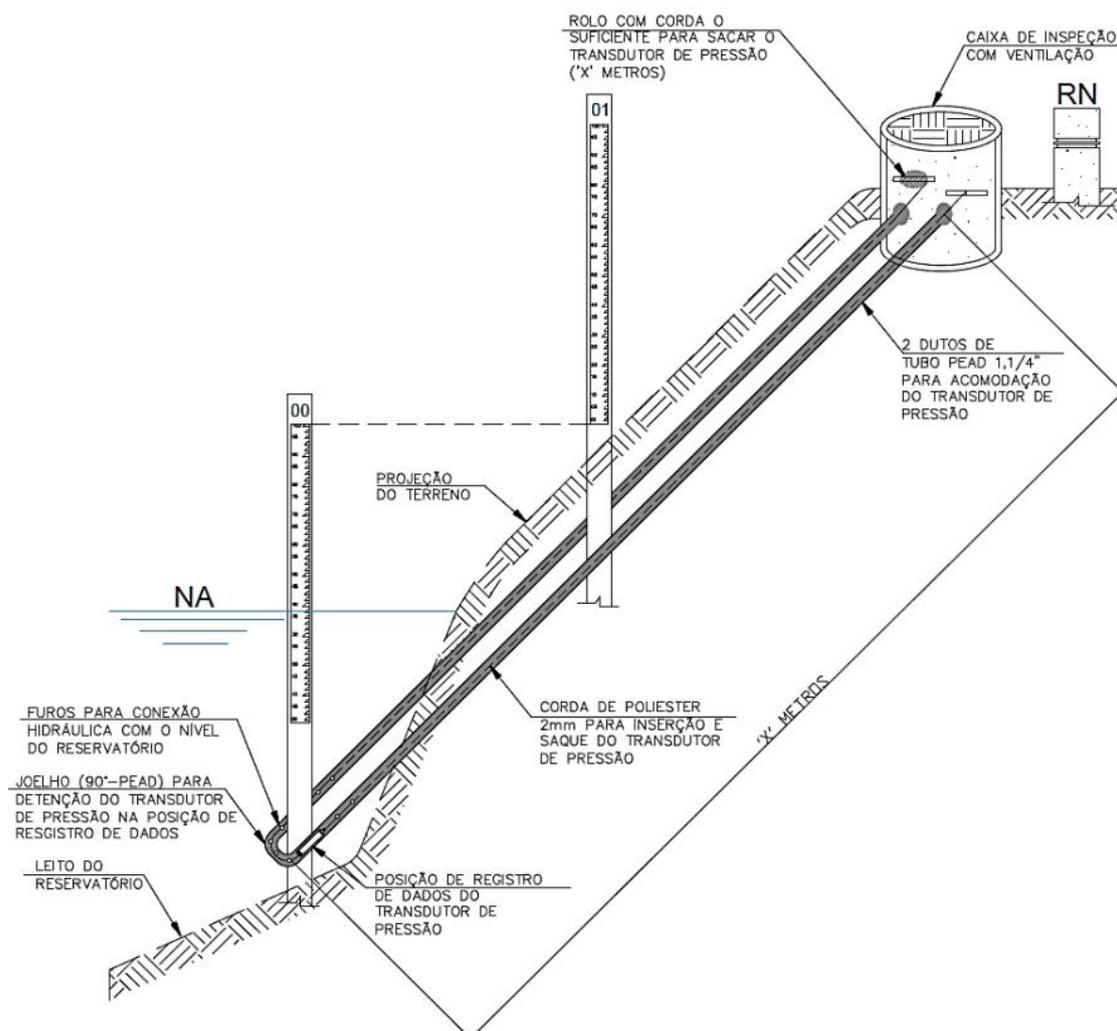


Figura 5.3: Sistema de Monitoramento em cursos de água com transdutores de pressão.

Os dados de pressão de água foram coletados automaticamente por transdutores (Figura 5.4) a cada 15 minutos nos córregos para posteriormente serem convertidos em dados diários vazão. A cada dois meses, durante dois anos hidrológicos, os dados de monitoramento de pressão eram coletados. Simultaneamente, foram realizadas medidas de vazão com micromolinete ou molinete (Figura 5.4) para a obtenção de vazão e confecção da curva chave característica de cada bacia analisada.

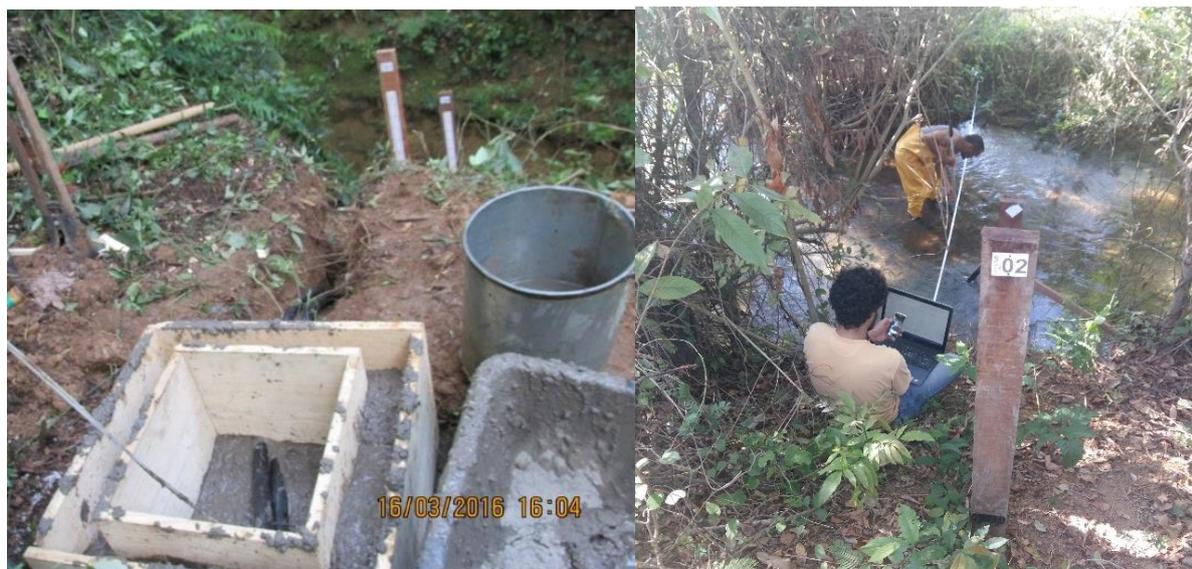


Figura 5.4: Instalação do sistema automático de monitoramento em cursos de água (à esquerda) e de monitoramento de vazão com micromolinetete (à direita).

O procedimento para coleta dos dados de monitoramento de pressão dos poços tubulares (Figura 5.5) foi realizado a cada três meses, no qual o valor de pressão era medido automaticamente a cada hora, para posteriormente ser convertido em dados diários de nível de água. Durante o processo de aquisição dos dados dos transdutores, foi realizado o monitoramento manual de nível para validação dos dados.



Figura 5.5: Transdutor de pressão usado para monitoramento automático dos poços (à esquerda) e de medidor manual de nível (à direita).

Os dados de pressão, compensados e posteriormente transformados em valores diários de vazão, encontram-se apresentados para cada estação de monitoramento nos apêndices I deste volume.

5.2 TRATAMENTO DOS DADOS OBTIDOS

Da mesma forma que os dados previamente levantados em campo, torna-se de grande importância detalhar as metodologias usadas para tratamento das informações obtidas de outras fontes (Figura 5.6).

Os dados obtidos em campo foram validados por comparação entre valor calculado e o valor medido. Já os dados obtidos por meio de levantamento bibliográfico (pluviometria e dados fluviométricos de rios – Figura 5.7) foram validados por aplicação do método de dupla massa para os dados pluviométricos e validações de curva de vazão fornecidas pela Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais – CPRM. Os valores diários de pluviometria e fluviométricos de cada estação se encontram apresentados anexo I e II deste volume.

PARTE - 3: DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO – 5 MATERIAIS E MÉTODOS

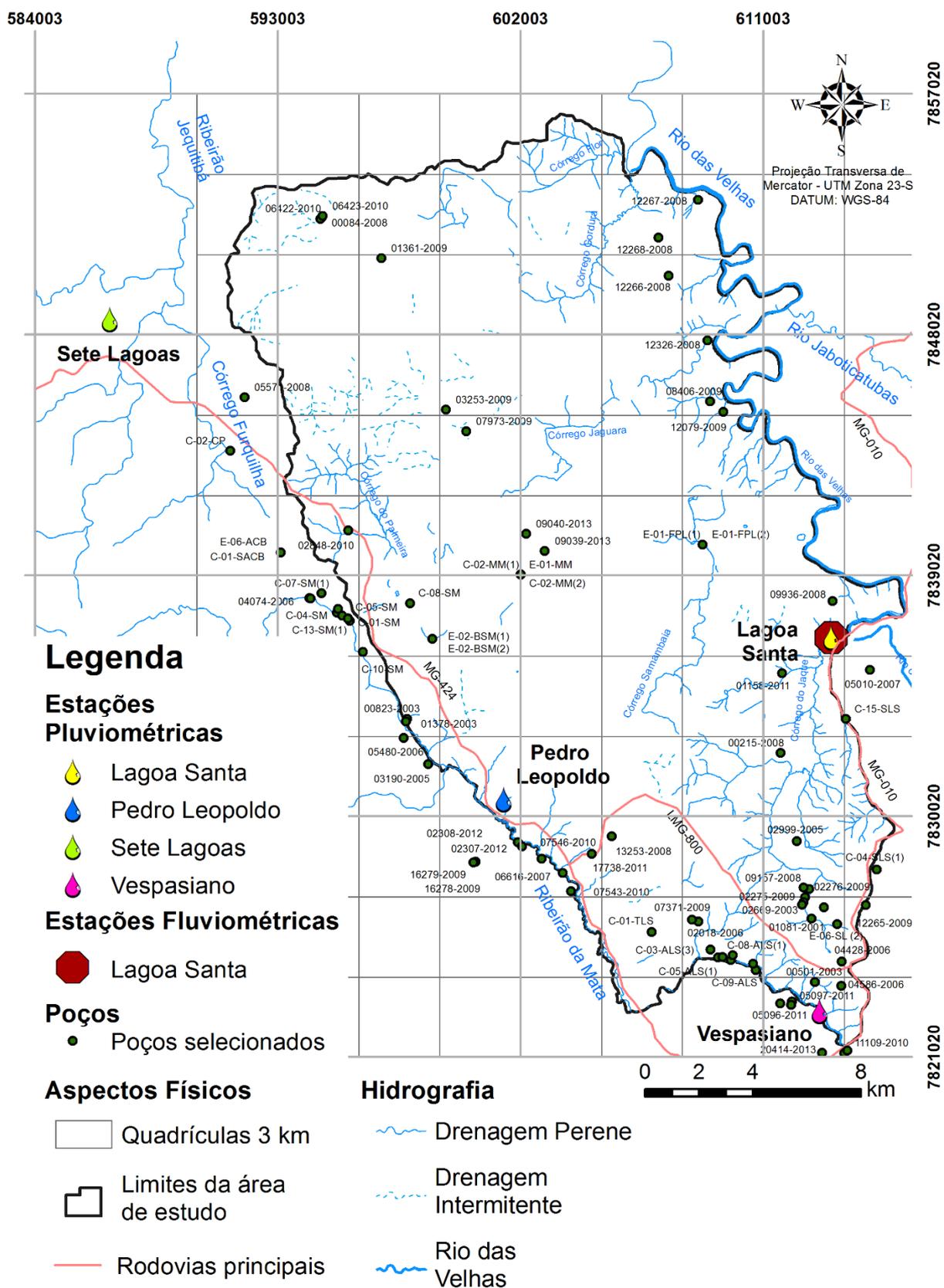


Figura 5.6: Mapa de localização dos pontos obtidos de outras fontes.



Figura 5.7: Estação fluviométrica e pluviométrica Raul Soares monitorada pela CPRM no curso a montante da área no rio das Velhas.

Essas informações foram usadas para compor o balanço hídrico deste trabalho, assim como, a definição de valores de entrada para o modelo conceitual. Para avaliar os parâmetros hidráulicos, além dos dados de fraturas levantados, foram utilizados 99 ensaios de recuperação de poços tubulares disponibilizados pelo Sistema de Informações de Água Subterrânea (SIAGAS), Companhia de Saneamento Básico de Minas Gerais (COPASA), Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) através da Superintendência Regional de Meio Ambiente (SUPRAM) e pela empresa HIDROPOÇOS LTDA.

5.3 PREENCHIMENTO DE FALHAS DE MONITORAMENTO

Uma das vantagens do monitoramento automatizado está relacionada ao número de dados que pode ser obtido. Contudo, todo equipamento automatizado se encontra sujeito a falhas no contínuo processo de obtenção e/ou armazenamento dos dados. No trabalho em questão, refere-se às falhas no monitoramento de pressão de água sobre o equipamento, que posteriormente foi convertido em vazão.

Considerando as falhas obtidas no processo de monitoramento de pressão em cursos de água (Figura 5.8), optou-se por desenvolver uma metodologia que fosse capaz de responder ao sistema cárstico, uma vez que devido a heterogeneidade e anisotropia destes sistema, métodos clássicos como, como a regionalização de vazões ou preenchimento de falhas por dados estatísticos não se comporta de maneira adequada para este tipo de sistema.

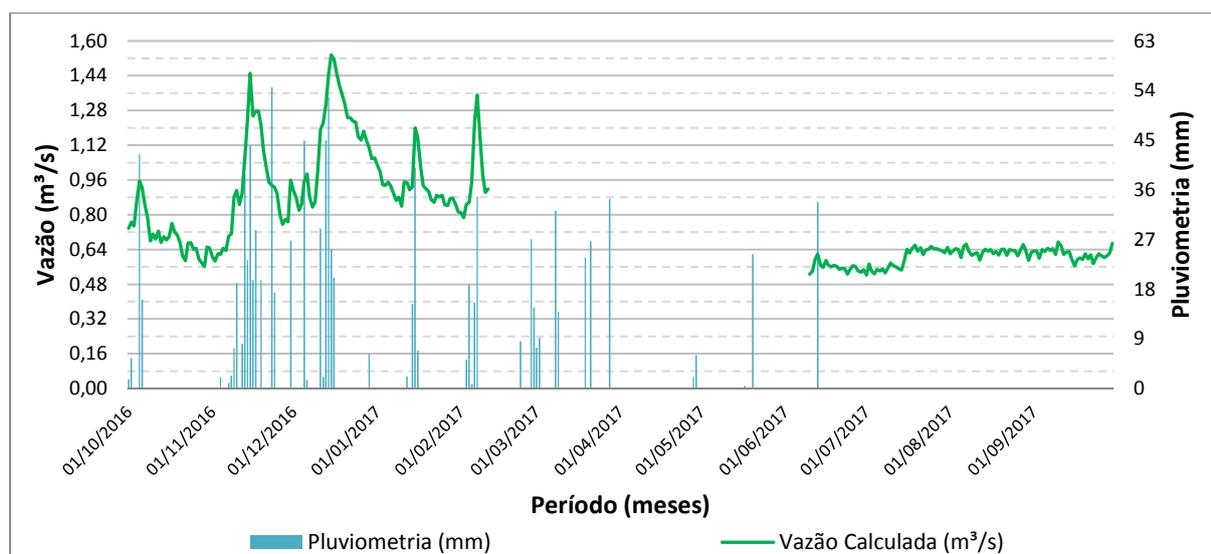


Figura 5.8: Gráfico de monitoramento automatizado de vazão do córrego Gordura e pluviometria da estação de Sete Lagoas (OMM:8670).

O gráfico acima mostra tanto as rápidas respostas de saída quanto as de entrada em um sistema cárstico evoluído, justificando, portanto, a necessidade de um método para a completação de falhas de monitoramento (Figura 5.8) que responda a esse tipo de sistema extremamente sensível aos eventos de precipitação.

As técnicas empregadas para o desenvolvimento da metodologia se basearam na relação causa-efeito de autocorrelação e correlação cruzada para um sistema carbonático desenvolvido por Ferrari & Karmann (2008). Assim como, a porção da pluviometria que interagem com o curso d'água, ou sobre escoamento superficial ou sobre recarga aquífera, da mesma forma que foi considerado a redução diária da participação do escoamento superficial após evento de chuva. A aplicação dessas três técnicas e seus desdobramentos possibilitou desenvolver um equacionamento matemático capaz de converter a cada evento pluviométrico, mesmo para registros iguais a zero em uma determinada vazão de referência para o curso de água.

5.4 BALANÇO HÍDRICO

O balanço hídrico realizado, representa um dos principais produtos do trabalho, pois além de permitir a determinação das entradas e saídas do modelo conceitual da área, possibilitando a estimativa da recarga aquífera e da exploração de água na região.

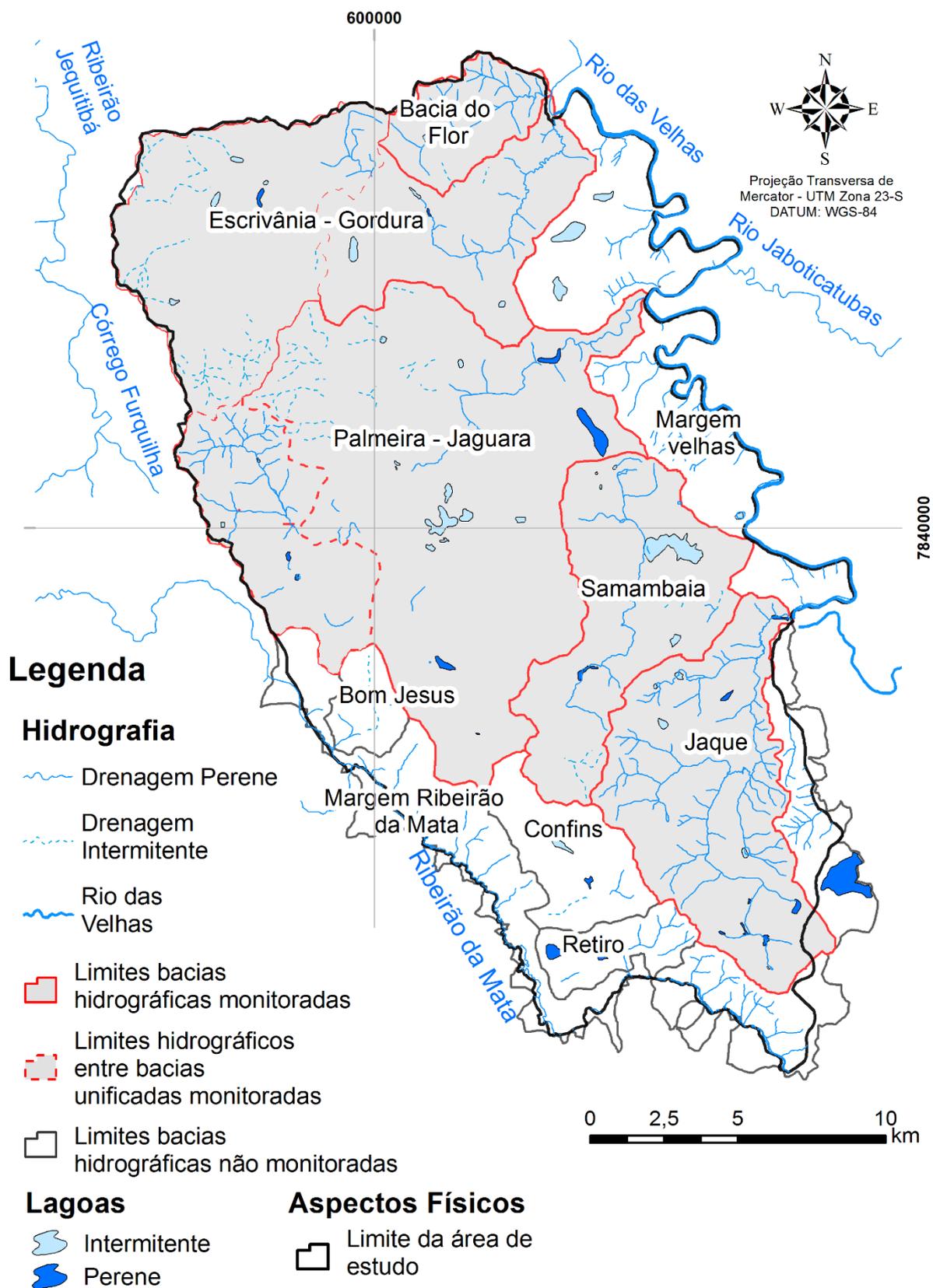


Figura 5.9: Bacias monitoradas e não monitoradas, para as quais foram calculados ou estimados os balanços hídricos.

Para a área avaliada, foi realizado o balanço hídrico de cada bacia monitorada (Figura 5.9) e posteriormente esses dados foram correlacionados para as demais bacias. Desta forma, foi possível identificar regiões de maior e menor potencial de recarga, tal como regiões mais afetadas pela exploração de água.

O cálculo da recarga e a separação de escoamentos foram realizados com a utilização do software *GW-toolbox* desenvolvido pela Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) visando diminuir a subjetividade no processo de separação manual de escoamento e, conseqüentemente, determinar a recarga. A utilização do *software* da USGS se baseia na metodologia desenvolvida por Rutledge e Danil (1994) que calcula pequenas curvas de recessão para cada evento pluviométrico e posteriormente uma curva de recessão mestra para o período analisado.

A aplicação da metodologia de Rutledge e Danil (1994), de maneira automatizada pelo *GW-toolbox*, possibilitou avaliar a recarga para as rápidas respostas do sistema cárstico aos eventos pluviométricos (Figura 5.8), tendo sido o melhor que se enquadrou ao terreno carbonático evoluído do qual constitui a região.

Para a obtenção dos valores de evapotranspiração, foi adotada a metodologia desenvolvida por Thornthwaite e Mather (1955) para balanço climatológico. De posse desses dados e dos valores de recarga obtidos, foram comparados o excedente ou déficit hídrico, de cada bacia e da área total, com as estimativas de retirada de água da região para avaliar os valores reais de recarga líquida para a área.

5.5 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL E DE FLUXO

O modelo hidrogeológico conceitual e de fluxo foi elaborado para o sistema aquífero formado pelos calcários da Formação Sete Lagoas e metapelitos da Formação Serra de Santa Helena. O fluxograma da Figura 5.10 ilustra os procedimentos metodológicos gerais adotados para a concepção do modelo.

Salienta-se que nesta seção, apenas os itens 4 e 5 da Figura 5.10 serão apropriadamente detalhados visto que os demais itens (1, 2, 3) se encontram discriminados nas seções 5.1 a 5.4, assim como nos artigos publicado (item 3 – capítulo 6.1), e submetido (item 2 – capítulo 6.2)

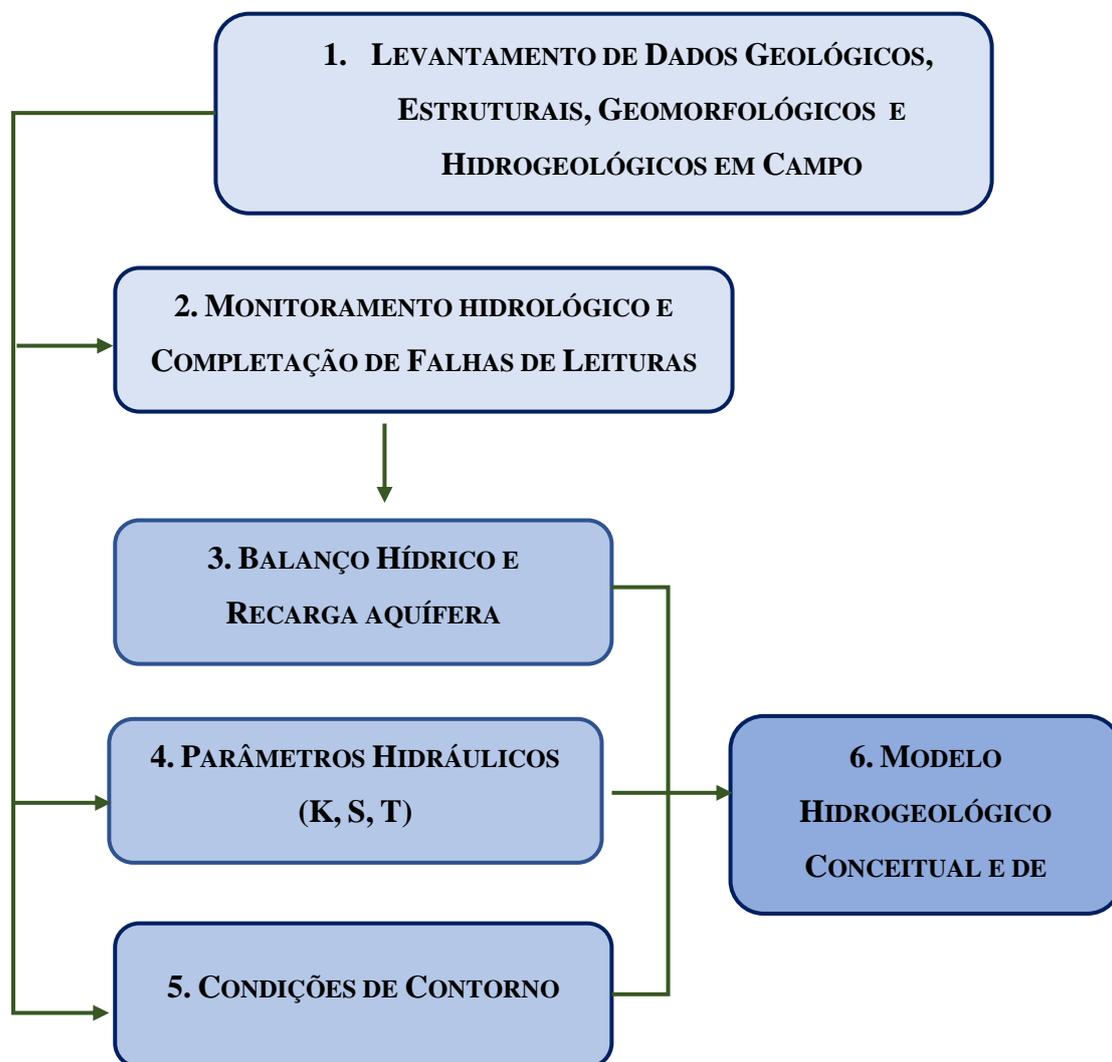


Figura 5.10: Fluxograma metodológico das etapas de confecção do modelo conceitual e de fluxo

Levantamento de dados Geológicos, Estruturais, Geomorfológicos e Hidrogeológicos em Campo

Esse levantamento consistiu de:

- identificação da rede de monitoramento pluviométrica existente na região;
- identificação e medição da orientação das famílias de fraturas visando calcular a condutividade hidráulica a partir da abertura das mesmas.
- identificação de poços tubulares com a finalidade de obter as cargas hidráulicas para região além da cota topográfica das entradas d’água nos poços e sua relação com a carstificação;

- identificação de nascentes e medição das descargas, em épocas seca;
- interpretação das zonas especiais de recarga aquífera através de infiltração difusa (calcários fraturados exposto), escoamento interno (dolinas e sumidouros), zonas difusas (infiltração no carste coberto ou na camada de solo e/ou metapelitos);

O detalhamento dessas atividades aplicadas se encontra discriminado na seção 5.1 e 5.2 deste mesmo capítulo, assim como no artigo científico (seção 6.1) contido nesta tese.

Monitoramento Hidrológico e Completação de Falhas de leituras

Os levantamentos supracitados embasaram a implantação de uma rede de monitoramento fluviométrico automatizada, com medições em todas as bacias (6) por um ano hidrológico para a determinação do balanço hídrico.

Comumente os dados de monitoramento fluviométrico automatizado utilizando transdutores de pressão para o registro da coluna d'água apresentam falhas de registro durante determinados períodos da realização do monitoramento. Esse fato ocorreu no presente estudo, o que demandou o desenvolvimento de um procedimento para completar tais falhas. Neste caso, desenvolveu-se com sucesso, uma regressão linear com base nos dados de pluviometria e vazão, capaz de responder a um ambiente cárstico bem desenvolvido. O detalhamento dessas atividades se encontra discriminado na seção 5.3 deste mesmo capítulo assim como no artigo científico da seção 6.2.

Balanço Hídrico e Recarga Aquífera

O balanço hídrico teve como objetivos quantificar possíveis volumes de entradas externas de água ao sistema hidrogeológico, bem como as saídas naturais e as extrações por meio de bombeamento de poços tubulares.

O escoamento básico e a recarga aquífera foram obtidos por meio de softwares específicos, sem qualquer interferência subjetiva, tendo como entrada as vazões médias diárias.

O detalhamento das metodologias aplicadas se encontra discriminado na seção 5.4 deste mesmo capítulo assim como no artigo científico da seção 6.2.

Parâmetros Hidrodinâmicos

Para fins de comparação, os parâmetros hidráulicos da porção mais profunda do aquífero, foram obtidos pelos três métodos (Tabela 5.1), empregando-se o *Software Aquifer Test 3.5*:

- Hvorslev (1951) e Bower & Rice (1976) – para obtenção da condutividade hidráulica (K);
- Cooper-Bredehoeft-Papadopulus (1967) – para obtenção dos coeficientes de transmissividade (T) e de armazenamento (S).

Tabela 5.1: Comparação das considerações adotadas em cada um dos métodos.

HVORSLEV (1951)	BOWER & RICE (1976)	COOPER - BREDEHOEFT – PAPADOPULUS (1967)
<ul style="list-style-type: none"> – Aquífero com extensões laterais infinitas; – Aquífero homogêneo e com espessura uniforme; – Aquífero com superfície potenciométrica inicialmente horizontal; – Poço de bombeamento total ou parcialmente penetrante; – Um volume de água é injetado ou retirado instantaneamente do poço; – Aquífero confinado ou livre; – Regime permanente; – O coeficiente de armazenamento (S) é desconsiderado e a condutividade hidráulica é obtida pontualmente. 	<ul style="list-style-type: none"> – Aquífero com extensões laterais infinitas; – Aquífero homogêneo e com espessura uniforme; – Aquífero com superfície potenciométrica inicialmente horizontal; – Poço de bombeamento total ou parcialmente penetrante; – Um volume de água é injetado ou retirado instantaneamente do poço; – Aquífero confinado ou livre; – Regime permanente. 	<ul style="list-style-type: none"> – Aquífero com extensões laterais infinitas; – Aquífero homogêneo, isotrópico e com espessura uniforme; – Aquífero com superfície potenciométrica inicialmente horizontal; – Poço de bombeamento totalmente penetrante; – Um volume de água é injetado ou retirado instantaneamente do poço; – Direção de fluxo horizontal; – Aquífero confinado sem drenança; – Regime transiente; – Água é liberada instantaneamente do armazenamento com rebaixamento da carga hidráulica.

Os valores de condutividade hidráulica para o método de Cooper-Bredehoeft-Papadopulus (1967), assim como os valores de coeficiente de transmissividade para os métodos de Hvorslev (1951) e Bower & Rice (1976), foram obtidos pela relação da condutividade e transmissividade com a espessura do aquífero (Equação 1).

Os valores dos parâmetros obtidos pelos três métodos visaram determinar, para cada um deles, o intervalo modal.

$$T = K \times b \text{ (Equação 1)}$$

Os dados de entrada utilizados foram a espessura do aquífero e de ensaios de recuperação em testes de vazão de 99 poços tubulares disponibilizados pelo Sistema de Informações de Água Subterrânea (SIAGAS), Companhia de Saneamento Básico de Minas Gerais (COPASA), Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) através da Superintendência Regional de Meio Ambiente (SUPRAM) e pela empresa HIDROPOÇOS LTDA. A de ressaltar que os poços utilizados apesar de se encontrarem no aquífero carbonático, podem estar recebendo água das unidades metapelíticas (Superior) ou granítica (Inferior), originando poços mistos, ou seja, poços tubulares que extraem água de mais de uma unidade hidrogeológica, podendo com isto influenciar para menor os valores obtidos dos parâmetros hidrodinâmicos.

Apesar das metodologias apresentadas terem sido concebidas para aquíferos homogêneos, Feitosa *et al.* (2008) ressalta que é possível a aplicação de alguns métodos para obtenção do coeficiente de Transmissividade e Armazenamento, no entanto, os resultados não devem ser extrapolados, principalmente em grandes áreas, sendo estes representativos apenas para as imediações do poço testado. O autor sugere ainda que numa amostra estatística dos parâmetros deve-se considerar sempre o valor modal como o mais representativo do aquífero cárstico, dado que a média é assimétrica e muitas vezes não representativa.

Para avaliação da condutividade hidráulica da porção mais carstificada (superior) da unidade aquífera da Formação Sete Lagoas foi aplicada a equação da Lei Cúbica de Snow (1969) para meios fraturados, a partir da contagem de fraturas e de sua relação de espaçamento e abertura (equação 2). O levantamento das fraturas seguiu uma sistemática para melhor representatividade no espaço amostral.

De acordo com Santos & Pitombeira (2006), a Lei Cúbica (utilizada para definir o escoamento em fraturas individuais) foi derivada das equações de Navier-Stokes por Snow (1965, 1969) e Wilson (1970). Essa lei pode ser aplicada para escoamento permanente, laminar, incompressível e viscoso em uma fratura com paredes impermeáveis de abertura constante. Além disso, a Lei Cúbica mostra o alto potencial de escoamento para pequenas fraturas, com a condutividade hidráulica muito sensível à abertura da fratura.

$$K = (p \times g / 12u) Nb^3 \text{ (Equação 2)}$$

Onde:

K = Condutividade Hidráulica (m/s)

ρ - Densidade da água (Kg/m³)

g = Aceleração da gravidade (m/s²)

μ = Viscosidade da água (Kg/m.s)

N = Frequência de fraturas (1/m)

b = abertura de fraturas (m)

Á área foi dividida em quadrículas regulares de 9 km², e, sempre que havia um afloramento, foram identificadas as famílias de fraturas, medidas a atitude, espaçamento e abertura. Os dados foram normalizados para uma área unitária de 1 m², totalizando um levantamento de 1247 medidas de fraturas, cobrindo mais de 80% das quadrículas.

Condições de Contorno

As Condições de Contorno são elementos numéricos utilizados em modelos hidrogeológicos para determinar as relações existentes entre as cargas hidráulicas e o fluxo d'água subterrânea, assim classificadas para delimitar os limites físicos de um modelo hidrogeológico:

- Fluxo de carga hidráulica especificada (Condição do Tipo 1 ou de Dirichlet), em que a carga hidráulica do contorno é constante, como por exemplo em lagos ou rios. Em casos de rios, ocorre a variação da carga em função do tempo (ANDERSON & WOESSNER, 1992);
- Fluxo especificado (Condição do Tipo 2 ou de Neumann), em que o fluxo é especificado no contorno, região com ausência de fluxo, ou mesmo o fluxo é indiferente ao sistema aquífero, podendo ser representado por rochas ou estruturas impermeáveis ou de permeabilidade quase nula (ANDERSON & WOESSNER, 1992).
- Fluxo dependente da carga hidráulica (Condição do tipo 3 ou Cauchy), que corresponde à combinação das duas primeiras condições, nas quais o fluxo depende da carga hidráulica utilizada para definir a drenança em corpos de água superficial (ANDERSON & WOESSNER, 1992).

As condições de contorno em um modelo hidrogeológico determinam limites, de modo teórico, nos quais o fluxo tende a zero. Tal fato, de maneira prática, só ocorre em sistemas ideais. Com o intuito de aproximar as condições de contorno com o limite geográfico da área de estudo, foram adotadas condições de contorno teóricas que consideram que os rios

funcionam como regiões de fluxo zero, desde que estes funcionem como fluxo de base para região, e que unidades não aquíferas não têm possibilidade de transmitir água por fraturas preenchidas. Desta forma foram avaliadas as cotas das entradas d'água da unidade aquífera como as cotas das condições de contorno hidráulica e, se as condições de contorno geológicas apresentavam fraturas preenchidas e/ou fechadas.

A unidade aquífera avaliada, Formação Sete Lagoas, foi classificada, assim como por Mourão (2007), a partir da definição proposta por Miller (1999), que utiliza o termo “unidade aquífera” para a unidade geológica que permite a produção significativa de água por poços ou nascentes. A partir dessa definição, foi estabelecido que as unidades limitantes superior da Formação Sete Lagoas (Formação Serra de Santa Helena) e inferior (Complexo granito-gnáissico) funcionam como aquíferos.

Os limites laterais da unidade aquífera foram determinados pelo contato geológico com o embasamento e pelas condições de contornos hidrológicos. Quanto à delimitação vertical da unidade aquífera, ela foi realizada a partir de informações de perfis litológicos de 76 poços tubulares (Figura 5.10), que possibilitou a separação da unidade aquífera dos seus aquíferos limitantes.

Foram utilizados dados de entradas d'água de poços, sendo estas singelas ou como média de entradas d'água quando nos poços havia mais de uma entrada, para avaliar condições de contorno hidráulica, assim como propor a separação da unidade carbonática em compartimentos de maior e menor carstificação.

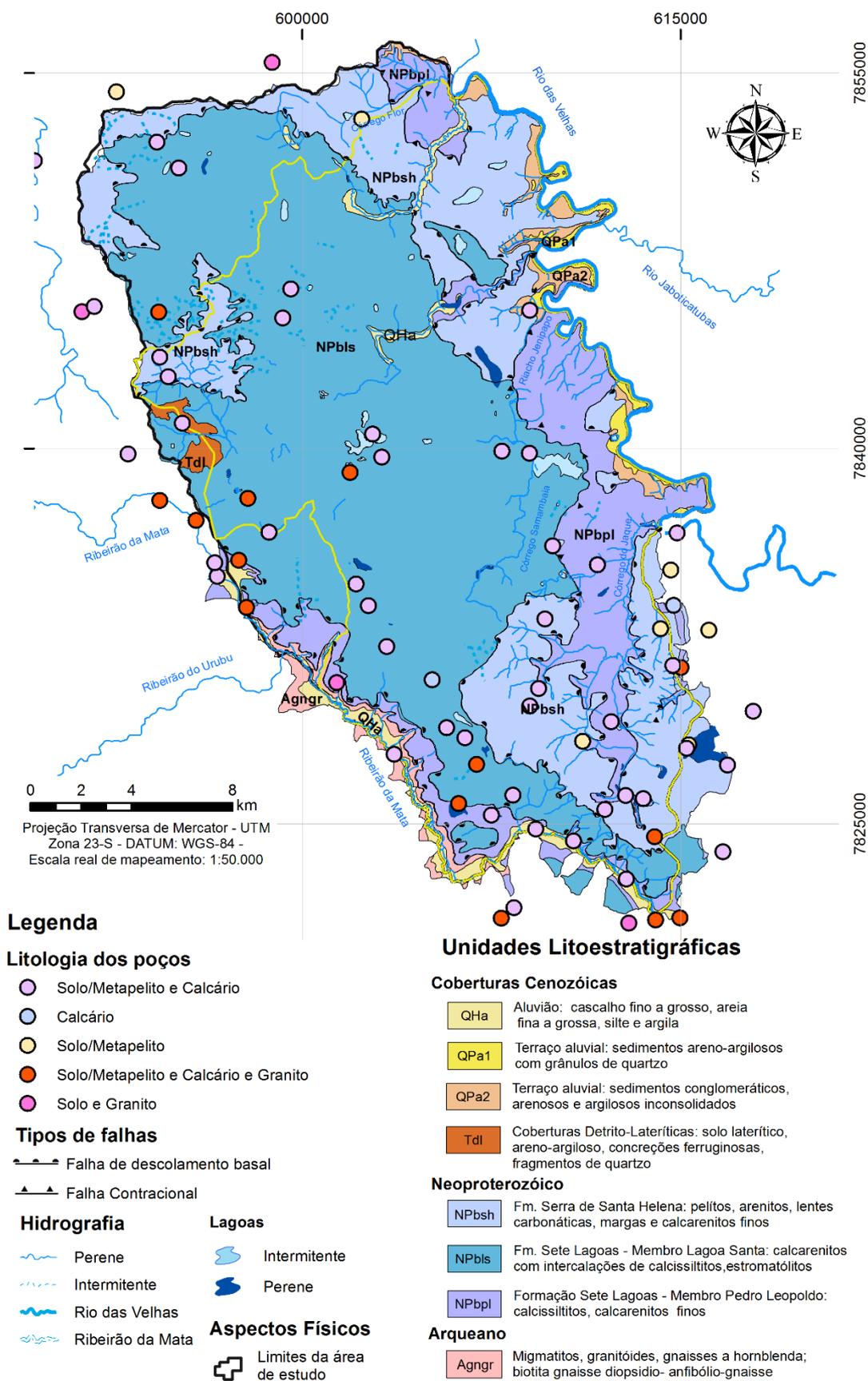


Figura 5.10: Mapa de localização dos poços utilizados para definir as superfícies de contatos litológicos.

6. ARTIGOS CIENTÍFICOS

Esta seção é constituída por dois artigos científicos sendo estes, parte integrante dos resultados obtidos durante o desenvolvimento da tese. Os artigos se encontram na formatação das revistas a qual foram submetidos sendo apresentado na tese conforme orientações do Departamento de Geologia da UFMG.

6.1 MÉTODO DE COMPLETAÇÃO DE DADOS DE VAZÃO EM MONITORAMENTO FLUVIOMÉTRICO AUTOMATIZADO NO SISTEMA CÁRSTICO DA REGIÃO DE LAGOA SANTA, MG.

Artigo submetido na revista Brazilian Journal of Geology

RESUMO: A aquisição de dados de monitoramento de maneira automática é um processo que permite a obtenção de um número elevado de dados, propiciando um maior conhecimento da região monitorada. O emprego de equipamentos automatizados para a aquisição de dados de vazão possibilita um melhor entendimento das cheias, uma relação entre valores de escoamentos superficiais e subterrâneos mais satisfatória, assim como uma estimativa da recarga aquífera mais eficiente. Contudo, os instrumentos automáticos estão sujeitos a falhas no processo de registrar ou mesmo armazenar esses valores, gerando lapsos nas séries temporais. Vários processos, como a regionalização de vazão e aproximações estatísticas, são utilizados para completar essas falhas em séries históricas. Porém, em terrenos carbonáticos tais técnicas são aproximações nem sempre eficientes devido às rápidas respostas das vazões aos eventos de chuva para os sistemas cársticos evoluídos. O trabalho visou desenvolver um método capaz de preencher erros de informações em monitoramento fluviométrico, tendo como base a correlação de série temporal para dados correlacionáveis. Tais números foram obtidos do monitoramento automatizado por meio de transdutores de pressão em 6 córregos numa região de aproximadamente 505 km², preponderantemente recoberta pelas rochas neoproterozóicas carbonáticas e metapelíticas do Grupo Bambuí. O método proposto se baseou em quatro etapas sucessivas: i) realização da autocorrelação dos dados de vazão e da correlação cruzada da pluviometria com a vazão desenvolvida por Ferrari & Karmann (2008); ii) cálculo da porção da precipitação que contribui diretamente com a vazão; iii) construção de uma relação linear entre a pluviometria e a vazão diária monitorada, buscando calcular os valores das vazões nos dias em que existiram falhas nas medições automáticas e iv) aproximação entre os valores de vazão calculados e monitorados, sob critério estatístico. Os

resultados encontrados mostraram a maturidade do sistema aquífero cárstico, com fluxo rápido, baixo armazenamento, curvas chaves bem calibradas para o ano hidrológico de 2016/2017 e uma metodologia de completção de falhas de séries temporais que obteve erro menor que 9% entre os dados monitorados e calculados.

Palavras-chave: Aquífero cárstico-fissural, Correlação Cruzada Chuva-Vazão, Autocorrelação de vazão, Monitoramento de Vazão fluvial, Completção de dados hidrológicos.

1 – INTRODUÇÃO

A área de estudo possui 505 km² localizada ao norte da região metropolitana de Belo Horizonte – MG, englobando a totalidade da região denominada de APA Carste de Lagoa Santa e seus arredores. Essa área passa por uma rápida expansão urbana e industrial implicando em um substancial aumento da demanda por água. Portanto, estudos hidrológicos, que possibilitem a avaliação das vazões das bacias hidrológicas da região, são indispensáveis para o conhecimento e manejo do seu sistema hídrico.

Para a análise fluviométrica dos córregos da área de estudo, foram instalados transdutores de pressão, visando a obtenção de dados de pressão a cada 15 minutos que posteriormente foram convertidos para dados diários de vazão.

Não obstante, o monitoramento automatizado está sujeito a falhas na obtenção e armazenando de dados, gerando lapsos de falhas temporais, prejudicando a análise da série como um todo. Os métodos existentes de completção de falhas de dados, de modo geral, utilizam interpoladores matemáticos que se baseiam na média de um determinado período, em métodos de regionalização de vazões média, bem como nas correlações de fisiografias entre bacias semelhantes. Contudo, em ambientes cársticos bem desenvolvidos, a heterogeneidade do sistema implica em características específicas para as diferentes bacias e respostas quase instantâneas de vazão aos eventos de chuva, fazendo com que os métodos clássicos não respondam de maneira eficiente para terrenos carbonáticos.

A área de estudo é representada da base para o topo pelos Gnássico-Granítico-Migmatítico do complexo Belo Horizonte, sobrepostos pelas rochas do Grupo Bambuí, que por sua vez se desenvolveram a partir das Formações Sete Lagoas e Serra de Santa Helena.

As rochas carbonáticas da Formação Sete Lagoas (Grupo Bambuí) representam quase que a totalidade da área. Sobre essas foram impressas um relevo tipicamente cárstico, por meio da dissolução química ao longo de fraturas, falhas, superfícies de acamamento e de

contato litológico, resultando em sumidouros, depressões, condutos, cavernas, poljés, dentre outras feições morfológicas. Tais aspectos são responsáveis por grande parte da recarga direta e rápida do sistema aquífero, pela condução e descarga em surgências e ressurgências. Expressam um terreno evoluído, cujas drenagens são controladas predominantemente pela água subterrânea, exibindo assim uma forte interação entre si.

Assim sendo, considerando a fragilidade qualitativa e quantitativa dos sistemas carbonáticos ocorrida pela fácil interação entre ambiente superficial e subterrâneo, quase sempre promovida pela água em meio às estruturas morfológicas citadas, gera-se uma diversidade característica para esse tipo de terreno. Devido à heterogeneidade e rápidas respostas aos eventos pluviométricos com estreita relação da água superficial e subterrânea, faz-se necessário desenvolver uma metodologia que seja capaz de correlacionar eventos pluviométricos diários de modo a completar falhas de séries diárias de vazão para ambientes cársticos.

2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ÁREA DE ESTUDO

A área possui cerca de 505 Km² e dista 35 km a norte de Belo Horizonte, envolvendo parcial ou integralmente os municípios de Lagoa Santa, Vespasiano, Funilândia, Confins, Matozinhos, Pedro Leopoldo e Prudente de Moraes, também engloba por completo a região denominada APA Carste de Lagoa Santa e entornos (Figura 1).

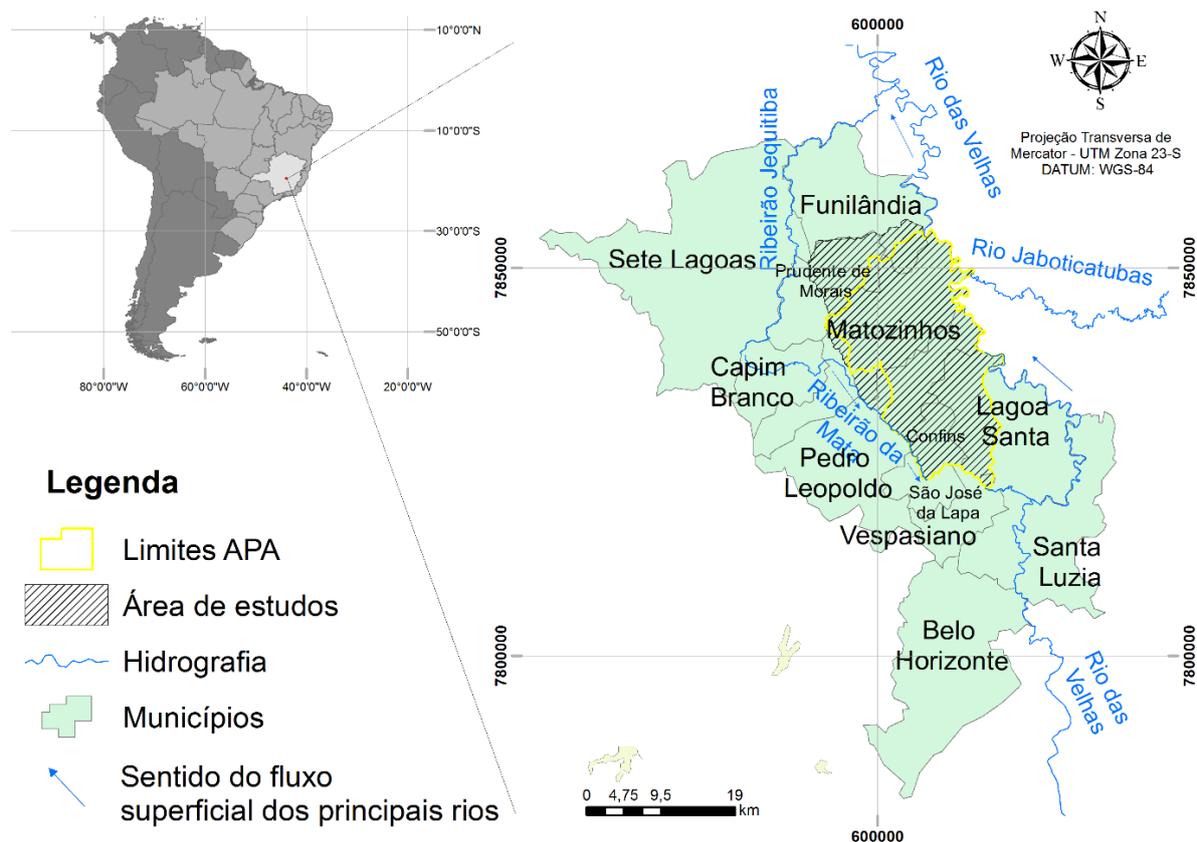


Figura 1: Mapa Localização da Área de estudo com destaque para APA – Carste de Lagoa Santa (em amarelo).

Geologicamente, a área de estudo abrange, da base para o topo, o Complexo Gnássico-Granítico-Migmatítico Belo Horizonte restrito aos limites oeste e sul, recoberto pelos sedimentos neoproterozóicos do Grupo Bambuí (Figura 2).

Esses são representados pelos carbonatos da Formação Sete Lagoas, distinguida pelos membros, da base para o topo: membro Pedro Leopoldo, constituído predominantemente por calcilutitos impuros, geralmente de granulometria fina, e coloração clara; e pelo membro Lagoa Santa, constituído de calcarenitos puros de coloração escura e de granulação grosseira. O membro basal se distribui principalmente na região leste da área e em contato com as rochas cristalinas na porção oeste sul da área, já o membro do topo constitui mais de 60% da área, sendo distribuído do centro para as bordas (Figura 2).

Sobrepõem-se a essa sequência os sedimentos metapelíticos intemperizados da Formação Serra de Santa Helena, localizados na porção oriental da área e em menores proporções a norte e a montante da bacia do córrego Palmeiras (Figura 2).

Recobrimo a sequência pelitocarbonatada da formação Sete Lagoas e Santa Helena, ocorrem as coberturas Cenozóicas, representadas por aluviões nas margens dos cursos de água e coberturas dendrito- lateríticas (Figura 2).

Conforme descrito por Pessoa (2005), o embasamento cristalino se aprofunda de oeste para leste, sendo a espessura da bacia sedimentar variável de dezenas a centenas de metros à medida em que se aproxima do limite da área. Esse mesmo autor descreve espessuras de solo de 20 a 40 metros podendo alcançar mais de 100 m em algumas regiões. Galvão *et al.* (2016), por meio de perfil de poços tubulares, mostra que em regiões próximas ao limite leste da área (regiões próximas ao rio da Velhas) a espessura da bacia é superior a 300 metros.

Estruturalmente, os contatos entre os membros da formação Sete Lagoas se apresentam de forma brusca e discordante. Já os contatos dessa organização com suas unidades de topo e base, são formados por contatos tectônicos representados por zonas de cisalhamento sub-horizontais, muitas vezes seguidos de falhas de deslocamento basal e com indicadores cinemáticos apontando o movimento reverso (RIBEIRO *et. al.*, 2003).

O processo de deformação rúptil ocorrido na região gerou um intenso sistema de faturamento, que por sua vez, funciona como um facilitador de recarga aquífera. Também age como responsável pela condução do fluxo de água subterrânea, sendo pelas fraturas propriamente ditas ou através da dissolução das mesmas pela ação da água e formação de condutos.

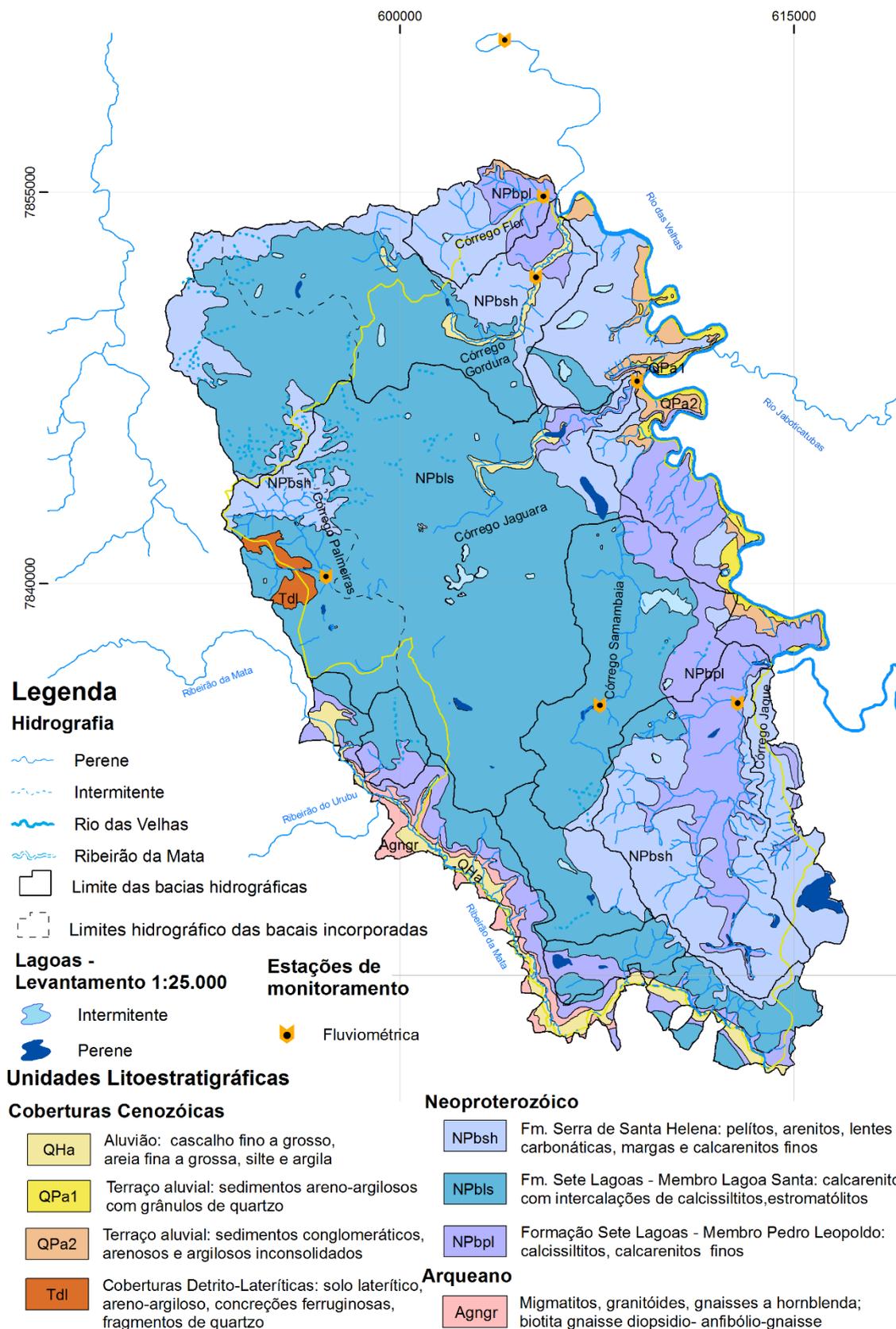


Figura 2: Mapa Geológico (adaptado de RIBEIRO *et al.*, 2003) evidenciando as estações fluviométricas monitoradas.

O contexto hidrogeológico da região é representado pelo aquífero carbonático da formação Sete Lagoas, principal unidade hidrogeológica da região, sendo depositado diretamente sobre o aquífero cristalino formado pelo complexo Belo Horizonte e recoberto em partes pelo aquífero formado pelos sedimentos pelíticos da formação Santa Helena e coberturas Cenozoicas.

O embasamento granito gnáissico representa um aquífero fissural de baixo potencial, conforme avaliação cartográfica apresentada por Vieira (1998). A interação dessa unidade hidrogeológica com os calcários da formação sotoposta é ainda pouco conhecida. Contudo, conforme descrito por Andrade e Amorim (2018), o sentido de fluxo subterrâneo desses dois sistemas são subparalelos em direção ao rio das Velhas.

Os calcários da formação Sete Lagoas formam a principal unidade aquífera da área, com espessura variando de poucos metros a mais de 250. Conforme exposto por Vieira (1998), o membro superior Lagoa Santa apresenta maior potencial hídrico em relação ao membro Pedro Leopoldo. A avaliação proposta por esse autor se baseia no grau de fraturamento, capacidade específica obtida nos poços tubulares da região, dentre outros parâmetros. Paula e Veslásquez (2019) mostram a importância das zonas de maciços carbonáticos expostos e fraturados com a recarga aquífera, chegando a valores médios para recarga líquida para área de 119 mm para o ano hidrológico de 2016/2017. Ribeiro *et. al.* (2019) descreve como o fluxo da região é influenciado pelos planos horizontais e fraturas com caimento para leste.

Os metapelitos da Formação Serra de Santa Helena funcionam como aquíferos pobres, isto é, aquíferos pobres, que localmente funcionam como recarga para os aquíferos carbonáticos (PESSOA, 2005).

A hidrografia da área é representada pela bacia hidrográfica do rio das Velhas, sendo flanqueada nas suas porções nordeste e leste pelo mesmo rio, o qual atua como nível de base, com cotas de 630 m a 660 m. A sudoeste e oeste, a região é balizada pelo ribeirão da Mata, afluente do rio das Velhas logo a montante da extensão, fora do limite do estudo (Figura 3).

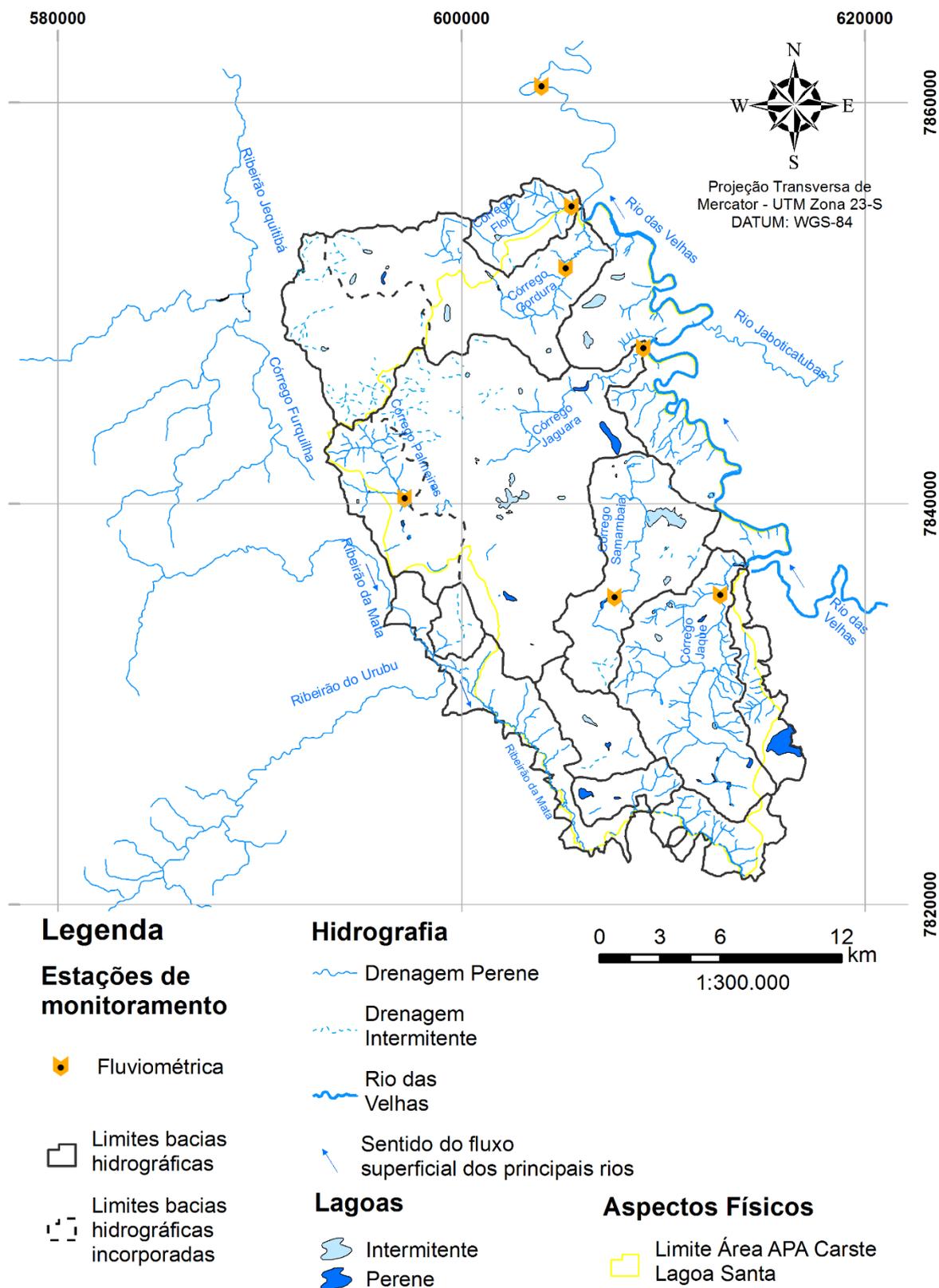


Figura 3: Mapa hidrográfico com destaque para os pontos de monitoramento fluviométricos.

No interior da área estudada ocorrem seis bacias hidrográficas que drenam direta ou indiretamente mais de 90% da área no sentido do rio das Velhas: córregos Palmeiras, Gordura, Jaguará, Samambaia, Flor e Jaque.

O córrego Palmeiras deságua em um sumidouro, percorre subterraneamente por aproximadamente 2,5 km e ressurge em uma das nascentes do Jaguará (AULER, 1994), de onde segue superficialmente para o rio das Velhas.

Os demais cursos de água drenam superficialmente para a margem esquerda do rio das Velhas, com exceção do córrego Samambaia, que deságua em um sumidouro a 3 km em linha reta da margem esquerda do rio das Velhas e cuja saída é desconhecida.

Diversas atividades antrópicas locais interferem diretamente nas vazões residuais de algumas das drenagens analisadas. O córrego Flor apresenta vários barramentos e captações a fio de água para a irrigação e dessedentação animal, chegando a secar no período de estiagem, quando o seu uso é mais intenso. O córrego Samambaia também possui um importante barramento a montante que regulariza parte do seu volume residual.

À exceção dos córregos Jaque e Flor, que drenam parcialmente sobre os metapelitos, os demais escoam predominantemente sobre terreno cárstico. As características físicas de cada drenagem se encontram descritas na Tabela 1. Pequenas bacias marginais ao rio das Velhas e Ribeirão da Mata escoam sobre sedimentos de cobertura.

Tabela 1: Características das bacias hidrográficas monitoradas.

Bacias	Área (Km ²)	Comprimento do córrego (Km)	Orientação da Drenagem	Litologia
Flor	16	5,0	SW/NE	Pelito – Calcário
Palmeira	31	6,0	NW/SE	Calcário
Gordura	39	14,0	SW/NE	Calcário
Samambaia	48	9,0	SW/NE	Calcário
Jaque	59	17,0	S/N	Pelito – Calcário
Jaguará	125	14,0	SW/NE	Calcário

Nas bacias localizadas inteiramente sobre os calcários, a ocorrência da baixa densidade de drenagem, o predomínio de drenagens apenas de primeira e segunda ordens e as orientações concordantes dos córregos (Figura 3 e Tabela 1) evidenciam um carste bem evoluído e com as escassas drenagens, sendo estas controladas pela tectônica.

Os valores médios anuais de precipitação, com base nos anos de 1980 a 2017, das estações pluviométricas que circundam a área - Lagoa Santa (1943049), Vespasiano (1943049), Pedro Leopoldo (1944009) e Sete Lagoas (OMM:8670) -, apresentam uma média

histórica de 1258,8mm distribuídos em 93,7 dias. Incidem duas estações bem definidas, uma seca, de abril a setembro, e outra chuvosa, de outubro a março, que, por sua vez, registra aproximadamente 90% do total pluviométrico.

O balanço hídrico climático da área realizado para o mesmo ano hidrológico desse estudo (out./2016 a set./2017) permitiu obter-se ETR de 750 mm (74%), ETP de 895 mm, EXC de 260 mm (26%), DEF de 145 mm, para uma precipitação de 1010mm registrada na estação de Lagoa Santa (PAULA E VELÁSQUEZ, 2019).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados hidrológicos analisados foram os correspondentes ao monitoramento realizado de outubro de 2016 a setembro de 2017, equivalente a um ano hidrológico regional.

A precipitação diária foi obtida a partir de quatro estações pluviométricas que se encontram no entorno da área estudada. A pluviometria utilizada para cada bacia foi a correspondente à estação pluviométrica com maior influência. Paula e Velásquez (2019) realizaram um estudo na região, no qual se verificou, a partir do mapa de distribuição de Thiessen, a influência pluviométrica de cada estação sobre as bacias hidrográficas, sendo elas: Lagoa Santa (1943049) – bacia do Samambaia, Vespasiano (1943049) e Lagoa Santa (1943049) – bacia do Jaque, Pedro Leopoldo (1944009) – bacia do Jaguará e Palmeiras e Sete Lagoas (OMM:8670) – bacia do Gordura, Flor e rio das Velhas.

As vazões diárias monitoradas dos córregos foram obtidas por meio de transdutores de pressão instalados em seis cursos de água. Tais dispositivos armazenaram os dados de pressão da água acima deles, os quais foram tratados para a correção barométrica e obtenção corrigida da lâmina de água sobre o transdutor, e que, posteriormente, foram convertidas em cotas de nível da água. Em seguida foram correlacionados com a curva-chave para a obtenção da vazão diária.

As curvas-chaves relacionam a altura da lâmina d'água de um determinado curso com a sua vazão. Para a confecção da curva é necessária a realização de medidas de vazão e de leitura do nível de água correspondente, abrangendo os períodos de estiagem e chuvoso, de modo a representar amplamente a variação fluviométrica do curso de água. Foram realizadas medidas de vazão a cada dois meses durante o período de monitoramento.

A relação cota-vazão é a avaliação linear de um determinado valor de vazão para uma determinada altura de lâmina de água registrada na régua linimétrica. Essa relação pode ser calculada de forma gráfica, matemática ou por tabela de calibragem. Neste trabalho, foi adotada a forma gráfica internacional cota-vazão h/Q (equação 1):

$$Q = a(h-h_0)^b \quad \text{Equação 1}$$

Na qual h corresponde ao nível de água medido na régua para uma determinada vazão monitorada Q ; h_0 , em que o nível para o qual a vazão é nula e a e b são constantes lineares determinadas para o local.

Filho *et al.* (2001) descreve que para determinar os parâmetros de ajuste a partir da relação unívoca dos pares (Q,h) , a expressão deve ser linearizada, determinando-se a e b por regressão linear e h_0 por tentativa e erro. Para realização dessa etapa, foi utilizada a ferramenta SOLVER do excel 2016, que busca por linearização de (Q,h) obter o menor erro possível para dados valor h_0 .

A curva cota-vazão permanece válida enquanto as características físicas do curso de água se mantiverem próximas as do período em que os dados foram coletados, e os desvios percentuais entre os anos analisados forem inferiores a 10% (PISCOYA *et. al.* 2013).

Para avaliar o efeito da pluviometria sobre a variação da vazão, foi realizada a função de autocorrelação da pluviometria e de correção cruzada entre essas duas variáveis. A função de autocorrelação (equações 2 e 3) mede a relação linear ou a dependência entre uma série e seus valores de defasagem, ou seja, o tempo de duração do evento. Ferrari & Karmann (2008) descrevem que para um sistema cárstico, o tempo necessário para perda de memória das condições iniciais está entre 0,1 e 0,2 para $r(k)$. Se tais valores forem encontrados em intervalos de tempo curtos, indicariam um sistema cárstico ativo e bem desenvolvido com pequeno armazenamento.

$$r(k) = \frac{C(k)}{C(0)} \quad \text{Equação 2}$$

$$C(k) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x}) \times (x_{t+k} - \bar{x}) \quad \text{Equação 3}$$

Nestas equações, r é o coeficiente de auto correlação, k é o tempo em de atraso “lag” de defasagem, C é a auto correlação da série, $C(0)$ é a correlação em k igual zero, n o comprimento da série, x_t o valor observado e \bar{x} é a média dos valores observados.

A função de correlação cruzada (equações 4 e 5) mede a relação entre duas séries, a precipitação e o nível de água no presente caso e a possível relação causal entre elas. Ferrari & Karmann (2008) ressaltam que o entendimento dos atrasos entre as entradas e saídas no aquífero cárstico é útil para estimar o tempo de viagem de uma partícula através do sistema. Para $r_{xy}(k) > 0$ enquanto $k > 0$, a entrada influencia a saída. Se existe uma função simétrica

centralizada em $k = 0$, ambas variáveis x e y respondem a outro sinal independente e não há influência da entrada na saída. O índice de atraso k (dias) é definido pelo tempo de deslocamento entre $k = 0$ e o k em que $r_{xy}(k)$ esteja entre 0,1 e 0,2.

$$r_{xy}(k) = \frac{C_{xy}(k)}{\sigma_x \sigma_y} \quad \text{Equação 4}$$

$$C_{xy}(k) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x}) \times (y_{t+k} - \bar{y}) \quad \text{Equação 5}$$

Em que r_{xy} é o coeficiente de correlação, k é o tempo (dias) para que a vazão responda a um evento de precipitação; C_{xy} é o correlograma cruzado, σ_x, σ_y os desvios padrão das duas séries de tempo; C a autocorrelação da série, n o comprimento da série; x_t o valor de uma variável observada e \bar{x} a média desses valores observados; e y_t o valor de uma variável observada e \bar{y} a média desses valores observados.

De posse dos dados de vazão, foram plotados gráficos para representar a série temporal de vazão por dia para cada curso de água. Apesar do monitoramento automatizado, vários dados foram perdidos por falha do sistema, o que gerou a necessidade de se desenvolver uma metodologia para completar tais falhas.

Os métodos existentes de completção de falha de dados normalmente utilizam: interpoladores ou métodos de percentis para preencher as lacunas em intervalos temporais maiores que 24 horas; séries longas de dados para completção falhas menores; métodos de regionalização de vazões média; e correlações de fisiografias entre bacias semelhantes. Contudo, em ambientes cársticos bem desenvolvidos, a heterogeneidade do sistema implica em características específicas para as diferentes bacias.

Na área desse estudo, onde a resposta aos eventos pluviométricos é quase instantânea, métodos que não correlacionam os eventos pluviométricos diários com a vazão instantânea não representariam o comportamento da região. Deste modo, fez-se necessário desenvolver uma metodologia na qual fosse possível correlacionar de forma direta uma série de dados completos (pluviometria) com a falhada (vazão), de forma a obter-se o efeito da pluviometria sobre a vazão, permitindo assim, a completção dos dados faltantes da curva. Quatro etapas metodológicas foram, então, cronologicamente seguidas.

A primeira etapa consistiu em se realizar a autocorrelação da série temporal de vazão (Equação 3), de modo a avaliar se tais dados eram correlacionáveis, o que pode ser atestado quando o coeficiente de autocorrelação tende ao intervalo de 0,1 e 0,2, a partir do qual se dá a

perda de memória do evento. Ainda nessa etapa, foi realizada a correlação cruzada (Equação 5) entre a Precipitação e a Vazão para se calcular o tempo k em dias que a vazão leva para responder a um evento pluviométrico.

A segunda etapa consistiu em determinar qual a porção da pluviometria que influencia diretamente na vazão do curso de água (Equações 6 e 7). Para isso, foi calculada a evapotranspiração real anual utilizando o método de Thornthwaite (1948), sendo tal valor subtraído do total pluviométrico anual para obter a parte da pluviometria que interfere na vazão do curso de água. Os cálculos de evapotranspiração real foram executados por meio de planilhas eletrônicas disponibilizadas por Rolim (1998).

$$Pi_n = P_{(n-k)} \times [(P_a - ETR)/P_a] \quad \text{para } P \neq 0 \quad \text{Equação 6}$$

$$Pi_n = P_{i(n-1)} \times s \quad \text{para } P = 0 \quad \text{Equação 7}$$

Em que Pi_n (mm) é a porção da pluviometria que contribui efetivamente para a vazão, P (mm) é a pluviometria diária, P_a é a pluviometria total anual, n é um dia qualquer do ano calendário, k (dias) tempo de retardo entre a resposta da vazão e o evento de precipitação, ETR (mm) a evapotranspiração real e s é a estimativa de redução do escoamento superficial, determinada conforme a Equação 8.

$$s = \frac{Q_{(n+1)}}{Q_n} \quad \text{Equação 8}$$

Na qual Q (m³/s) é a vazão monitorada e n (dia) é um dia do ano calendário. O fator s é calculado no período em que não há eventos pluviométricos, de modo a avaliar a redução natural do escoamento sem aportes pluviométricos.

Nota-se que para o cálculo da porção da pluviometria diária que contribui efetivamente para a vazão do córrego (Pi), assumiu-se a mesma razão anual obtida entre esses parâmetros (Equação 6).

A terceira etapa consistiu em construir uma relação linear entre a pluviometria (P) e a vazão diária monitorada (Q), a partir da linearização dos três valores (máximo, médio e mínimo) da precipitação diária e dos três valores (máximo, médio e mínimo) da vazão diária monitorada (m³/s) obtendo-se a equação 9.

$$Q = aP + b \quad \text{Equação 9}$$

Em que Q (m^3/s) é a vazão diária monitorada, P (mm) é a pluviometria diária; a e b são, respectivamente, os coeficientes angular e linear obtidos graficamente.

Sabendo-se que P é correlacionável a P_i (equações 6 e 7) e que Q é correlacionável a P (Equação 5), logo Q é correlacionável à vazão calculada (q) que é influenciada pela P_i (Equação 10).

$$q = aP_i + b \quad \text{Equação 10}$$

Porquanto q é a vazão diária calculada, P_i (mm) a porção da pluviometria diária que contribui efetivamente para a vazão em todos os dias do ano hidrológico; a e b são, respectivamente, os coeficientes angular e linear obtidos graficamente acima referidos.

A partir da equação 10, então, pode-se obter os valores das vazões nos dias em que houve falhas nas medições automáticas.

Visando obter valores de vazão calculados q mais próximos dos valores de vazão monitorados Q , a quarta e última etapa incidiu em calcular o desvio padrão diário da vazão monitorada e calculada - $\sigma_n(Q,q)$. Nos dias em que ocorreram falhas não foi possível se calcular $\sigma_n(Q,q)$, uma vez que não se dispõe de Q . Assim, nesses dias, foram considerados o desvio padrão médio de todos dados diários monitorados $\bar{\sigma}(Q)$.

A vazão resultante corrigida q_c (m^3/s) para cada dia do ano calendário pode ser, então, aproximada, conforme as equações 11 e 12.

$$q_c = q_{(n)} \pm \sigma_n \quad \text{quando } Q \neq 0 \quad \text{Equação 11}$$

$$q_c = q_{(n)} \pm \bar{\sigma} \quad \text{quando } Q = 0 \quad \text{Equação 12}$$

Nas quais q_c (m^3/s) é a vazão diária resultante, q é a vazão calculada, σ é o desvio padrão das vazões monitorada e calculada, $\bar{\sigma}$ é o desvio padrão médio dos dados de vazão monitorada e n é um dia do ano calendário. O sinal \pm varia de acordo com a estação de chuva ou seca, sendo o desvio padrão somado no período chuvoso e subtraído no período seco. Para que a curva calculada da vazão diária resultante se aproxime ainda mais da curva de vazões monitoradas, a soma do desvio padrão no período chuvoso tende a corrigir o efeito do armazenamento ocasionado por eventos consecutivos de chuva, também a subtração do desvio padrão no período seco tende a restringir a vazão ao escoamento subterrâneo.

4 RESULTADOS

CURVA CHAVE – Foram plotados os valores de vazão medidos em campo junto aos calculados por meio das curvas chaves (Figuras 4a - 4g) visando obter a aderência entre ambas as curvas. Para uma melhor representatividade gráfica, os dados foram apresentados através de valores em m³/h.

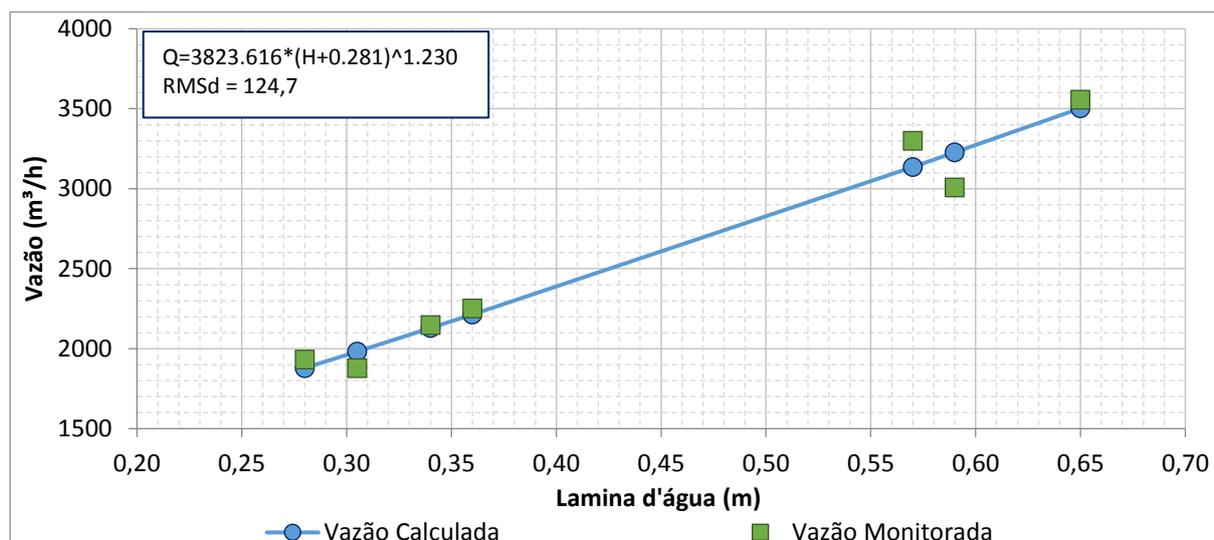


Figura 4a: Curva chave do córrego Gordura – Vazões calculadas e monitoradas.

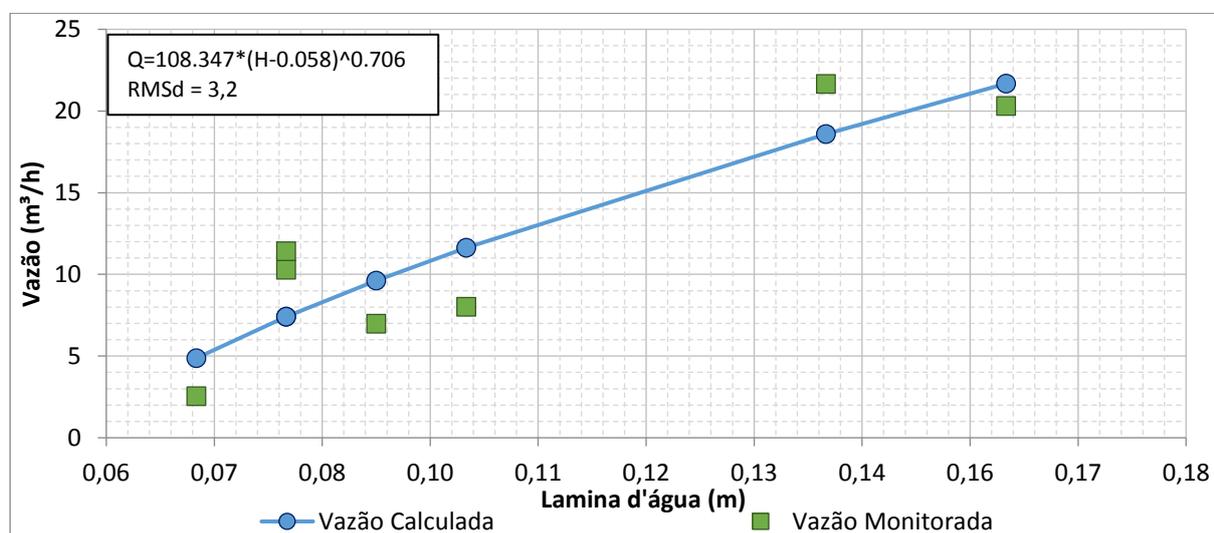


Figura 4b: Curva chave do córrego Flor – Vazões calculadas e monitoradas.

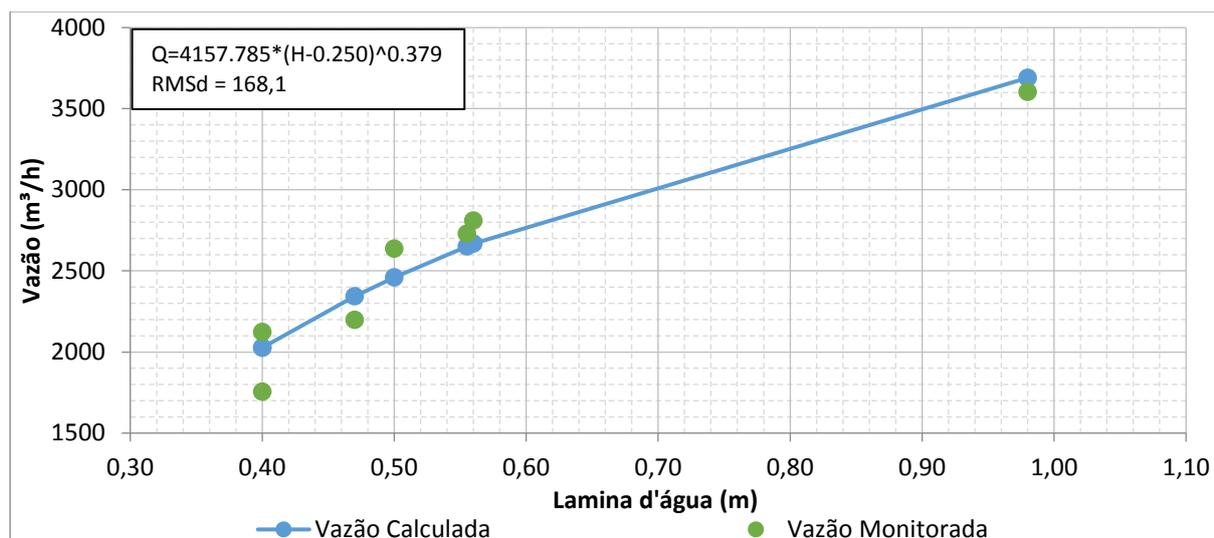


Figura 4c: Curva chave do córrego Jaguará – Vazões calculadas e monitoradas.

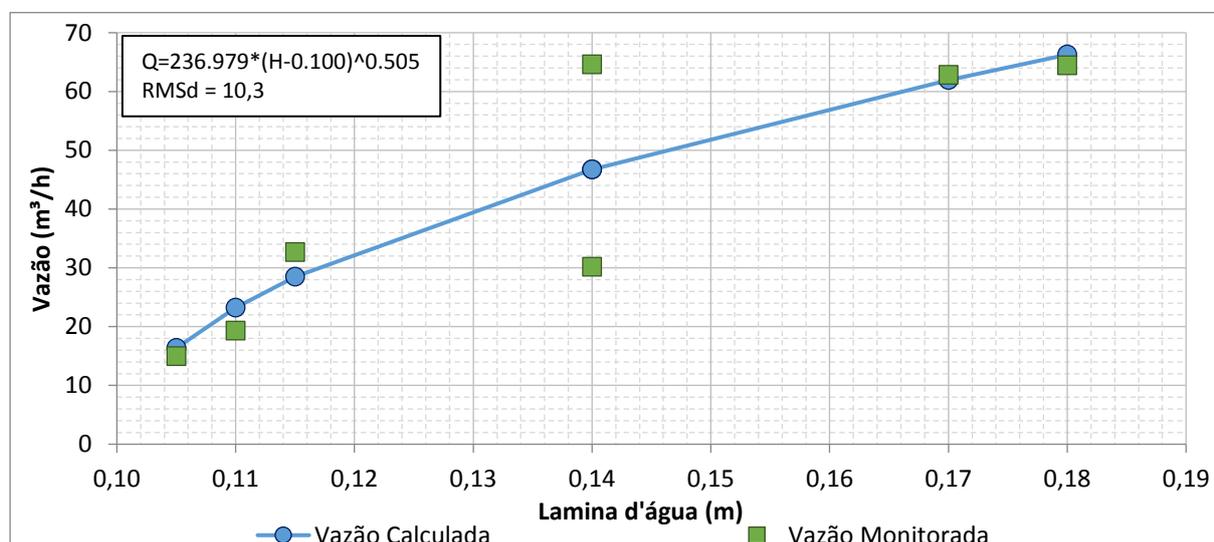


Figura 4d: Curva chave do córrego Palmeiras – Vazões calculadas e monitoradas.

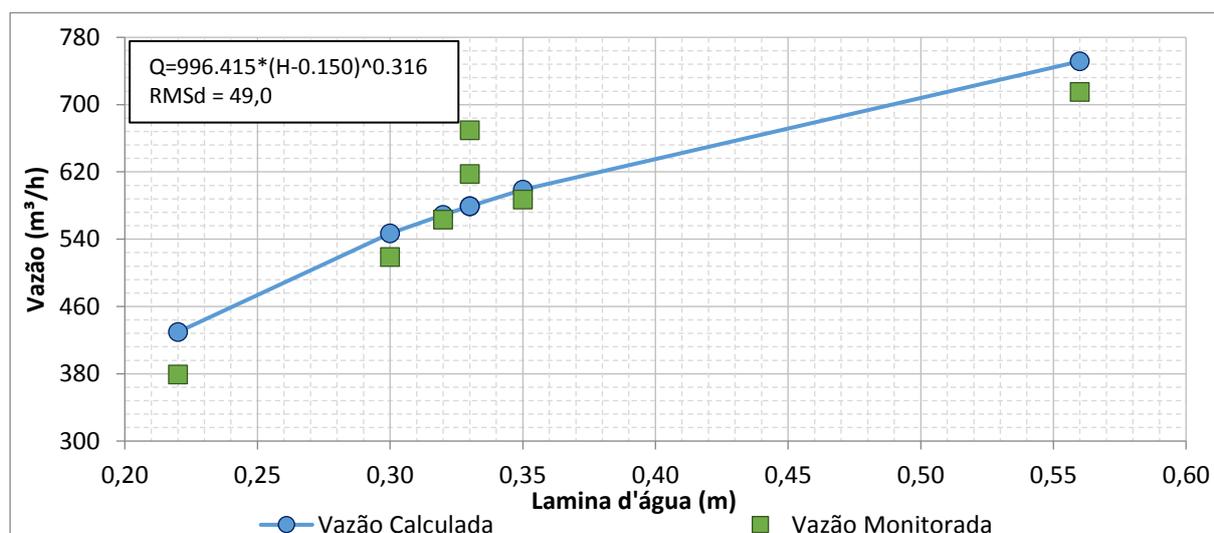


Figura 4e: Curva chave do córrego Samambaia – Vazões calculadas e monitoradas.

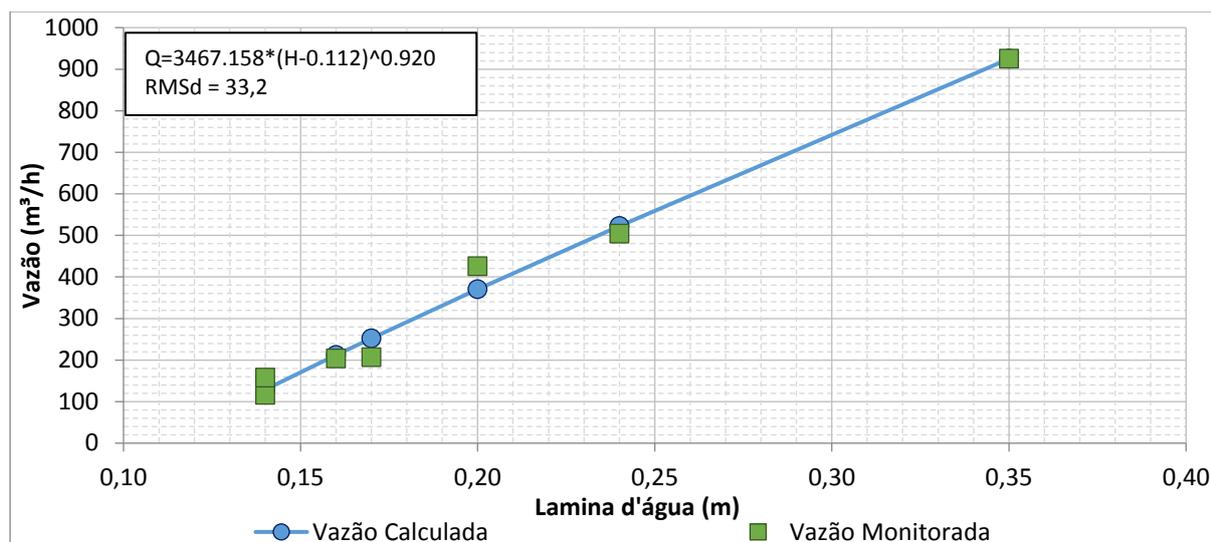


Figura 4f: Curva chave do córrego Jaque – Vazões calculadas e monitoradas.

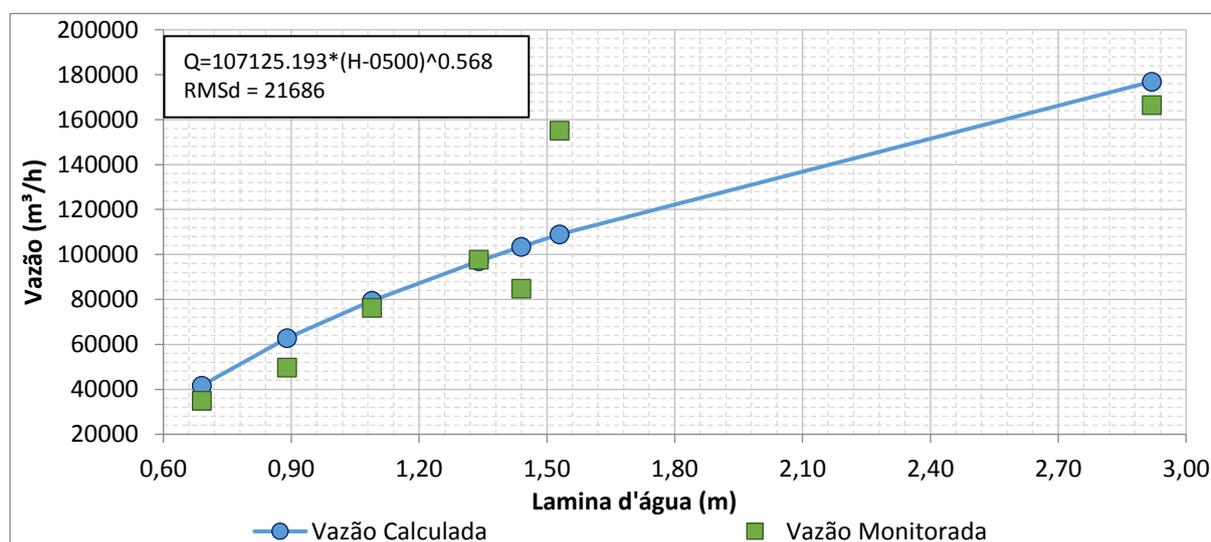


Figura 4g: Curva chave do rio das Velhas – Vazões calculadas e monitoradas.

A diferença percentual entre os totais monitorados e calculados foi menor que 10%, resultando em uma boa aderência global para as curvas. As curvas características dos córregos Gordura, Jaguará, Samambaia e Jaque, apresentou uma ótima aderência com erro quadrático médio menor que 10% da vazão média do córrego. As curvas características para o rio das Velhas, córrego Flor e Palmeiras apresentou maiores desvios, necessitando de refinamentos dos pontos e maior aquisição de dados.

ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS – Para se identificar o nível de maturidade do sistema cárstico e a capacidade relativa do armazenamento do sistema aquífero, foram avaliadas as séries temporais de vazão (Equação 3 e 5), empregando-se a análise de

autocorrelação (Figura 5), bem como a correlação cruzada (Figura 6) da vazão com a pluviometria.

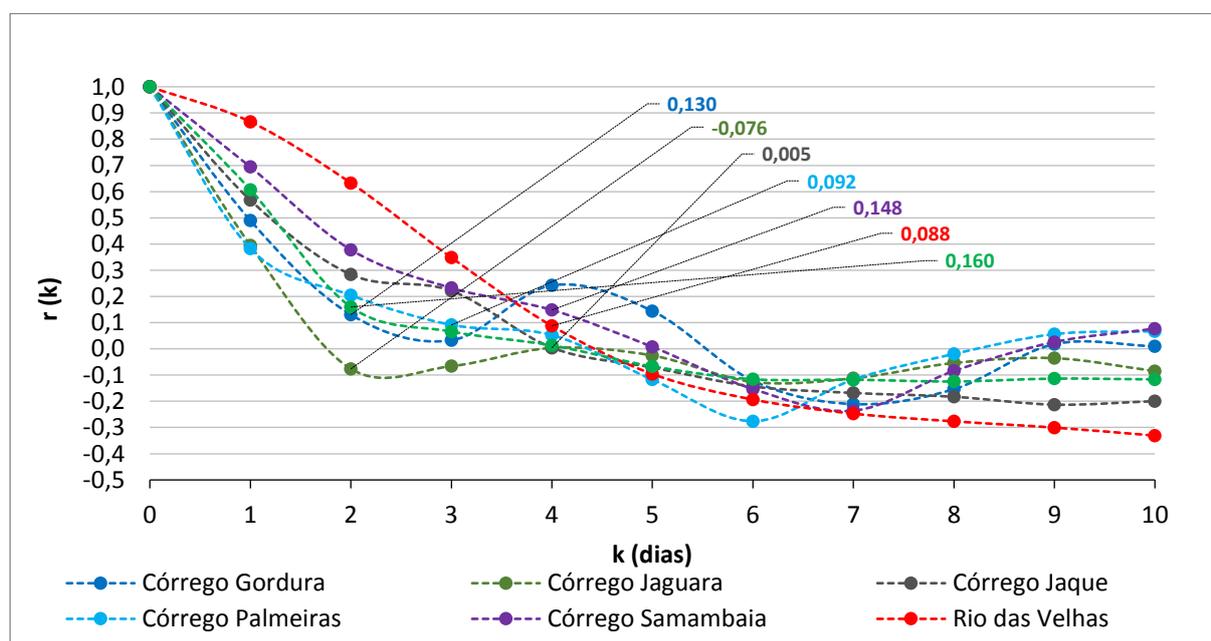


Figura 5: Autocorrelação dos dados de vazão.

Os dados apresentados de autocorrelação exibem um *lag* máximo de dois dias para os córregos Gordura, Jaguará e Flor; três dias para o córrego Palmeiras; quatro dias para o córrego Jaque e Samambaia, além do Rio das Velhas. Os maiores valores encontrados para o Rio das Velhas e o córrego Jaque podem ser relacionados ao fato desses cursos de água não estarem exclusivamente em terrenos carbonáticos. Quanto ao córrego Samambaia, a regularização de sua vazão é responsável pela mais lenta resposta desse fluxo a precipitação.

Os demais apresentaram valores maiores de 1 a 3 dias com relação ao tempo de retorno. De maneira geral, os resultados identificados mostram uma grande influência de um sistema cárstico bem evoluído e baixo armazenamento de fluxo rápido.

O resultado da correlação cruzada (Figura 6) apresentou uma resposta de um dia para os córregos Gordura, Jaguará, Palmeiras e Samambaia; dois dias para o córrego Jaque e Flor; e três dias para o Rio das Velhas.

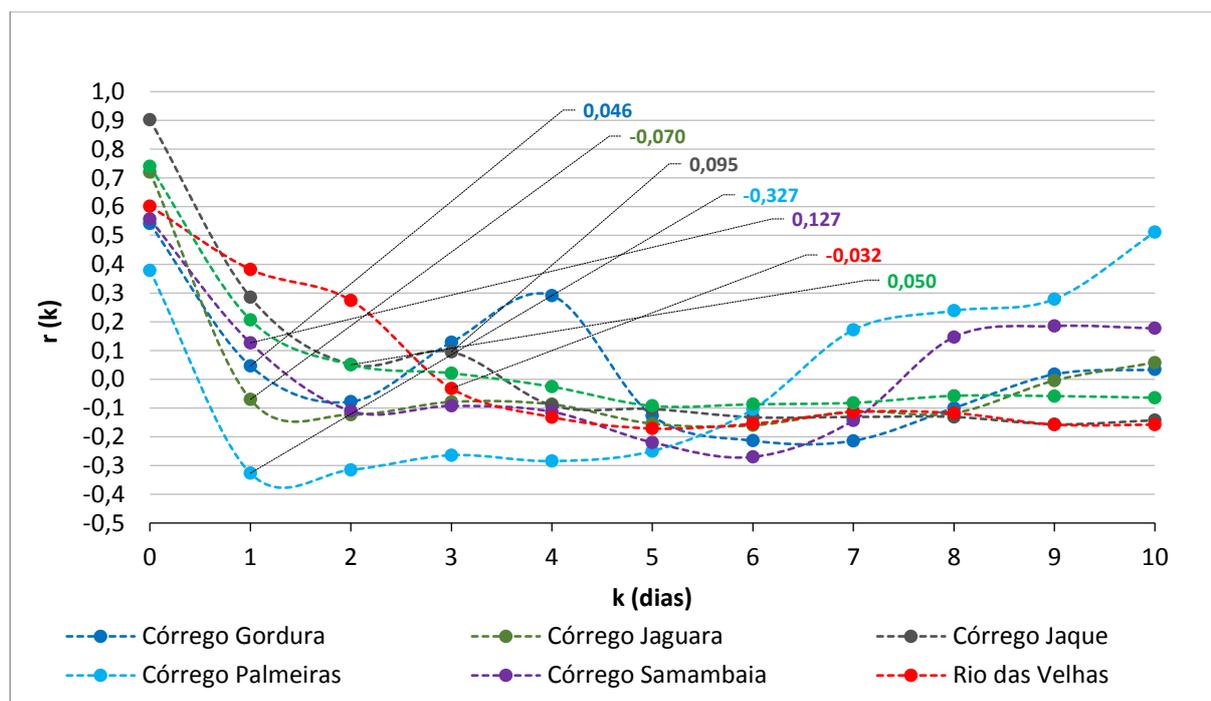


Figura 6: Correlação cruzada entre os dados de vazão e pluviometria.

Os maiores tempos de atraso encontrados para o Rio das Velhas podem ser relacionados ao fato desse não se encontrar exclusivamente em terrenos carbonáticos e com contribuições de outros sistemas fluviais externo a área estudada. A resposta mais lenta identificada no córrego Jaque pode estar relacionada à sua geologia predominantemente pelítica. Já o córrego Flor está sendo afetado pelas captações presentes em sua extensão. As demais bacias, predominantes em terrenos cársticos, apresentaram resposta imediata aos eventos pluviométricos, também um efeito memória do sistema muito curto indicando uma rápida recarga para o sistema subterrâneo e alta condutividade hidráulica.

Os dados de causa e efeito para o córrego Gordura foram inferiores a um dia, quase 24 horas (Figura 6). Visando testar a aderência do método matemático para calcular o tempo de retorno proposto por Ferrari & Karmann (2008), o resultado encontrado para o córrego Gordura foi comparado com resultados encontrados por Teodoro *et. al.* (2019) em seus ensaios com traçador na mesma bacia. Esse último encontrou tempo de 23 horas de atraso após o lançamento e recepção de traçadores corantes nessa bacia. Deste modo, fica evidenciado a eficiência do método proposto por Ferrari & Karmann (2008) para estimar o tempo de viagem de uma partícula através do sistema.

COMPLETAÇÃO DE FALHAS – Os hidrogramas foram plotados com os valores monitorados e calculados ao mesmo tempo para comparação (Figura 7a - 7g). Os dados de pluviometria correspondem a estação mais próxima do curso de água analisado.

Alguns pontos monitorados não apresentaram falhas de dados. Uma vez que o objetivo não é apenas a completação das falhas, mas sim testar a metodologia construída. Foram analisadas as curvas calculadas e monitoradas durante o ano hidrológico de 2016 e 2017. Para uma melhor compreensão, foram avaliados os dados segundo os períodos de seca e de chuva, eventos de chuva, chuvas sequenciais, picos de chuvas de alta intensidade e interferências antrópicas quando existentes.

Em relação ao período chuvoso e de estiagem, observou-se que durante o período seco, de abril a setembro, ocorre uma aderência melhor que a do período chuvoso. Tal fenômeno acontece provavelmente devido ao fato de, na seca, haver menor efeito das chuvas sequenciadas (Figuras 7a, b, c, d, g) e, conseqüentemente, uma melhor resposta dos eventos vazão com eventos de pluviometria sem acúmulo de interferências.

As curvas das vazões calculadas, de um modo geral, exibem um pequeno deslocamento para a direita em relação a curva dos valores monitorados (Figura 7). Tal fato ocorre devido ao método de correlação cruzada ter sido avaliado em dias. É certo que com registros dos horários de chuva a defasagem de tempo seria menor e, por conseguinte, esse deslocamento seria mais suave, aproximando-se mais as curvas monitoradas e calculadas.

Em eventos de chuvas sequenciais, produz-se inclinação da curva de vazão, evidenciando períodos de maior recarga. A geometria das curvas observadas e calculadas se apresentou muito semelhante quanto sua forma, mostrando uma ótima adesão quanto ao aspecto metodológico, podendo ser utilizada para separação de escoamento e cálculos de recarga aquífera.

Os picos de chuvas de alta intensidade geraram um aumento instantâneo de vazão. Para casos assim, os valores de vazão calculados se apresentam mais elevados que os valores monitorados. Isso se deve aos valores calculados reagirem automaticamente ao evento diário de pluviometria, e apesar de considerar a estimativa de redução do escoamento superficial (equação 8) essa é percebida em unidade de dias. A melhor adequação para essas variações seria a obtenção de dados horários de pluviometria, para que o efeito da equação 8 atenuasse a curva de vazões calculadas para eventos horários de vazão.

O rio das Velhas (Figura 7a) não apresentou falhas durante o processo de monitoramento. No período chuvoso, observa-se um deslocamento da curva calculada para baixo da curva monitorada. É provável que o tamanho da bacia do Rio das Velhas e as demais

contribuições pluviométricas e fluviométricas interferiram diretamente durante o período das chuvas. A diferença entre o volume anual medido e calculado por dia de registro foi de aproximadamente 18,3% para o ano e de 1,7% no período seco.

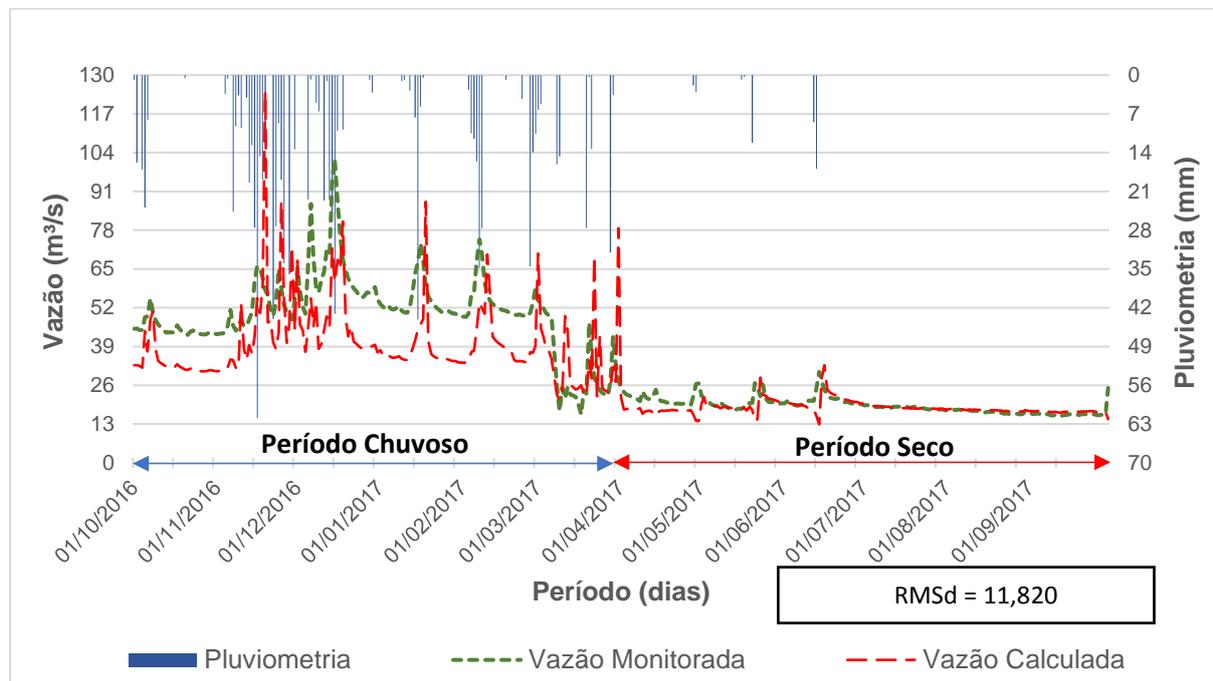


Figura 7a: Hidrogramas das vazões monitoradas e calculadas do rio das Velhas.

O córrego Jaque (Figura 7b) apresentou uma pequena falha de monitoramento no final de setembro de 2017, e uma diferença entre o volume anual medido e calculado por dia de registro foi de aproximadamente 10,6% para o ano e 5,6% para o período seco.

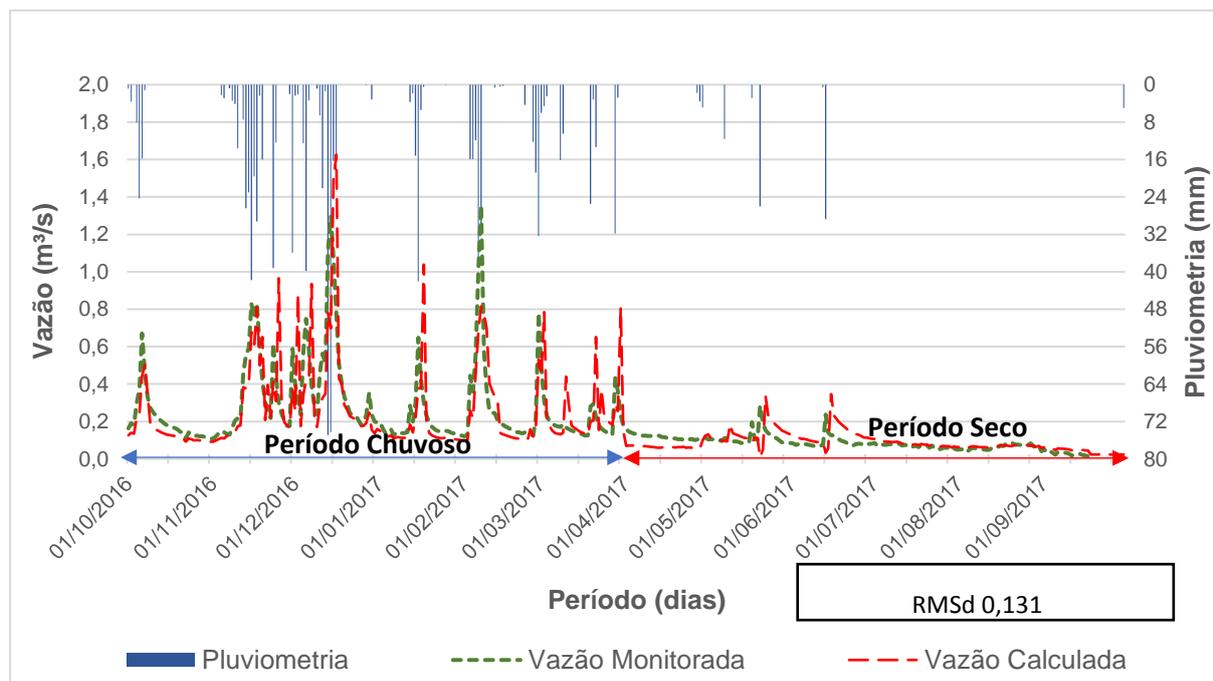


Figura 7b: Hidrogramas das vazões monitoradas e calculadas do córrego Jaque.

O córrego Jaguará (Figura 7c) apresentou falha de monitoramento entre agosto e setembro de 2017 e uma diferença entre o volume anual medido e calculado menor que 2% para ano hidrológico analisado.

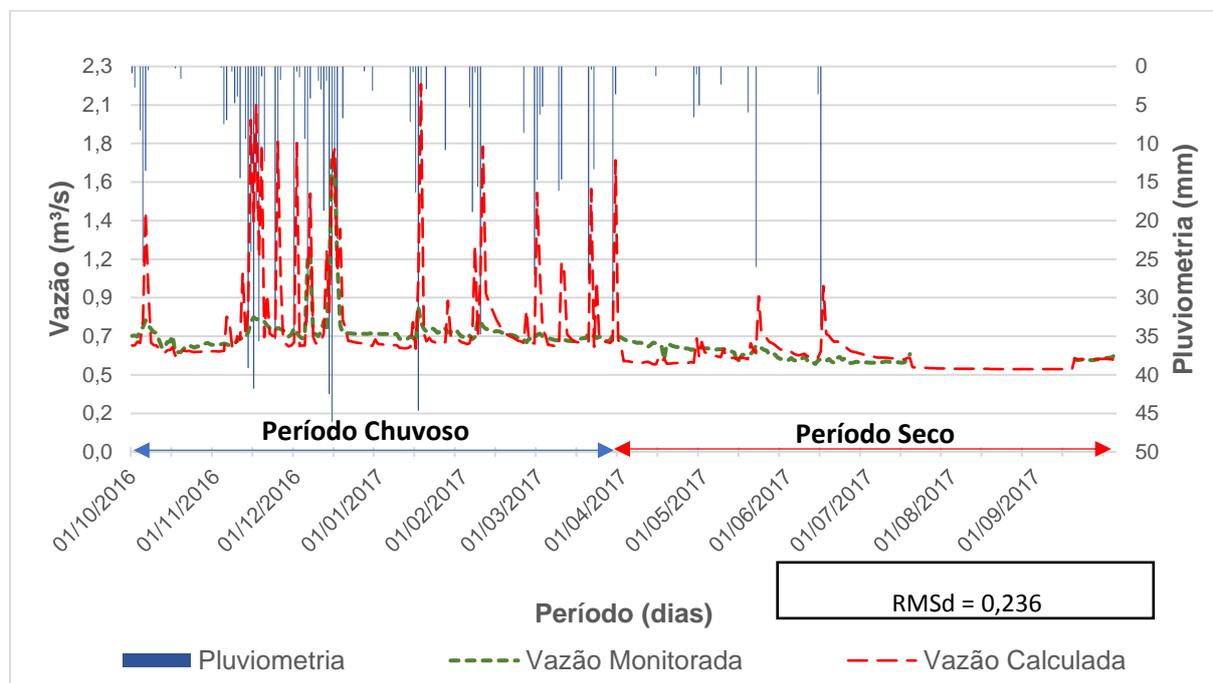


Figura 7c: Hidrogramas das vazões monitoradas e calculadas do córrego Jaguará.

O córrego Gordura (Figura 7d) apresentou um período de falha de monitoramento na transição entre o período chuvoso e o seco, entre fevereiro e junho de 2017, com uma diferença entre o volume anual medido e calculado de aproximadamente 6,5% para o ano e 1,7% no período seco.

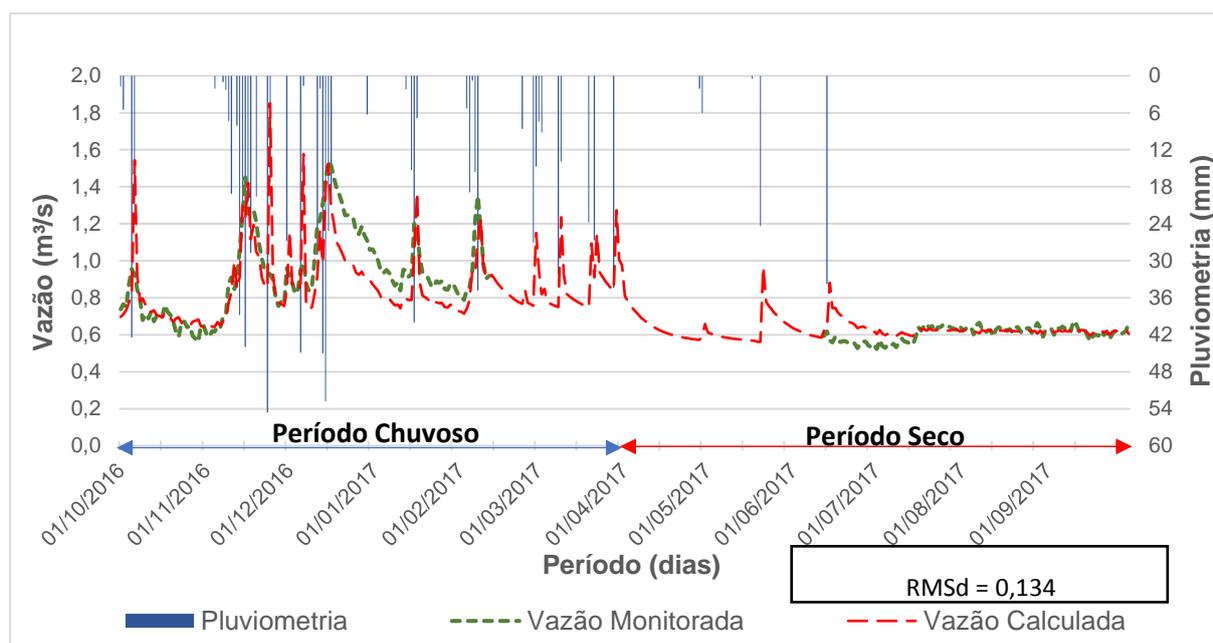


Figura 7d: Hidrogramas das vazões monitoradas e calculadas do córrego Gordura.

O córrego Samambaia (Figura 7e) apresentou dois períodos de erros de monitoramento, um de outubro a dezembro de 2016 e o outro entre julho e setembro de 2017. O primeiro período é representado por uma falha no transdutor de pressão que registrou apenas o mesmo valor. O segundo evento representa uma falha na coleta de dados, do final do período chuvoso ao início do período seco, apresentando um deslocamento para baixo da curva calculada em relação a monitorada. Tal fato deve estar relacionado ao efeito de regularização da vazão por conta de um barramento próximo a montante do ponto de monitoramento. Isso pode ser corroborado pelo fato de o início da recessão ocorrer somente em julho, divergente das demais bacias analisadas na região. A diferença entre o volume anual monitorado e calculado por dia de registro foi de aproximadamente 5%.

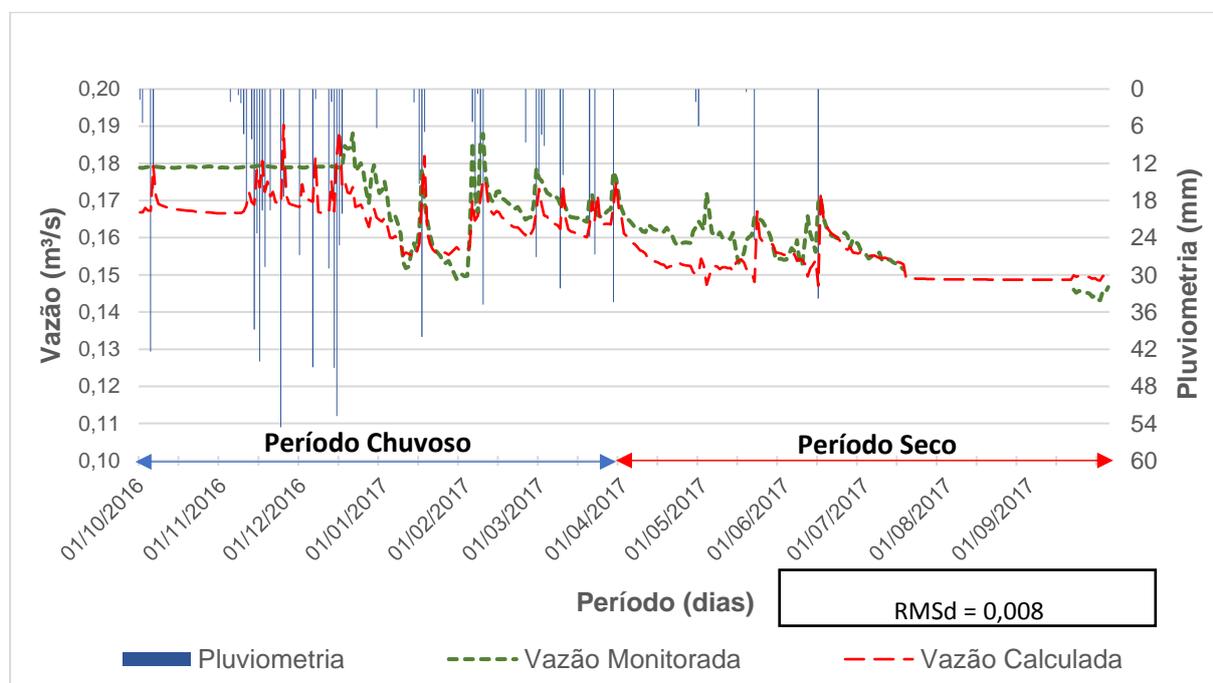


Figura 7e: Hidrogramas das vazões monitoradas e calculadas do córrego Samambaia.

O córrego Palmeiras (Figura 7f) apresentou um período de falha de monitoramento entre outubro a dezembro de 2016 e entre agosto e setembro de 2017.

Apesar da consistência dos dados calculados em relação aos eventos pluviométricos, observam-se divergências no período seco, que não foram registradas nas demais estações. Isso pode estar relacionado à maior distância entre as estações fluviométrica e pluviométrica, maior que 15 km, o que pode ser atestado pelo fato de alguns períodos em que a estação pluviométrica registrou eventos de chuva, essa não se concretizou em aumento da vazão monitorada, ou mesmo erro nos restritos dos transdutores de pressão, já que no início do

período seco observa-se uma redução considerável dos valores calculados e não há variação considerável dos valores monitorados, o que ocorre nas que divergem das demais bacias da área estudada. No curto espaço de tempo, entre janeiro a abril de 2017, no qual os dados de pluviometria e fluviometria monitorados se apresentam mais coerentes, a diferença entre os volumes anuais foi aproximadamente 6,3%.

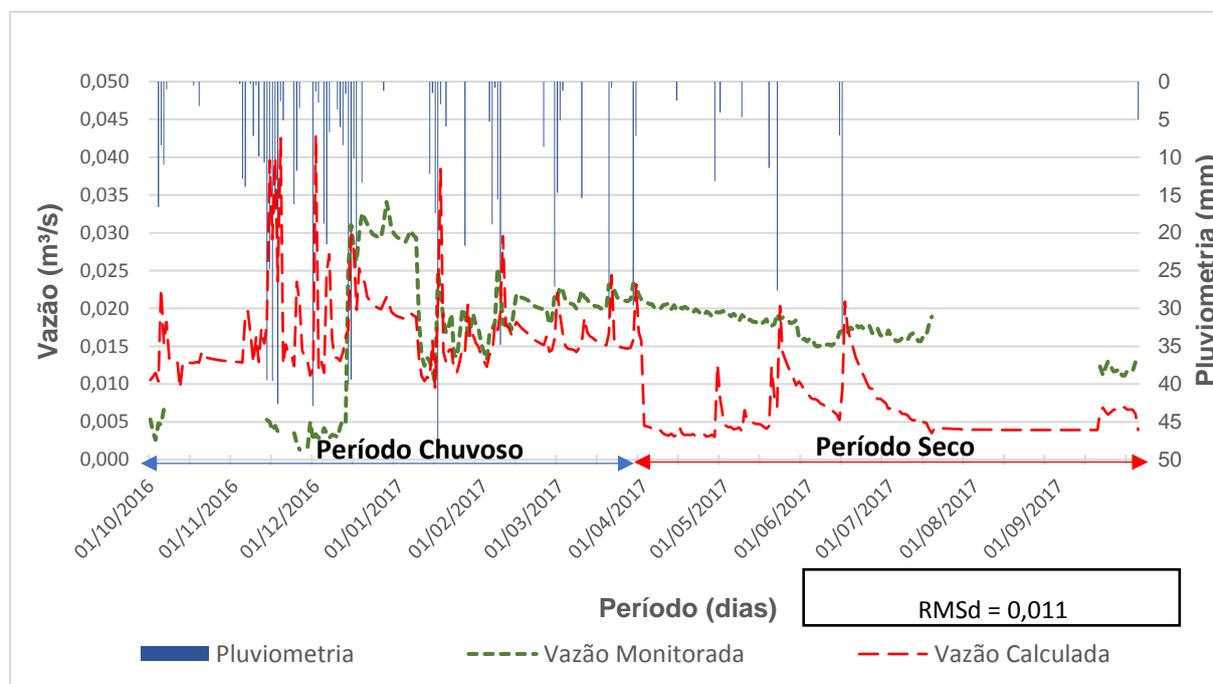


Figura 7f: Hidrogramas das vazões monitoradas e calculadas do córrego Palmeiras.

O córrego Flor (Figura 7g) apresentou um período de falha de monitoramento, durante quase todo o período chuvoso e início da estiagem. As baixas vazões monitoradas entre junho e julho de 2017 estão relacionadas às fortes captações identificadas nesse curso de água. No curto espaço entre junho a setembro de 2017, em que há correspondência de dados calculados e monitorados, a diferença entre os volumes anuais foi de aproximadamente 8,2%.

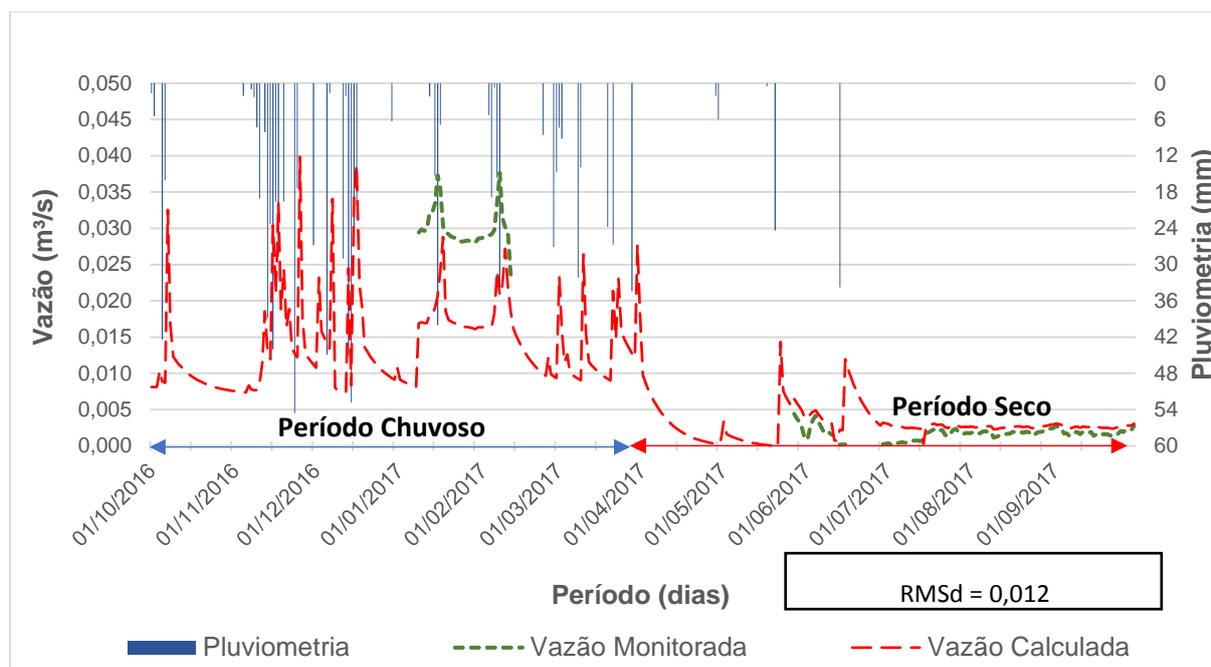


Figura 7g: Hidrogramas das vazões monitoradas e calculadas do córrego Flor.

Quando se comparam as diferentes situações pluviométricas e fluviométricas incidentes nas bacias, que não estão correlaciadas às interferências antrópicas, a metodologia desenvolvida apresentou ótima aderência entre dados calculados e observados. Foi menor que 9% para o ano hidrológico e menor que 4% no período de estiagem. O erro quadrático médio, exibe bons resultados para as bacias do Samambaia, Gordura, Jaguará e Jaque, as demais bacias apresentaram maior RMSd, provavelmente já provindos da calibração da curva chave destas e interferências presentes nestas bacias.

5 CONCLUSÕES

Os dados de curva chave apresentaram uma boa aderência entre os valores calculados e medidos, sendo possível aplicar essas equações para o ano hidrológico de 2016 e 2017 para a obtenção de vazões nessa área. Para a continuidade do uso de tais curvas, faz-se necessário o cálculo dos desvios percentuais para cada ano, garantindo que os mesmos sejam menores que 10% por meio de calibração das curvas quando necessário. As curvas para o rio das Velhas, córrego Flor e Palmeiras apesar de desvios percentuais menores que 10% faz-se necessário maior número de pontos para reavaliação do erro quadrático médio destas curvas.

Os resultados de correlação mostraram um sistema aquífero de fluxo rápido e bem evoluído controlado por fluxo em condutos, conseqüentemente com baixos valores de armazenamento.

A metodologia desenvolvida para completação de dados temporais em séries correlacionáveis se mostrou eficiente desde que não ocorram interferências antrópicas ou de fora do sistema avaliado, como observado no rio das Velhas devido a extensão de sua bacia, córregos Flor e Palmeiras que são impactados por elevados retiradas de água por captações além da distância entre a estação fluviométrico e pluviométrico como ocorrido na bacia do córrego Palmeiras.

A geometria da curva calculada com a curva monitorada apresentou boa semelhança, havendo alguns desvios quanto às respostas dos eventos de correlação ou qualidade da curva chave utilizada. Por se tratar de uma metodologia de base matemática comparada com eventos da natureza, os desvios percentuais menores que 10% para as análises nas quais não ocorreu interferência antrópica ou de outro cunho, mostra um emprego eficiente para o método em bacias carbonáticas.

Desta forma, para coeficientes correlacionáveis a utilização do método para preencher lacunas se mostra confiável e de grande valia para séries temporais, especialmente para pequenas bacias.

É recomendável a utilização da metodologia em outros sistemas correlacionáveis tais como: nível de água subterrânea, pluviometria e vazão, bem como em terrenos não carbonáticos visando o aperfeiçoamento do método.

AGRADECIMENTOS

Ao Grupo Gerdau pelo financiamento das pesquisas do Projeto de Processo FUNDEP/GERDAU/UFMG N° 22.317, ao Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV), ao Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais (IGC-UFMG), e ao Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear (CDTN), ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) pela participação e apoio durante todas as etapas envolvidas.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, I. B., AMORIM, J. B. **Mapeamento geológico com ênfase na relação hidráulica entre o complexo granítico-gnáissico com o grupo Bambuí.** Trabalho de Graduação – Universidade Federal de Minas Gerais, 2018, 105p.

AULER A. **Hydrogeological and Hydrochemical Characterization of the Matozinhos-Pedro Leopoldo Karst, Brazil.** 1994. 110 f. Msc Thesis – Faculty of the Department of Geography and Geology, Western Kentucky University, Bowling Green, 1994.

FERRARI, J. A. & KARMANN, I. **Comportamento Hidrodinâmico de Sistemas Cásticos na Bacia do Rio Betari, Município de Iporanga – SP.** Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental – Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, SP. Revista do Instituto de Geociências – USP. V.8, n.1: 1-13, 2008.

FILHO, K. Z., SILVA, R. M., PORTO, R. L. L. **Medição de Vazão e Curva Chave.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. PHD – 307 Hidrologia aplicada, 2001, 48p.

GALVÃO, P., HIRATA, R., CORDEIRO, A., BARBATI, D. & PEÑHARANDA, J. 2016. **Geologic conceptual model of the municipality of Sete Lagoas (MG, Brazil) and the surroundings.** Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 88, n. 1, p. 35-53.

PAULA, R. S., VELÁSQUEZ, L. N. M. **Balço Hídrico em Sistema Hidrogeológico Cárstico de Lagoa Santa, Minas Gerais.** Revista Águas Subterrâneas, v. 33, n.2, p. 119-133, 2019.

PESSOA, P. F. P. 2005. **Hidrogeologia do aquífero cárstico coberto de Lagoa Santa, MG.** Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005, 375p.

PISCOYA, R. C. C. C.; LOPES, W. T. A.; LEMOS, G. M.; SILVA, L. S.; SILVA, M. C. A. M. **Análise de consistência de dados fluviométricos de estações de monitoramento da ANA localizadas nas sub-bacias hidrográficas 10 (rios Solimões, Javari e Itaquai) e 11 (rios Solimões, Içá e Jandiatuba).** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20, 2013, Bento Gonçalves, RS. Anais... ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013.

RIBEIRO, J.H.; TULLER, M.P.; FILHO, A.D.; PADILHA, A.V.; CÓRDOBA, C.V. **Projeto VIDA: mapeamento geológico, região de Sete Lagoas, Pedro Leopoldo, Matozinhos, Lagoa Santa, Vespasiano, Campim Branco, Prudente de Moraes, Confins e Funilândia, Minas Gerais – relatório final, escala 1:50.000.** 2. ed. Belo Horizonte: CPRM, 2003, 54p.

RIBEIRO, C. G., VELÁSQUEZ, L. N. M., PAULA, R. S., MEIRELES, C. G., LOPES, N. H. B., ARCOS, R. E. C., AMARAL, D. G. P. **Análise dos fluxos nos aquíferos cárstico-fissurais da região da APA Carste de Lagoa Santa, MG.** Revista Águas Subterrâneas, v. 33, n.1, p. 12-21, 2019.

ROLIM, G.S.; SENTELHAS, P.C.; BARBIERI, V. **Planilhas no ambiente EXCEL para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.6, p.133-137, 1998.

TEODORO, M. I. P., VELASQUEZ, L. N. M., FLEMING, P. M., PAULA, R. S., SOUZA, R. T., DOI, B. B. **Interconexões e Hidrodinâmica do Sistema Aquífero Cárstico Bambuí, com uso de Traçadores Corantes, na Região de Lagoa Santa, Minas Gerais.** (no prelo) 2019.

THORNTHWAITE, C.W. **An approach toward a rational classification of climate.** Geogr. Rev, v.38, p.55-94, 1948.

VIEIRA, H.S.; KOHLER, H.C.; TAVARES, V.P. (Org.). **APA Carste de Lagoa Santa – Meio Físico – Volume I.** Belo Horizonte: IBAMA/CPRM, 1998, 301p.

6.2 BALANÇO HÍDRICO EM SISTEMA HIDROGEOLÓGICO CÁRSTICO, REGIÃO DE LAGOA SANTA, MINAS GERAIS

Artigo publicado na revista Águas Subterrânea

RESUMO: A área estudada, APA Carste de Lagoa Santa e seus entornos, localiza-se a 35 km norte de Belo Horizonte e abrange cerca de 505 km². A região tem sido alvo de vários empreendimentos que prevê um aumento pela demanda de água. Diante deste crescimento e da fragilidade do sistema carste é imprescindível o conhecimento do sistema hidrológico, tal como a compreensão do balanço hídrico. Geologicamente, a região é representada por rochas metacalcárias e metapelíticas neoproterozoicas do Grupo Bambuí, com rica densidade de feições de dissolução cársticas que favorecem a recarga e a condução rápida da água. As drenagens da região são afluentes pela margem esquerda do rio das Velhas que funciona como nível de base. O objetivo do trabalho foi realizar o balanço hídrico, com ênfase na recarga aquífera, atentando para a complexa rede de drenagem subterrânea com entradas e saídas do sistema. Informações disponíveis sobre conexões hídricas auxiliaram no modelo de circulação adotado para equacionamento do balanço hídrico. Foram instaladas 6 estações fluviométricas em 6 bacias, monitoradas no ano hidrológico 2016/2017, cujos dados foram empregados no cálculo da recarga aplicando a metodologia de Rutledge e Daniel (1994). O escoamento de base médio das bacias de 91% do total confirma a importância da água subterrânea para o sistema hidrológico e a recarga de 12% da precipitação anual (1010 mm) pode ser adotada como valor mínimo por haver ainda outras saídas hídricas não contempladas no trabalho.

Palavras-chave: APA Lagoa Santa, Balanço Hídrico, Cárstico-fissurais, Recarga.

1 – INTRODUÇÃO

A área considerada, de aproximadamente 505 km², engloba totalmente a região da APA - Carste de Lagoa Santa, alcançando uma área de proteção ambiental de aproximadamente 350 km². A região da APA definida pelo conjunto paisagístico e cultural, composto por um sistema de cavernas e demais formações cársticas, sítios arqueopaleontológicos, com cobertura vegetal e fauna silvestre, cuja preservação é fundamental para o ecossistema da região (VIANA, 1998).

O balanço hídrico em qualquer região resulta nos quantitativos de entrada e saída. Segundo Tucci (2002), é uma aplicação da equação da continuidade de massa em uma região. Em regiões cársticas, além do monitoramento climático e fluvial, é preciso conhecer as

principais rotas de fluxo de água subterrânea. Goldscheider & Drew (2007) afirma que o fluxo subterrâneo em áreas cársticas é muitas vezes independente da topografia, embora geralmente guiado por formações geológicas e estruturais. Portanto, os compartimentos hidrogeológico não necessariamente coincidem com as bacias hidrográficas.

Em termos de recarga, as águas pluviais podem chegar aos sistemas cársticos de quatro maneiras: recarga alogênica, infiltração difusa, escoamento interno e por aquíferos suspensos. Já quanto a descarga, a água retorna à superfície geralmente através de grandes surgências (WHITE, 2002).

Portanto, torna-se necessária a identificação da origem das águas subterrâneas nas sub-bacias estudadas para melhor caracterização do balanço hídrico. A interpretação da origem da água subterrânea e sua relação com a bacia aflorante contribui para uma melhor interpretação dos quantitativos de saída e entrada do sistema.

Para melhor aproximação das características do sistema carste (baixo armazenamento e rápidas respostas a eventos pluviométricos), foi adotado o método de Rutledge e Daniel (1994), que o propuseram por meio de uma curva de recessão média representativa de todo o sistema, a qual é gerada a partir de pequenas curvas de recessão, em resposta a eventos de chuva mais próximos. Costa (2005) aplicou, dentre outros métodos, o método citado em aquíferos granulares, encontrando curvas de recessão mais eficientes para esse. Albuquerque (2009) demonstrou a eficiência do método comparando-o com outros aplicados em aquíferos granulares do Grupo Urucuia, obtendo valores de recarga mais precisos do que os métodos tradicionais.

Devido à fragilidade ambiental deste sistema cárstico e uso extensivo dos recursos hídricos, propôs-se quantificar um balanço hídrico para possibilitar a individualização da participação de cada sub-bacia.

O estudo objetivou o equacionamento das entradas e saídas de água do sistema, discretizando os aportes externos, a recarga, as descargas naturais normais e atípicas ao fluxo, e as descargas por bombeamento. Esse balanço hídrico foi comparado com o balanço hídrico climático realizado, pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), para se verificar a aplicabilidade desse método clássico, amplamente empregado, nesse tipo de sistema, um carste ativo, bem desenvolvido e interconectado.

2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ÁREA DE ESTUDO

A área possui cerca de 505 Km² e dista 35 km a norte de Belo Horizonte, envolvendo parcial ou integralmente os municípios de Lagoa Santa, Vespasiano, Funilândia, Confins,

Matozinhos, Pedro Leopoldo e Prudente de Morais, e engloba por completo a região denominada APA Carste de Lagoa Santa e entornos (Fig. 1).

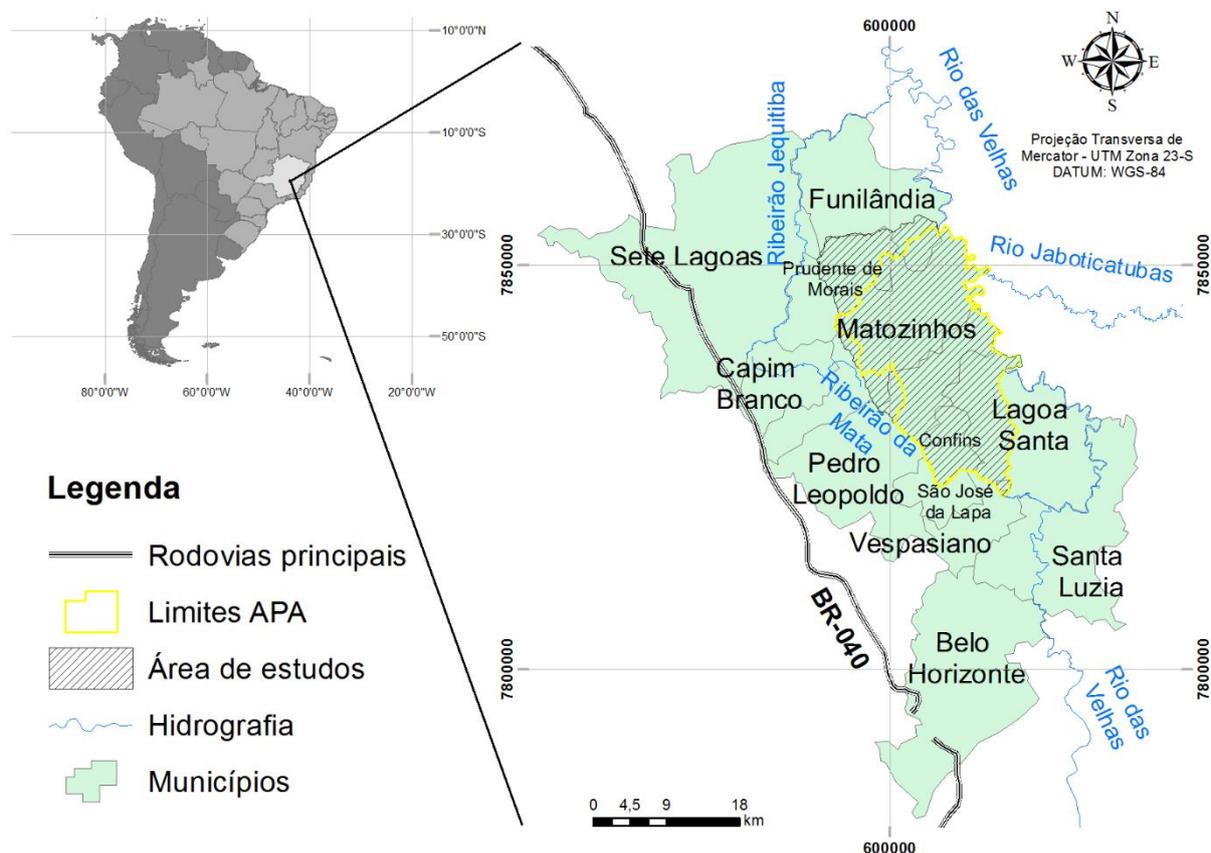


Figura 1: Mapa Localização da Área de estudo com destaque para os limites da APA Carste em amarelo.

HIDROGRAFIA - A área insere-se na margem esquerda do rio das Velhas, flanqueando-a nas suas porções nordeste e leste, o qual atua como nível de base, com cotas de 630 m a 660 m. A sudoeste e oeste, a área é balizada pelo Ribeirão da Mata, afluente do rio das Velhas logo a montante da área (Fig. 2). A Tabela 1 exhibe as dimensões das bacias, destacando as monitoradas. Seis delas drenam direta ou indiretamente para o rio das Velhas pelos cursos d'água homônimos, os quais são: Palmeira, Jaguará, Escrivânia, Gordura, Jaque e Flor; enquanto o córrego Samambaia imerge em um sumidouro próximo ao rio das Velhas, porém o destino do fluxo é ainda desconhecido.

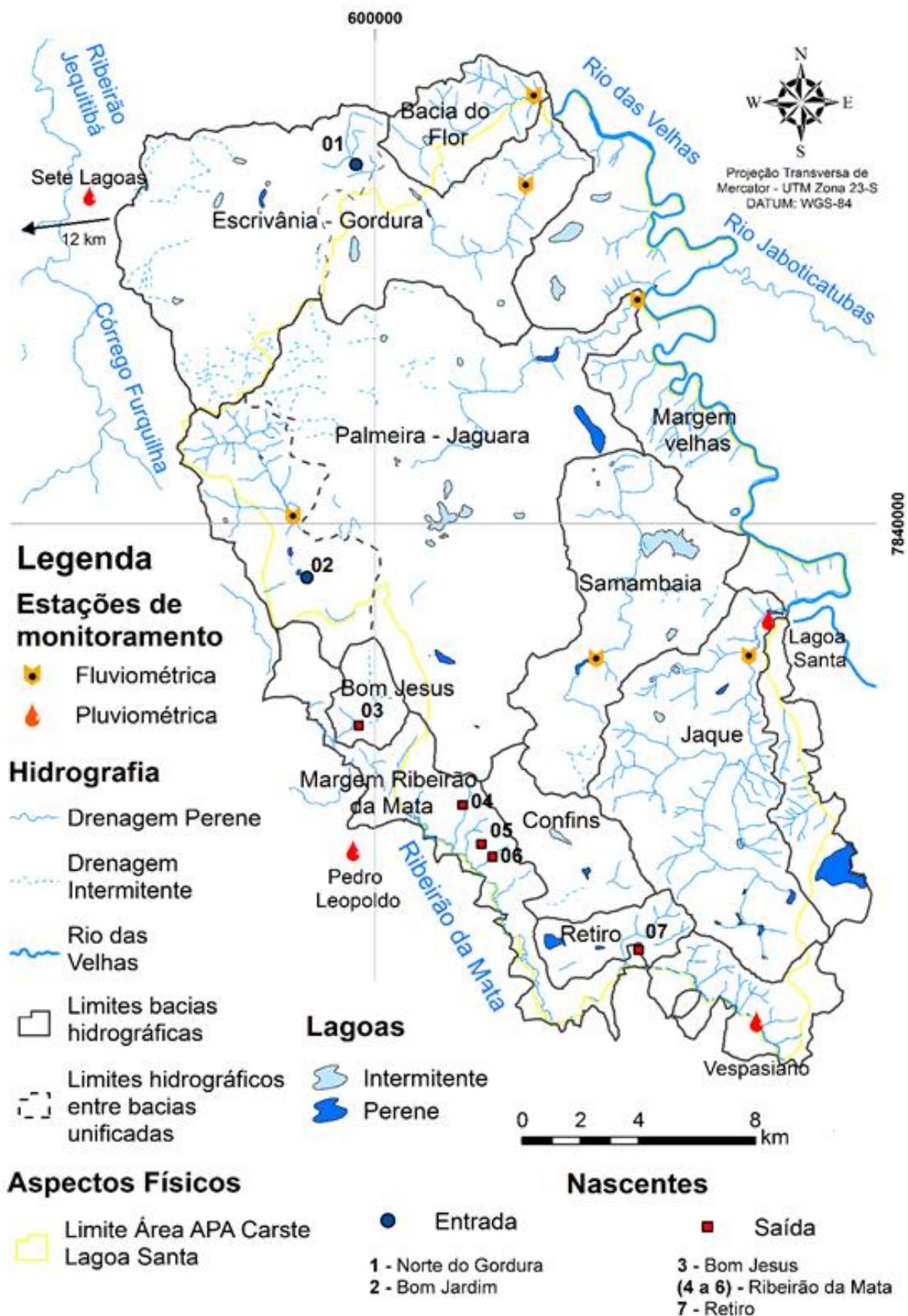


Figura 2: Mapa hidrográfico e dos pontos de aquisição dos dados hidrológicos realçando as nascentes de entradas e saídas água da área de estudo.

A bacia Escrivânia é completamente fechada e possui apenas uma importante descarga por uma surgência cárstica, que percorre superficialmente 500 m e ressurge na bacia Gordura, formando assim um compartimento único denominado Escrivânia-Gordura (VELÁSQUEZ *et. al.*, 2018).

Igualmente ocorre com o córrego Palmeira que drena superficialmente numa bacia fechada, recebendo a maior contribuição de uma surgência cárstica na porção baixa da bacia, imergindo em um sumidouro e ressurgindo na bacia Jaguará. Nesta mesma bacia, outro sumidouro drena água da nascente da Lagoa Bom Jardim (2 da Fig. 2), ressurgindo também na bacia Jaguará. Essas conexões formam um compartimento único, denominado de Palmeira-Jaguará (AULER, 1994).

As demais bacias são, ou completamente fechadas, sem drenagem de imersão conhecida (Confins), ou parcialmente fechadas, drenando através de surgências cársticas diretamente para o Ribeirão da Mata (3 Bom Jesus e 7 Retiro Fig. 2). Ocorrem ainda drenagens marginais diretas para o Velhas e Ribeirão da Mata (4, 5, 6 da Fig. 2), a maioria em sedimentos de cobertura, mas também ocorrem surgências cársticas caudalosas. Embora ainda sem comprovação, há fortes indícios de que todas as surgências cársticas drenantes para a bacia do Ribeirão da Mata funcionam como pontos de descargas (atípicas) oriundas das porções interiores da área estudada, devendo ser relevadas no balanço hídrico.

À exceção do Jaque e Flor, que drenam parcialmente sobre os metapelitos (Fig. 3), as demais se encontram predominantemente em terreno cárstico e as marginais em sedimentos de coberturas (Tab.1).

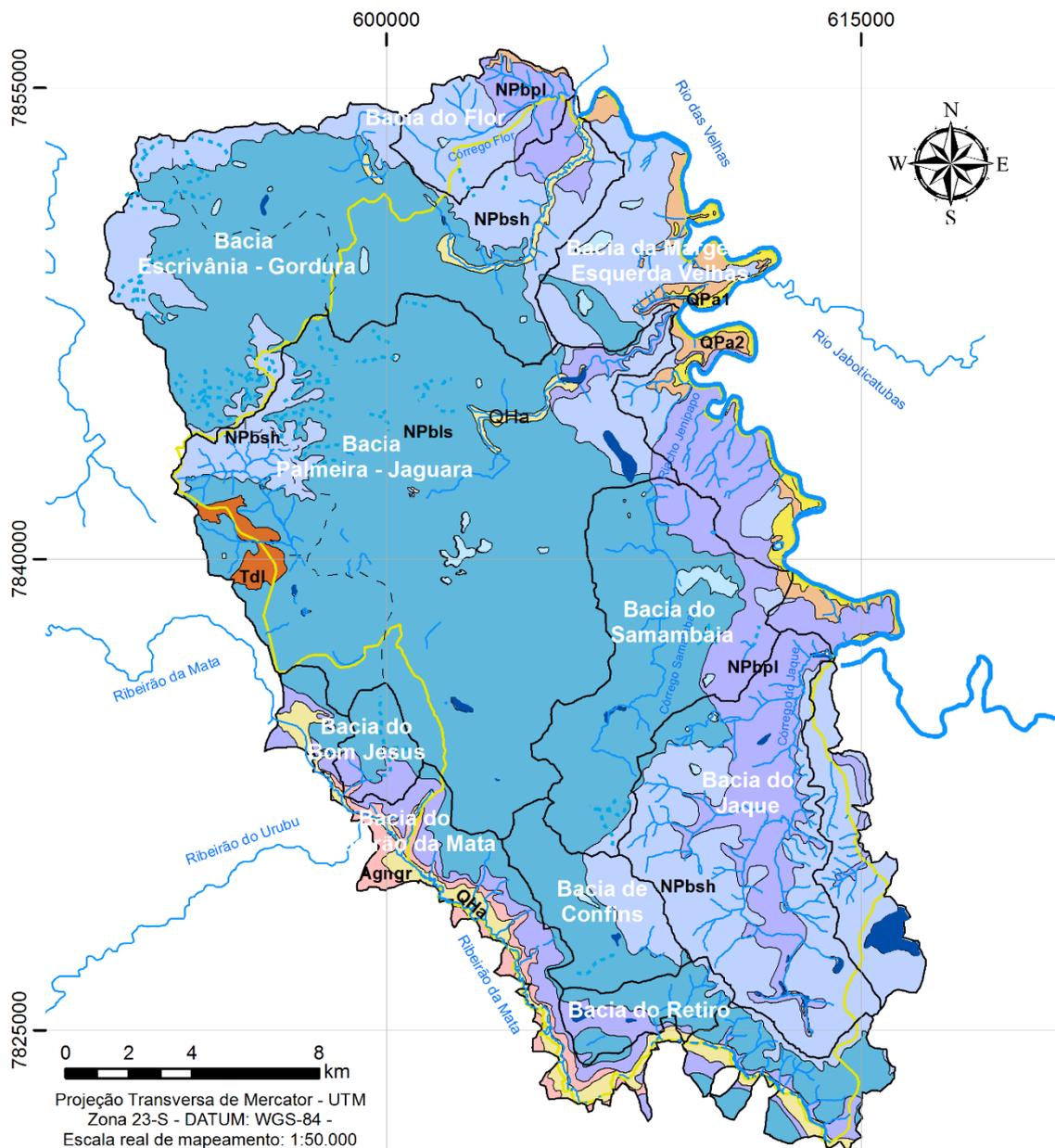
Tabela 1: Características das bacias hidrográficas monitoradas e não monitoradas.

Bacias	Área (Km ²)	Comprimento do córrego (Km)	Litologia
Bom Jesus *	7	3,5	Calcário
Retiro *	10	4,0	Calcário
Flor	16	5,0	Pelito - Calcário
Confins *	18	0,0	Calcário
Palmeira	31	6,0	Calcário
Margem Rib. da Mata	38	--	Coberturas
Gordura	39	14,0	Calcário
Samambaia	48	9,0	Calcário
Escrivânia *	57	0,5	Calcário
Margem Velhas *	57	--	Coberturas
Jaque	59	17,0	Pelito - Calcário
Jaguará	125	14,0	Calcário

Em negrito - bacias monitoradas; * bacias não monitoradas

GEOMORFOLOGIA – A área é formada por terrenos carbonáticos desenvolvidos, com abundância de feições de dissolução como maciços fraturados, sumidouros, dolinas, surgências caudalosas, dutos e cavernas. Conforme Pessoa (2005), as três primeiras representam um indicativo de um sistema cárstico desenvolvido, favorecendo a recarga aquífera pluvial.

GEOLOGIA - A área de estudo abrange, da base para o topo, o Complexo Gnássico-Granítico-Migmatítico Belo Horizonte, sobreposto pelas rochas carbonáticas e siliclásticas da sequência transgressiva-regressiva do Grupo Bambuí, formada pelas Formações Sete Lagoas e Serra de Santa Helena. O topo da sequência é constituído pelas Coberturas Cenozoicas (Ribeiro *et al.*, 2003) (Fig. 3). Estruturalmente, os contatos entre as unidades se apresentam de forma brusca e discordante, podendo também ocorrer por descolamento basal e com indicadores cinemáticos apontando o movimento reverso. Galvão *et al.* (2016) sugere, a partir de perfis litológicos de poços, a existência de falhas responsáveis por deslocar as sequências inferiores e as posicionar em contato com sequências superiores nas proximidades da região.



Legenda

Hidrografia

- Perene
- Intermitente
- Rio das Velhas
- Ribeirão da Mata
- Limite das bacias hidrográficas
- Limites hidrográfico das bacais incorporadas

Lagoas - Levantamento 1:25.000

- Intermitente
- Perene

Aspectos Físicos

- Limite - APA Carste Lagoa Santa

Unidades Litoestratigráficas

Coberturas Cenozóicas

- QHa Aluvião: cascalho fino a grosso, areia fina a grossa, silte e argila
- QPa1 Terraço aluvial: sedimentos areno-argilosos com grânulos de quartzo
- QPa2 Terraço aluvial: sedimentos conglomeráticos, arenosos e argilosos inconsolidados
- Tdl Coberturas Detrito-Lateríticas: solo laterítico, areno-argiloso, concreções ferruginosas, fragmentos de quartzo

Neoproterozóico

- NPbsh Fm. Serra de Santa Helena: pelitos, arenitos, lentes carbonáticas, margas e calcarenitos finos
- NPbpls Fm. Sete Lagoas - Membro Lagoa Santa: calcarenitos com intercalações de calcissiltitos, estromatólitos
- NPbpl Formação Sete Lagoas - Membro Pedro Leopoldo: calcissiltitos, calcarenitos finos

Arqueano

- Agngr Migmatitos, granitóides, gnaisses a hornblenda; biotita gnaiss diopsídio- anfibólio-gnaiss

Figura 3: Mapa Geológico (adaptado de RIBEIRO *et al.*, 2003) evidenciando as bacias hidrogeológicas detalhadas no trabalho.

HIDROGEOLOGIA - Os aquíferos cársticos semi-confinados a livres são predominantes, sendo bastante produtivos e vulneráveis. A conformação desses aquíferos está vinculada à presença dos carbonatos com feições de dissolução como dolinas em superfície e cavernas em profundidade, as quais, de maneira interligada, formam uma rede de dutos e fendas alargados pela ação da água (VIANA, 1998).

O embasamento, representado por uma aquífero fissural de baixo potencial, aflora restritamente na borda da bacia, nas porções oeste e sul.

A unidade aquífera formada pela formação Sete Lagoas é constituída pelos calcários impuros de granulometria fina cor cinza claro subordinados a calcarenitos e margas do membro Pedro Leopoldo, e o membro Lagoa Santa, sobreposto, consiste de calcários puros de granulometria grossa e cor mais escura. Perfis de poços tubulares próximos ao rio das Velhas mostram espessuras superiores a 300 m desta unidade aquífera, apresentando fluxo predominantemente para o rio das Velhas. Conforme detalho por Velásquez *et. al.* (2018), o Mb lagoa Santa apresenta o maior potencial hídrico deste aquífero, as principais feições carsticas, maiores permeabilidades e principais zonas de recarga.

A unidade aquífera da formação Serra de Santa Helena encerra os metapelitos intemperizados, formando aquíferos ou localmente aquíferos pobres. Esta unidade geológica e as coberturas cenozoicas podem atuar localmente como zonas de recarga localizada para os aquíferos sotopostos (PESSOA, 2005).

CLIMA - os valores climáticos médios anuais, com base nos anos de 1961 a 1990, da Estação Lagoa Santa, são: Precipitação: 1287 mm, Evapotranspiração Real: 996 mm (77%), Excedente Hídrico: 291 mm (22,6%) e *Deficit*: 99 mm (8%) (VIANA, 1998).

3. MÉTODOS

Todos os dados hidrológicos monitorados corresponderam ao ano hidrológico, outubro/2016 a setembro/2017. O estudo foi realizado segundo os métodos detalhados abaixo:

i) Monitoramento fluviométrico das bacias (Tab. 1; Fig. 2) por meio de transdutores de pressão, com leitura automática a cada 15 min., nos locais de mais baixo curso possível. As curvas chaves elaboradas seguiram padrão gráfico internacional da relação de variação da cota (h) com a vazão (Q) - h/Q , (FILHO *et al.*, 2001; TUCCI, 2002; PISCOYA *et al.*, 2013).

Com as vazões obtidas, foi possível relacionar estes dados com a área das bacias obtendo as vazões específicas. Em caso das nascentes monitoradas, adotou-se a vazão específica aparente por ter sido realizado apenas a medida de vazão na máxima estiagem no ano de 2017.

ii) Obtenção da recarga aquífera: foi adotado o método de Rutledge e Daniel (1994), que propuseram o deslocamento dos vários pequenos períodos de recessão do hidrograma, compondo a curva mestra de recessão (CRM – Fig. 4), a partir da qual obteve-se o índice de recessão médio e, conseqüentemente, a recarga. O valor de recarga, tal como os valores de escoamento, terá seu percentual relacionado à pluviometria anual ($P = 1010 \text{ mm}$) da região. Com os dados de escoamento foi realizado a razão entre escoamento subterrâneo e total para obtenção do potencial hídrico e índice de fluxo de base de cada bacia.

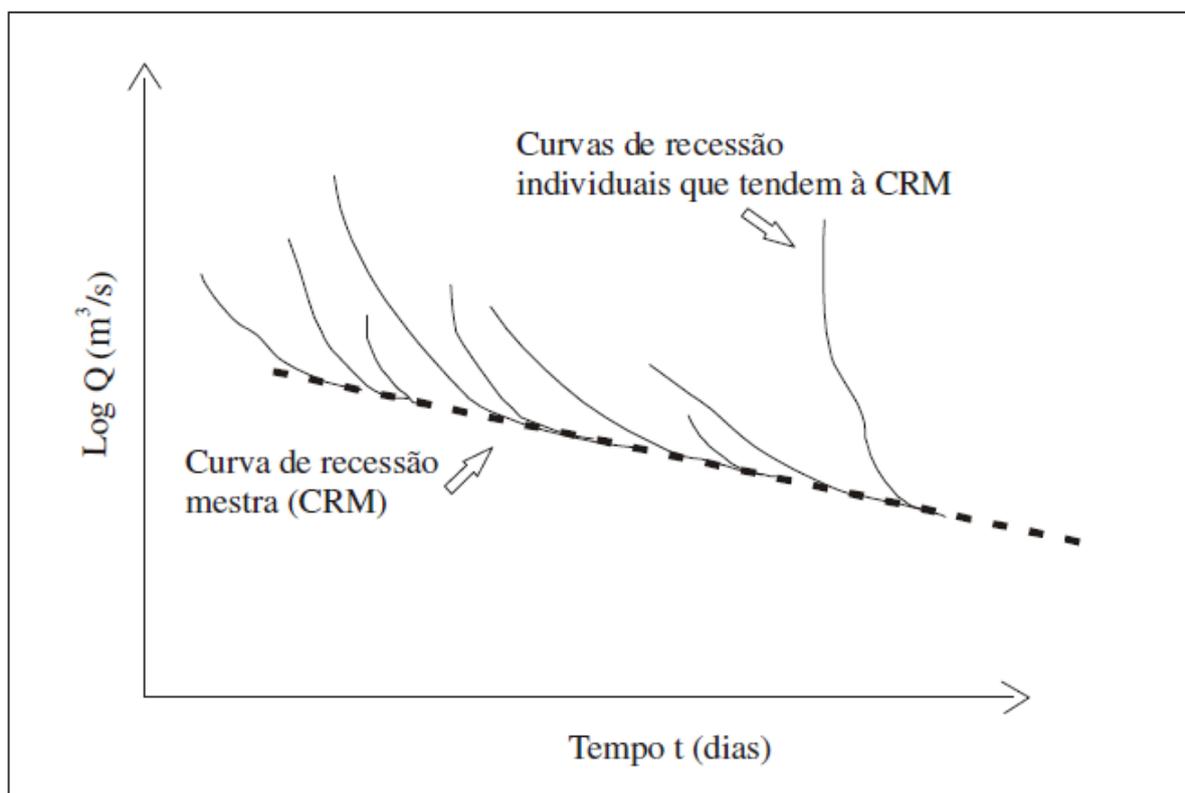


Figura 4: Típica curva de recessão mestra evidenciando as curvas individuais – (retirado de COSTA, 2005).

Tal método é adequado ao sistema cárstico pois consiste em analisar todas as curvas de recessão formadas por eventos de chuvas pelo ajuste de uma única reta de tendência (curva de recessão média), porquanto as respostas das vazões aos eventos pluviais em terrenos carbonáticos são quase imediatas e se desfazem rapidamente. O método foi aplicado automaticamente, eliminando a subjetividade na separação dos hidrogramas e da recarga. Para

tanto, foi adotado o software USGS GW-Toolbox desenvolvido por Barlow *et al.* (2014) e Barlow *et al.* (2017). A partir dos programas internos, HYSEP, RECESS e RORA, calculou-se os hidrogramas e escoamentos; a CRM e a Recarga, respectivamente.

iii) Realização do Balanço Hídrico Climatológico (VELÁSQUEZ *et al.*, 2018), que resultou nos dados de Evapotranspiração Real (ETR), Excedente Hídrico (EXC), o qual traduz o escoamento superficial e subterrâneo indistintamente, *Deficit* Hídrico (DEF) e o Armazenamento (ARM). Utilizou-se o método de Thornthwaite e Mather (1955), e Thornthwaite (1948), para o cálculo da ETR. Os dados de temperatura derivaram da estação meteorológica de Sete Lagoas (Código OMM: 8670), 12 km da área, e a pluviometria, de 4 estações dentro da região, todos disponíveis nos sites do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2017) ou da Agência Nacional de Águas – ANA (2017). Os cálculos foram tratados nas planilhas eletrônicas de Rolim (1998) por ser aplicável a diferentes tipos de climas com exigência de um número mínimo de dados meteorológicos existentes.

4. RESULTADOS

FLUVIOMETRÍA – a vazão aumenta e diminui quase imediatamente aos eventos pluviométricos, denotando baixo armazenamento e alta velocidade dos fluxos na porção superior dos aquíferos, predominando a atuação dos dutos cársticos (Fig. 5). Encontraram-se 3 níveis de vazão (Tab. 2); i) caudalosas, com médias de 0,744 m³/s e 0,695 m³/s, dos sistemas Escrivânia-Gordura e Palmeira-Jaguara, respectivamente; ii) intermediárias, 0,180 m³/s e 0,159 m³/s, do Jaque e Samambaia, respectivamente e iii) baixas, 0,008 m³/s, do Flor.

Salienta-se o comportamento mais uniforme do córrego samambaia (Fig. 6) devido a regularização da vazão causada por barramento a montante do ponto monitorado. O córrego Flor é afetado por captações a fio d'água, chegando a secar na estiagem.

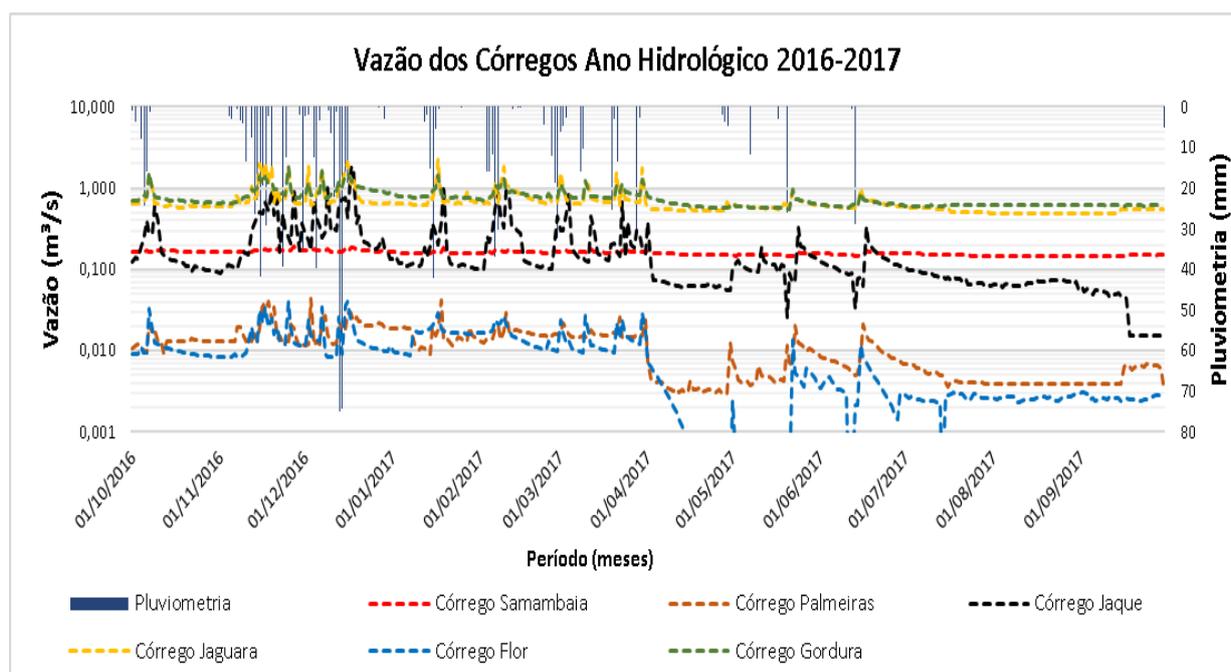


Figura 5: Vazões dos Córregos monitorados e relação com a pluviosidade da estação Lagoa Santa (código – 1943049).

Distinguiram-se 3 níveis de Vazão Específica (Q/s) (Tab. 2), que, com exceção do sistema Palmeira-Jaguara, seguiram a mesma tendência de vazão: i) alta ($0,0053 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$); ii) média ($0,0031$ a $0,0033 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$) e iii) baixa ($0,0005 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$). Destaca-se a bacia Escrivânia-Gordura por apresentar a maior Q/s ($0,0053 \text{ m}^3/\text{s}/\text{Km}^2$) mesmo sem aporte externo da surgência. Tal produção seria de $0,0077 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ se considerado o suposto aporte de água externo ao sistema através da surgência cárstica de $0,23 \text{ m}^3/\text{s}$ (1 da Fig.2) (VELÁSQUEZ *et al.*, 2018), configurando uma vazão específica aparente, Q/sap .

Tabela 2: Vazão específica do escoamento total das bacias.

Bacias	Área (km ²)	Q.média (m ³ /s)	DP Q.	Q/s (m ³ /s/km ²)	Q/sap. (m ³ /s/km ²)
Palmeira	31	0,011	0,0058	0,0004	--
Palmeira/Jaguara*	156	0,695	0,151	0,0032	0,0045
Jaguara	125	0,684	0,134	0,0055	--
Gordura	39	--	--	--	0,0089
Escrivânia	57	--	--	--	0,0027
Escrivânia/Gordura*	96	0,744	0,0014	0,0053	0,0077
Jaque	59	0,18	0,119	0,0031	--
Samambaia	48	0,159	0,008	0,0033	--
Flor	16	0,008	0,006	0,0005	--
Bom Jesus	7	--	--	--	0,003
Retiro	10	--	--	--	0,0112
Confins	18	--	--	--	***
Margem Rib. da Mata	38	--	--	--	0,001
Margem Velhas	57	--	--	--	--
Média	42	0,2084	0,0546	0,0026	0,0054
Total	505	--	--	--	--

*Os dados da bacia unificada não foram contemplados na Média e no Total para não haver dupla contagem. Q (vazão média); DP (desvio padrão); Q/s (vazão específica); Q/sap. (vazão específica aparente); em negrito - entram no cálculo da Média e do Total.

As bacias Samambaia, Palmeira-Jaguara e Jaque possuem valores médios de Q/s (0,0033 a 0,0031 m³/s/km²) respectivamente. A produção do Palmeira-Jaguara saltaria para 0,0045 m³/s/Km² se considerado o suposto aporte de água externo ao sistema através de uma surgência denominada Lagoa Bom Jardim de 0,191 m³/s (2 da Fig. 2).

A bacia do Flor apresentou uma ínfima Q/s, 0,0005 m³/s/km², explicada pela forte captação no curso, pelo predomínio de pelitos e pela presença de feições de recarga (maciços e depressões) apenas na porção baixa da bacia.

A característica das bacias correlatas é a presença de surgências caudalosas de aporte externo drenando para dentro destas bacias, 0,421 m³/s (somatório das nascentes 1 e 2 da Fig. 2); ou para fora do sistema global por meio dessas bacias: 0,171 m³/s (somatório das nascentes 3, 4, 5, 6 e 7 da Fig. 2). Embora exista outras surgências de vazões menores saindo pela margem do Velhas, não se pode medi-las por formarem regiões brejadas com fluxo lento ou por desaguiarem diretamente em lagoas sem uma seção adequada.

RECARGA – a análise dos escoamentos mostra um escoamento total de 194 mm (19,2% do total pluviométrico P – 1010 mm), um índice do fluxo de base (BFI) entre 73% e 99% do escoamento total entre as bacias (Tab. 3; Fig. 6), e um escoamento superficial de 18 mm (1,8% da P – 1010 mm). Tal resultado é bastante coerente com a hidrologia predominantemente subterrânea, com baixa densidade de drenagem superficial (Fig. 2).

Tabela 3: Relação da água subterrânea com escoamento total das bacias.

Bacias	Área (km ²)	BFI (%)	Escoamento Total (mm)	Escoamento Subterrâneo (mm)	Escoamento Superficial (mm)
Jaque	59	73	66	48	18
Flor	16	79	3	2	0,6
Escrivânia-Gordura	96	89	281*	251*	30
Gordura	39	94	281*	264*	17
Palmeira-Jaguara	156	96	231*	221*	10
Palmeira	31	85	4,3	3,7**	0,6
Jaguara	125	96	231	221*	10
Samambaia	48	99	59	58	0,9
Total Ponderado	375	91	194	176	18

* inclui cerca de 30% de aporte externo; BFI: índice do fluxo de base; **não inclui o aporte externo de surgência cárstica de Bom Jardim, o qual é conectado à bacia Jaguara onde é medido no sistema Palmeira-Jaguara; em negrito - entram no cálculo Ponderado.

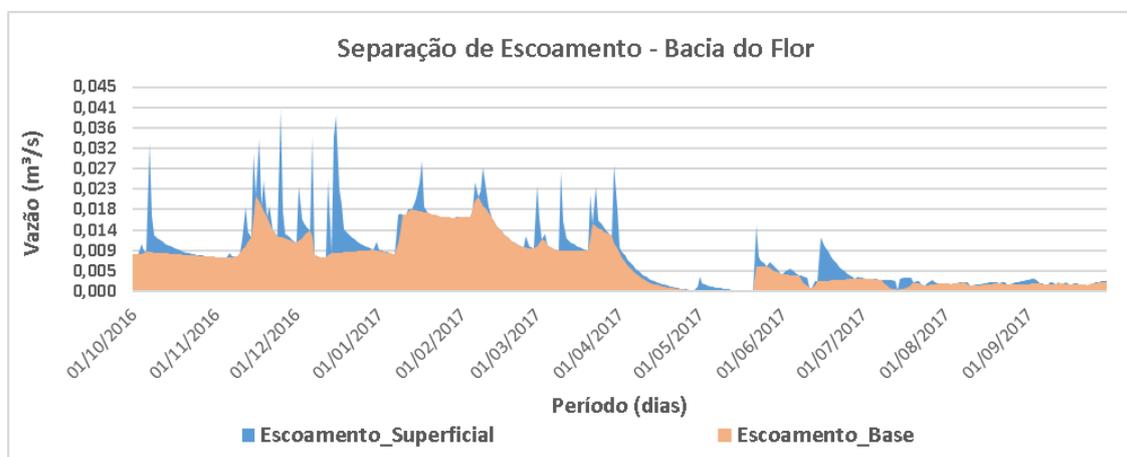


Figura 6a: Hidrograma da bacia do Flor.

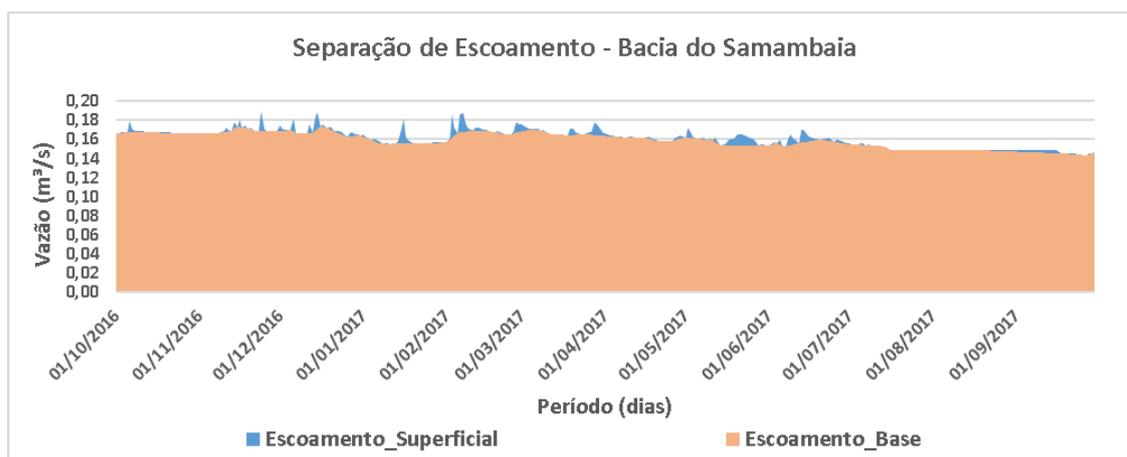


Figura 6b: Hidrograma da bacia do Samambaia.

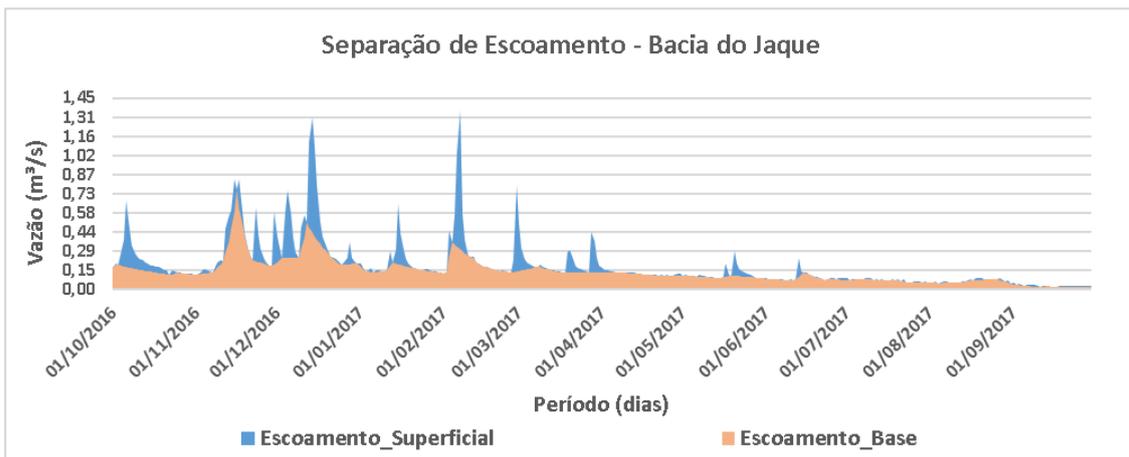


Figura 6c: Hidrograma da bacia do Jaque.

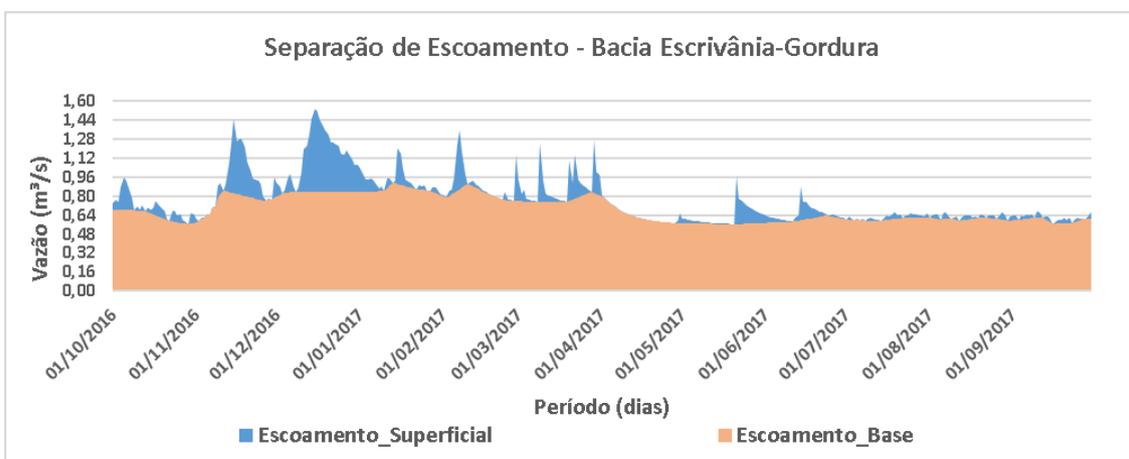


Figura 6d: Hidrograma da bacia do Escrivânia-Gordura.

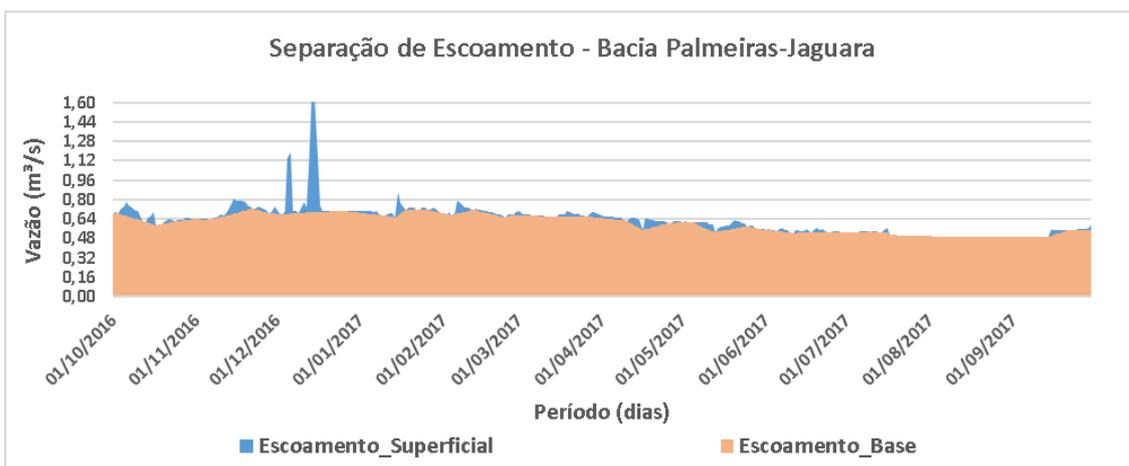


Figura 6e: Hidrograma da bacia do Palmeiras-Jaguara.

Figura 6: Separação dos hidrogramas das bacias pelo programa HYSEP.

O elevado índice do fluxo de base (BFI) da bacia Palmeira-Jaguara (96%)_corroborar o elevado grau de carstificação, fato atestado pela presença de grande densidade de sumidouros nesta região mapeados por Silva *et al.* (1987), que garantem ótimas condições de recarga aquífera, corroborado pelo seu alto valor de escoamento subterrâneo (221 mm).

O BFI da bacia do Escrivânia-Gordura é de 89%, com o maior escoamento subterrâneo, de 251 mm (Tab. 3). O maior escoamento superficial (30 mm) se deve ao fato que 59% desse sistema pertencer a bacia de Escrivânia (Fig. 2), completamente fechada, sem produção de drenagem superficial, com exceção de uma surgência, conforme explicado anteriormente. Esse escoamento superficial cai para 17% quando desconsidera a bacia de Escrivânia (Tab. 3).

Ressalta-se que ambos os sistemas de bacias citadas possuem um aporte externo mínimo, medido na estiagem, de aproximadamente 30%.

O alto BFI da bacia do Samambaia (99%) está sendo superestimado devido à regularização da vazão, conforme já mencionado. Apesar dos elevados valores encontrados em razão da regularização por barramento, os dados desta bacia foram considerados para os cálculos de recarga.

Na bacia do Jaque, o valor mais baixo de BFI (73%) é coerente com a litologia metapelítica predominante, onde as drenagens percorrem.

Na bacia Flor, o escoamento subterrâneo de 2 mm para um escoamento total de 3 mm, evidencia as intensas retiradas por poços tubulares e por captações a fio d'água, chegando a secar o córrego, não representando o comportamento natural da bacia.

O número das pequenas recessões em resposta aos eventos pluviométricos identificados variou de 20 a 23, e os índices de recessão (K) obtidos pelo programa RECESS foi de 19 a 240 dias/ciclo log, cujas influências sobre esses valores estão apontadas na Tabela 4.

Tabela 4: Cálculo dos Índices de recessão das bacias.

Bacias	Nº de Eventos de Recessão	Índice de Recessão - K (dias/ciclo log)	Principais influências sobre S
Palmeira-Jaguara	23	178	Alto armazenamento
Escrivânia-Gordura	20	68	Alta velocidade de escoamento
Samambaia	21	240	Efeito do barramento artificial
Flor	20	19	Baixo armazenamento
Jaque	22	20	Baixo armazenamento

A partir dos dados de recessão e escoamento básico, calculou-se os valores de recarga líquida anual pelo programa RORA (Tab. 5), resultando em 12 a 164 mm para a recarga, isto

é, sem o aporte externo de cerca de 30% em duas delas. Nas bacias monitoradas, a recarga foi de 108 mm ou 11% da precipitação, não incorporando os volumes descarregados para fora do sistema. Esse valor mínimo será admitido nas demais bacias não monitoradas.

Tabela 5: Recarga nas bacias monitoradas em relação à pluviometria de 1010 mm.

Bacias	Área (km ²)	Recarga Bruta (mm)	Rec. Bruta/Pluv. (%)	Recarga Líquida (mm)	Rec Líq./Pluv. (%)
Bacia do Flor	16	12	1,2	12	1,2
Escrivânia-Gordura	96	234*	21,3	164**	16,2
Gordura	39	596*	59	179**	18,0
Palmeira-jaguara	156	140*	13,5	98**	9,7
Samambaia	48	104	10,4	104	10,4
Jaque	59	72	7,1	72	7,1
Média	--	113	10,6	90	8,9
Total Ponderado (exceto Gordura)	375	143	12,2	108	10,7

* com aporte externo; ** sem o aporte externo

A bacia do Escrivânia-Gordura destacou-se pelo maior percentual de recarga, 16,2% da precipitação (164 mm), seguida do Samambaia e Palmeira-Jaguara, com 10,4% (104 mm) e 9,7% (98 mm), respectivamente. A bacia do Jaque obteve o menor valor desse percentual, 7,1% (72 mm), devido à cobertura pelítica. Já a bacia do Flor apresentou valores insignificantes, 1,2% (12 mm), por se apresentar extremamente antropizada.

BALANÇO DE MASSA – a retirada de água dos poços tubulares e dos córregos foi avaliada. Velásquez *et al.* (2018) realizou um cadastro de 380 poços, os quais possuíam uma média de operação de 12 h/d. Para as captações superficiais, foi admitida uma retirada de 8 h/d. A partir destes dados, estimou-se a retirada de água por bacia (Tab. 6).

Tabela 6: Balanço de massa com as retiradas por poços e captações a fio d'água.

Bacias	Área (km ²)	Núm. Poços	Q Mediana poços (m ³ /h)	Q Total poços (m ³ /h)	Q superficiais (m ³ /h)	Captações poços (mm/ano)	Captações córregos (mm)
Palmeira	31	29	9,2	357,2	--	50	--
Flor	16	2	5,2	10,4	--	3	--
Jaque	59	74	9,2	902,3	--	67	--
Samambaia	48	22	10	398,1	--	36	--
Palmeira/Jaguara*	156	80	9,2	921	--	26	--
Jaguara	125	51	10	583,1	--	20	--
Escrivânia/Gordura*	96	24	12,5	251,7	75	11	2
Bom Jesus	7	5	4,8	26,5	--	17	--
Retiro	10	19	10,7	734,1	--	322	--
Confins	18	35	10	849,7	73	207	12
Margem Rib. da Mata	38	79	9,3	1727,9	194	199	15
Margem Velhas	57	40	9,3	1015,6	43	78	2
Média	46	35	9,1	623,32	96	92	31
Total área global	505	380	--	6856,5	385	119	2

*Os dados da bacia conjunta, não foi contemplado na média e no total para evitar dupla contagem; em negrito - bacias não monitoradas.

As bacias não monitoradas apresentam retiradas consideravelmente maiores por poços tubulares do que as monitoradas (Tab. 6), graças à maior densidade de poços junto aos centros urbanos na metade sul da área.

A Tabela 7 sintetiza os valores do balanço entre a recarga líquida e a saída de água por bombeamento e captação superficial. Atenta-se para os *déficits* importantes (-214 mm a -106 mm) verificados nas bacias de maior extração, Retiro, Confins e Margem Ribeirão da Mata. As demais tiveram os *superávits*: alto, de 150 mm (Escrivânia-Gordura), médio, de 68 mm, 72 mm e 91 mm (Samambaia, Palmeira-Jaguara, Bom Jesus, respectivamente) e baixo, de 4 mm, 9 mm e 28 mm (Jaque, Flor e Margem Velhas, respectivamente). No geral, a área registrou um *déficit* de -13 mm, influenciado pelas bacias da região sul.

Tabela 7: Recarga líquida, saídas de água das bacias e balanço hídrico.

Bacias	Área (km ²)	Recarga Líquida pluvial (mm/ano)	Vol. recarga Líquida pluvial (m ³)	Saída poços (mm/ano)	Saída captações em córregos (mm)	Balanço Entradas-Saídas (mm)
Palmeira	31	--	--	--	--	--
Palmeira/Jaguara*	156	98	15.288.000	26	--	72
Gordura	39	--	--	--	--	--
Escrivânia/Gordura*	96	164	15.744.000	12	2	150
Flor	16	12	192.000	3	--	9
Jaque	59	71	4.189.000	67	--	4
Samambaia	48	104	4.992.000	36	--	68
Jaguara	125	--	--	--	--	--
Escrivânia	57	--	--	--	--	--
Bom Jesus	7	108**	756.000	17	--	91
Retiro	10	108**	1.080.000	322	--	-214
Confins	18	108**	1.944.000	207	12	-111
Margem Rib. da Mata	38	108**	4.104.000	199	15	-106
Margem Velhas	57	108**	6.156.000	78	2	28
Média	42		5.445.000	104	30	-0,9
Total área global	505	108	54.445.000	119	2	-13

*Os dados da bacia conjunta, não foram contemplados na média e no total para evitar dupla contagem; ** valor adotado da recarga líquida das bacias monitoradas da Tabela 5

No balanço de massa (recarga líquida) apresentado na tabela 7, foram consideradas como entradas a precipitação de 1010 mm e as duas surgências cársticas 1 e 2 (Fig. 7 e Tab. 8), com valores de 828 m³/h e 691 m³/h respectivamente, somando 1519 m³/h ou 26 mm para a área. As saídas contabilizadas são representadas pela extração dos poços tubulares, 6.856,5 m³/h ou 119 mm (Fig. 7 e Tab. 8); as captações superficiais, totalizando 385 m³/h ou 2 mm (Fig.7 e Tab.8); e as descargas para o Ribeirão da Mata, que descarregam através das surgências

3 (76 m³/h); 4 (25 m³/h); 5 (15 m³/h); 6 (122 m³/h) e 7 (404 m³/h) (Fig. 7 e Tab. 8), totalizando 642 m³/h ou 11 mm para a área total.

A Tabela 8 e Figura 7 resume o balanço hídrico com os quantitativos das entradas e saídas.

Tabela 8: Balanço hídrico geral da área a partir dos dados monitorados.

	Entradas (mm)	Saídas (mm)	Balanço Hídrico (mm)
Pluviometria	1010	--	--
Surgências cársticas 1 e 2	26	--	--
Surgências cársticas 3 a 7	--	-11	--
Captações Poços Tubulares	--	-119	--
Captações superficiais	--	-2	--
Escoamento Total (sup + subt)	--	-194	--
Total sob condições antropizadas	1036	-326	710
Total sob condições naturais	1036	-205	831

Num cenário sob condições naturais, em que as saídas de origem antrópica não ocorrem, a descarga bruta natural total é de 194 mm (19,2% da P – 1010 mm), na proporção de 1,1/1,0 (escoamento total/escoamento subterrâneo). Entretanto, desse montante total, devem ser subtraídos 26 mm oriundos das surgências caudalosas 1 e 2 (Fig. 7), resultando num escoamento total natural de 168 mm. Aplicando-se a proporção acima, o escoamento subterrâneo seria corrigido para 152 mm e o superficial para 16 mm. Esse escoamento total (168 mm) ficou aquém do estimado pelo balanço climático (260 mm) em 92 mm. Esse fato pode ser adotado como verdadeiro, visto que a prática de captações a fio d'água e não outorgados são frequentes na região.

A recarga aquífera foi avaliada em 108 mm (11% da P – 1010 mm), Tabela 5, porém, os escoamentos das descargas naturais 3 a 7 (11 mm, Tab. 8) são uma parcela dessa recarga, que, ajustada, corresponde a 119 mm (12% da P – 1010 mm). Tal valor de recarga, representando 7,4 vezes o valor do escoamento superficial corrobora as excelentes condições de infiltração, como os abundantes maciços fraturados, sumidouros e dolinas.

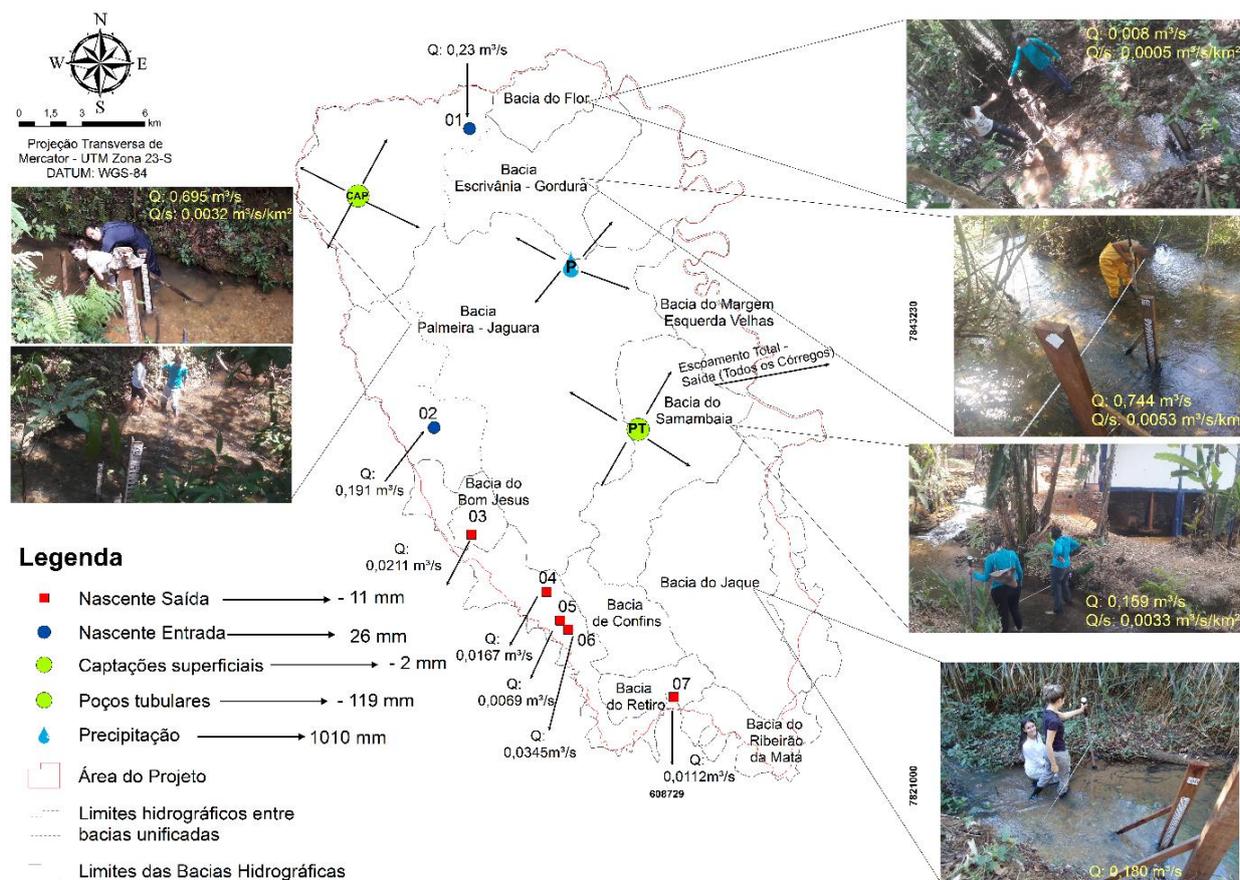


Figura 7: Croqui esquemático do balanço hídrico global com destaque para nascentes de entradas e de saídas de água externas ao sistema estudado.

Do escoamento subterrâneo, há ainda um excedente de 33 mm que pode ser total ou parcialmente incorporado à recarga aquífera, pois diversas outras surgências na margem do rio das Velhas não puderam ser medidas. Considera-se ainda recargas de maciços calcários para zonas aquíferas mais profundas de baixa conexão com a rede de circulação superior que facilita as descargas monitoradas.

Assim, a recarga encontrada, deve ser considerada como um valor mínimo.

A pluviometria de Thiessen, 1033 mm (VELÁSQUEZ *et. al.*, 2018), obtida a partir de dados mensais de precipitação e temperatura resultou que as estações de Lagoa Santa e Pedro Leopoldo exercem maior influência, 50% e 25% na área, respectivamente (Fig. 8).

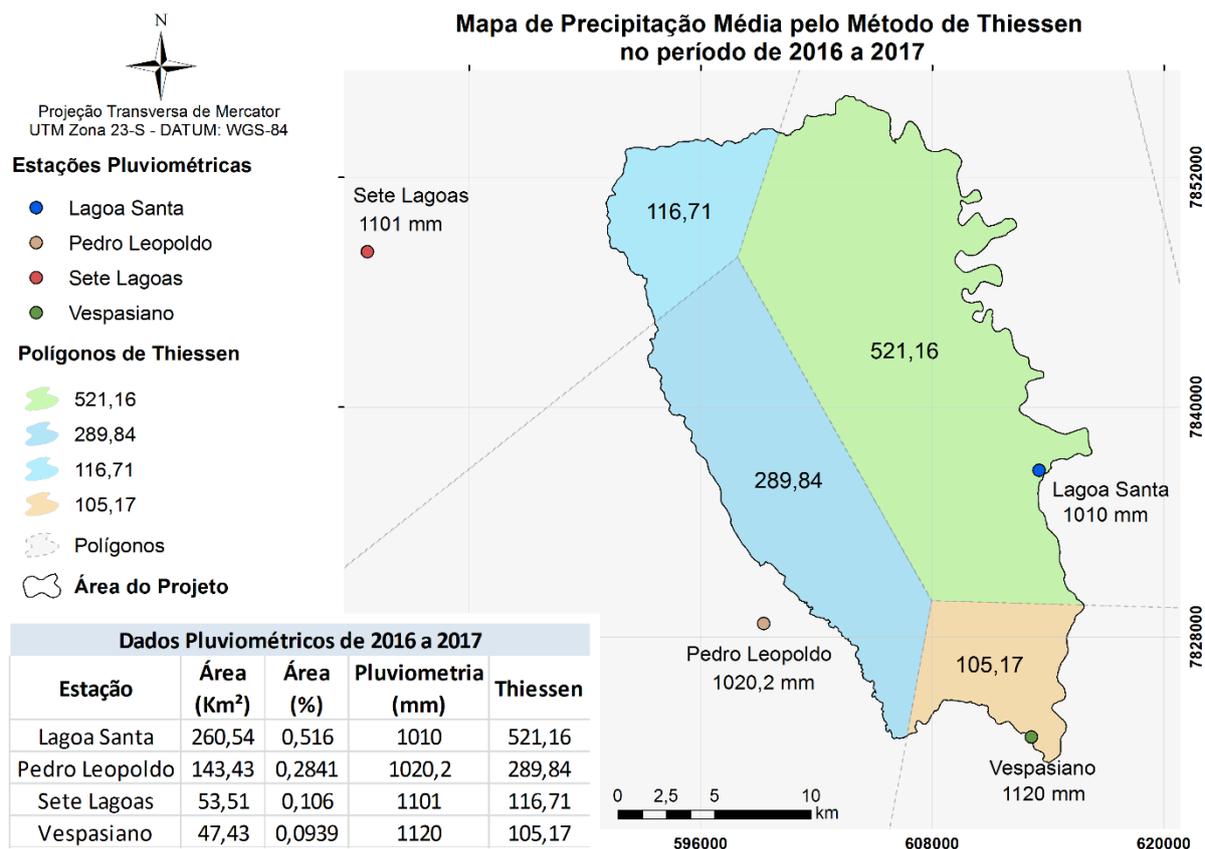


Figura 8: Mapa de precipitação de Thiessen evidenciando a influência da estação de Lagoa Santa e Pedro Leopoldo (adaptado de VELÁSQUEZ *et. al.*, 2018).

Assim, o balanço hídrico climático de Thornthwaite-Mather (1955) foi realizado para um total pluviométrico de 1010 mm na estação Lagoa Santa, uma capacidade de campo de 250 mm. Obtiveram-se para toda a área: ETR de 750 mm (74%), ETP de 895 mm, EXC de 260 mm (26%), DEF de 145 mm, valores muito próximos aos históricos de 1961 a 1990 de Viana (1998), considerando a pluviometria de 1287 mm, ETR de 996 mm (77%), EXC de 291 mm (22,6%) e DEF de 99 mm (8%).

Ainda num cenário sob condições naturais, o escoamento total seria de 205 mm (Tab. 8), resultando um superávit de 831 mm, baixando para 710 mm se as retiradas forem incorporadas. Assim, o ETR do balanço climático estimado de 750 mm é coerente com os valores de superávit encontrados no monitoramento.

5 – CONCLUSÕES

Os métodos empregados para o monitoramento e análise dos dados hidrológicos resultaram em quantitativos coerentes com o sistema hidrogeológico cárstico local. Permitiram

identificar as variações de produtividade e de recarga entre as bacias em função das suas características hidrogeológicas e seu grau de antropização.

A recarga obtida de 119 mm (12% da pluviometria) representou 7,4 vezes o valor do escoamento superficial resultado das excelentes condições de infiltração, como os abundantes maciços fraturados, sumidouros e dolinas, o que é corroborado pela escassa rede de drenagem superficial e pelo índice de 91% do escoamento subterrâneo sobre o superficial.

As explorações em locais de maior densidade de poços tubulares colocaram em evidência 3 das 10 bacias envolvidas no estudo, que já mostram déficits em relação a recarga aplicada. Ademais, a recarga de 119 mm já equivale à água que está sendo bombeada. E as retiradas em córregos revelam elevado grau de antropização em uma bacia, com ínfima capacidade específica.

Esse estudo ainda requer ampliação de pontos de controle de entradas e saídas, contudo, o elevando grau de coerência dos resultados, confirmam a necessidade de semelhante controle em sistemas hidrogeológicos cársticos.

AGRADECIMENTOS

Ao Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV/ICMBio) pelo financiamento, Proc. FUNDEP/GERDAU/UFMG Nº 22.317, Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais (IGC-UFMG).

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE A. C. S – **Estimativa de Recarga da Bacia do Rio das Fêmeas Através de Métodos Manuais e Automáticos**. Dissertação de Mestrado, em Ciências Florestais – Universidade de Brasília, 2009, 101p.

ANA – **Agência Nacional de Águas**. Disponível em: <<http://mapas-hidro.ana.gov.br/Usuario/Estacao.aspx?est=193343540>>. Último acesso em: 10 mar. de 2017.

AULER A. **Hydrogeological and Hydrochemical Characterization of the Matozinhos-Pedro Leopoldo Karst, Brazil**. 1994. 110 f. Msc Thesis – Faculty of the Department of Geography and Geology, Western Kentucky University, Bowling Green, 1994.

BARLOW, P.M., CUNNINGHAM, W.L., ZHAI, TONG, and GRAY, MARK, **U.S. Geological Survey Groundwater Toolbox**, a graphical and mapping interface for analysis of hydrologic data (version 1.0): User guide for estimation of base flow, runoff, and groundwater recharge from streamflow data: U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 3, chap. B10, 2014, 27 p.

BARLOW, P.M., CUNNINGHAM, W.L., ZHAI, TONG, and GRAY, MARK, U.S. **Geological Survey Groundwater Toolbox version 1.3.1**, a graphical and mapping interface for analysis of hydrologic data: U.S. Geological Survey Software Release, 26 May 2017.

COSTA F. M. – **Análise por Métodos Hidrológicos e Hidrogeoquímico de Fatores Condicionantes do Potencial Hídrico de Bacias Hidrográficas** – Estudo de Caso no Quadrilátero Ferrífero – MG. Dissertação de Mestrado, em Ciências Florestais – Universidade Federal de Ouro Preto, 2005, 147p.

FILHO, K. Z., SILVA, R. M., PORTO, R. L. L. **Medição de Vazão e Curva Chave**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. PHD – 307 Hidrologia aplicada, 2001, 48p.

GALVÃO, P., HIRATA, R., CORDEIRO, A., BARBATI, D. & PEÑHARANDA, J. **Geologic conceptual model of the municipality of Sete Lagoas (MG, Brazil) and the surroundings**. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 88, n. 1, p. 35-53, 2016.

GOLDSCHIEDER, N.; DREW D. **Methods in Karst Hydrogeology**. International Contributions to Hydrogeology, 26, London, Taylor & Francis, 2007, 264p.

INMET – **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas>>. Último acesso em: 10 mar. de 2017.

PESSOA, P. F. P. 2005. **Hidrogeologia do aquífero cárstico coberto de Lagoa Santa, MG**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005, 375p.

PISCOYA, R. C. C. C.; LOPES, W. T. A.; LEMOS, G. M.; SILVA, L. S.; SILVA, M. C. A. M. **Análise de consistência de dados fluviométricos de estações de monitoramento da ANA localizadas nas sub-bacias hidrográficas 10 (rios Solimões, Javari e Itaqui) e 11 (rios Solimões, Içá e Jandiatuba)**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20, 2013, Bento Gonçalves, RS. Anais... ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013.

RIBEIRO, J.H.; TULLER, M.P.; FILHO, A.D.; PADILHA, A.V.; CÓRDOBA, C.V. **Projeto VIDA: mapeamento geológico, região de Sete Lagoas, Pedro Leopoldo, Matozinhos, Lagoa Santa, Vespasiano, Campim Branco, Prudente de Moraes, Confins e Funilândia, Minas Gerais** – relatório final, escala 1:50.000. 2. ed. Belo Horizonte: CPRM, 2003, 54p.

ROLIM, G.S.; SENTELHAS, P.C.; BARBIERI, V. **Planilhas no ambiente EXCEL para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.6, p.133-137, 1998.

RUTLEDGE, A. T., DANIEL, C. C. **Testing an automated method to estimate ground-water recharge from streamflow records.** *Ground Water* 32 (2): 180-189, 1994.

SILVA, A. B.; MOREIRA, C. V. R.; CESAR, F. M.; AULER, A. **Estudo da Dinâmica dos Recursos Hídricos da Região Cárstica dos Municípios de Lagoa Santa, Pedro Leopoldo e Matozinhos.** Unpublished technical report, CETEC, 1987, p.32.

THORNTHWAITE, C.W. **An approach toward a rational classification of climate.** *Geogr. Rev.*, v.38, p.55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance.** Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955, 104p.

TUCCI, C. E. M. et al. **Hidrologia Ciência e Aplicação**, 2°. Ed. Rio Grande do Sul: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002, 943 pp.

VELÁSQUEZ, L.N.M.; (Org.) **3º Relatório Parcial de 04 do Projeto de Adequação e Implantação de uma Rede de Monitoramento de Águas Subterrâneas em Áreas com Cavidades Cársticas da Bacia do Rio São Francisco Aplicado à Área Piloto da APA Carste de Lagoa Santa, Minas Gerais.** Belo Horizonte, 2018. 142p.(inédito)

VIANA, H.S.; KOHLER, H.C.; TAVARES, V.P. (Org.). **APA Carste de Lagoa Santa – Meio Físico – Volume I.** Belo Horizonte: IBAMA/CPRM, 1998, 301p.

WHITE, W.B. **Karst hydrology: recent developments and open questions.** *Engineering Geology* 65, 85-105, 2002.

7. RESULTADOS DO MODELO HIDROGEOLÓGICO

Neste capítulo será apresentada a consolidação dos resultados obtidos para o modelo conceitual da área, definindo as unidades aquíferas, condições de contorno, parâmetros hidrodinâmicos (K, T, S) e os parâmetros de entrada e saída (recarga e descarga).

7.1 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

Ocorrem na área quatro unidades hidrogeológicas, constituídas, da base para o topo: aquífero fissural, formado pelas rochas granito-gnaiss-migmatíticas do Complexo Belo Horizonte; aquífero cárstico-fissural, formado pelos calcários da Formação Sete Lagoas; aquífero das rochas metapelíticas da Formação Serra de Santa Helena e, cobrindo a estratigrafia da área, os aquíferos rasos das coberturas cenozóicas formadas por sedimentos aluvionares e coberturas detrito-lateríticas (Figura 1).

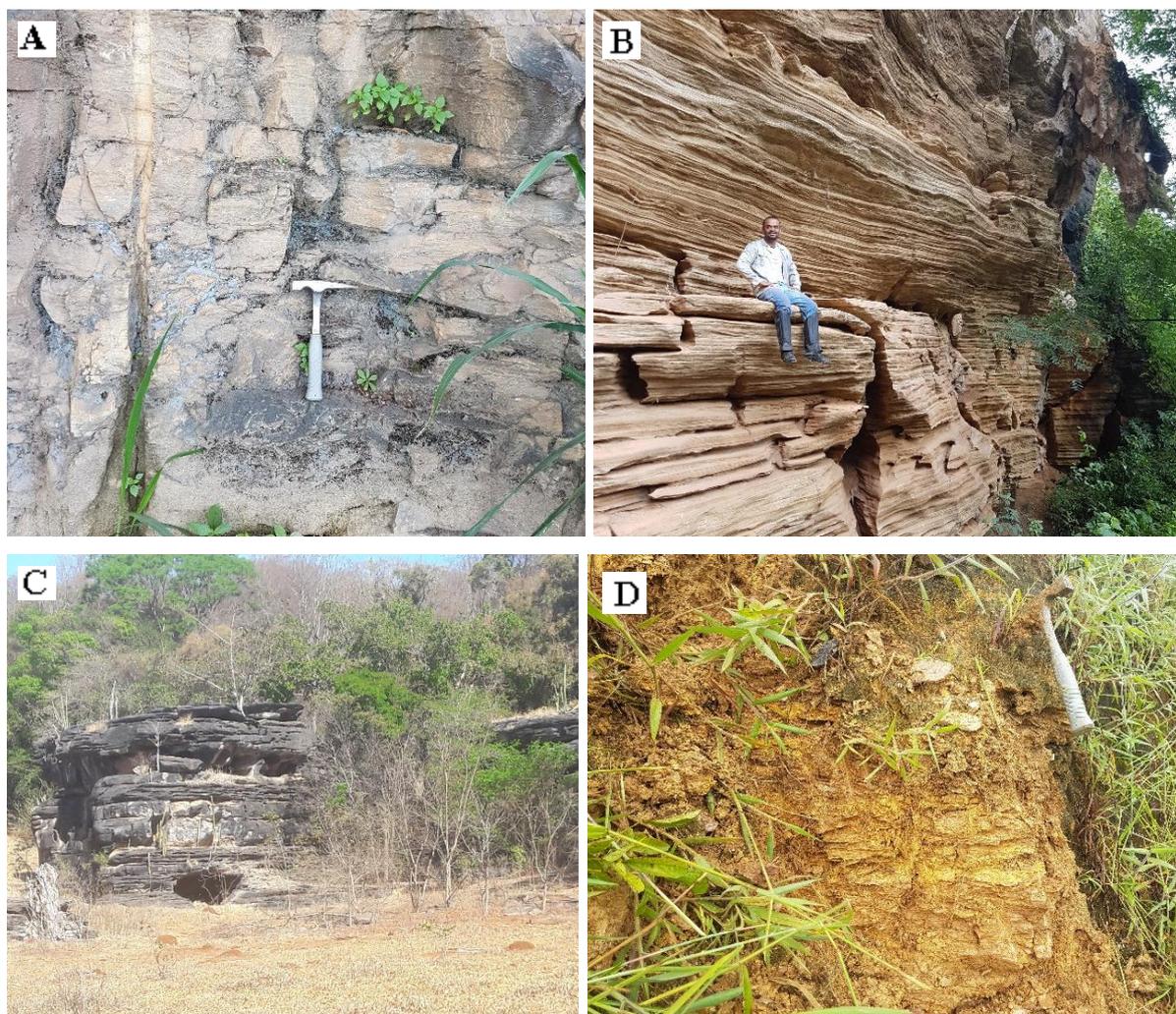


Figura 1: Afloramentos típicos das unidades hidrogeológicas: A: Granito-Gnáissico – Migmatítico (aquífero fissural), B: calcário foliado do Membro Pedro Leopoldo (aquífero cárstico-fissural), C: calcarenito com cavernas do Membro Lagoa Santa (aquífero cárstico-fissural), D: metapelito intemperizado da Formação Serra de Santa Helena (aquitardo)

Aquífero fissural do Complexo Belo Horizonte

As rochas do complexo Granito-Gnaiss-Migmatítico (Figura 2) constituem um aquífero fissural, com raros afloramentos. Localizam-se predominantemente em uma estreita faixa de oeste para sul em cotas superiores a 700 m, tornando-se encobertas para leste em sentido ao rio das Velhas. Essa unidade aquífera é constituída de granulometria de média a grossa, composta por visíveis cristais de quartzo, feldspato e biotita. O solo típico desse complexo é de cor rósea que, por vezes, preenche em parte as fraturas da rocha sã, diminuindo a permeabilidade da mesma.

Andrade & Amorim (2018) identificaram o sentido de fluxo de oeste para leste dessa unidade, como subparalelo ao fluxo do aquífero cárstico da Formação Sete Lagoas. E quanto a sua capacidade específica, as autoras encontraram valores quatro vezes menores do que os da unidade carbonática sobreposta. Poços e ensaios de bombeamento do aquífero fissural mostraram baixos valores em todos os parâmetros hidráulicos - condutividade hidráulica, coeficiente de armazenamento e capacidade específica, caracterizando esta unidade como aquífero pobre, de baixa produtividade. Os resultados numéricos obtidos serão apresentados nas seções posteriores. Vieira (2018) classificou as águas do aquífero fissural como bicarbonatadas mistas.

Aquífero cárstico-fissural da Formação Sete Lagoas

Trata-se de um aquífero encoberto, sobreposto ao embasamento, formado pelos calcários da Formação Sete Lagoas (Figura 2), constituindo o principal aquífero da região. Sua base é constituída pelos calcários de granulometria fina, impuros, laminados, com presença de filossilicatos, representando o Membro Pedro Leopoldo. Já no topo, é formada pelos calcarenitos puros fraturados, de granulação média a grossa, repletos de feições de morfologia cárstica como dolinas, sumidouros, cavernas, lúpies e outros, constituindo o Membro Lagoa Santa.

Vieira (2018) classificou as águas dessa unidade como sendo bicarbonatadas cálcicas, separando quimicamente os membros da unidade carbonática quanto ao teor de Si^{4+} . A

concentração de sílica aumenta no sentido leste e em profundidade, ou seja, com a proximidade do Membro Pedro Leopoldo.

No atual trabalho, a unidade aquífera Sete Lagoas será avaliada em conjunto, sendo posteriormente separada em dois compartimentos quanto ao desenvolvimento do terreno cárstico.

As feições morfológicas do exocarste, presentes na área, principalmente as concentradas sobre o Membro Lagoa Santa, originaram-se no sentido do desenvolvimento tectônico da área. Amaral (2018) mostrou que o controle estrutural no desenvolvimento e alargamento das depressões cársticas, tendo as direções nordeste e noroeste como principais direções de desenvolvimento das depressões cársticas, que apresentaram coincidentes com as direções das deformações geradas nos eventos geotectônicos formadores da bacia e feições rúpteis.

As estruturas de dissolução e, principalmente, as fraturas representam as regiões mais importantes para a recarga (PESSOA, 2005). Ribeiro *et. al.* (2019) ressaltam que as fraturas e dutos de dissolução controlam o sentido de fluxo dessa unidade, predominantemente de sudoeste nordeste ou de oeste para leste.

Essa unidade aquífera é marcada pela alta produtividade dos poços, nascentes caudalosas, feições geomorfológicas características de um carste bem evoluído exibindo elevados valores de condutividade hidráulica e coeficiente de armazenamento. Tais parâmetros, juntamente com os níveis de entradas d'água, possibilitaram a individualização desta unidade nos compartimentos: cárstico superior e cártico-fissural profundo.

Aquitardo da Formação Serra de Santa Helena

A unidade de topo ocorre localmente e é representada por um aquitardo formado pelas rochas metapelíticas da Formação Serra de Santa Helena (Figura 2), presentes sob um típico alto grau de intemperismo. O levantamento estrutural realizado nesta unidade resultou em três famílias de fraturas, todas elas fechadas e/ou preenchidas com argilominerais. Os perfis litológicos dos poços tubulares que atravessam esta unidade não apresentam entradas d'água e ou registros de nível d'água na região, caracterizando-o como um aquitardo, funcionando localmente como zonas de recarga para o aquífero carbonático subjacente. Localmente pode funcionar como um aquífero suspenso pobre, de baixa produção.

Vieira (2018) classificou as águas dessa unidade como sendo bicarbonatadas cálcicas.

Aquíferos de Cobertura

As unidades de cobertura correspondem aos sedimentos aluvionares e dentrito-lateríticos, que atuam preferencialmente como zonas de recarga para os aquíferos carbonáticos sotopostos, e promovendo a arquitetura de um aquífero coberto para a unidade aquífera da Formação Sete Lagoas.

Vieira (2018) classificou as águas como bicarbonatadas sódicas.

7.2 CONDIÇÕES DE CONTORNO

A delimitação das condições de contorno em aquíferos cársticos, no que tange às condições de primeira ordem de Dirichlet e segunda ordem de Neumann, pode ser afetada pela heterogeneidade e anisotropia do sistema cárstico, podendo esse tipo de aquífero não se limitar a barreiras hidráulicas ou litológicas. Não obstante, optou-se por registrar, quando possível, os limites físicos ou de continuidade de fluxo para a unidade aquífera carbonática.

O sistema aquífero da região é constituído da base para o topo, pela unidade aquífera carbonática da Formação Sete Lagoas e pela unidade de aquífero constituído pelas rochas metapelíticas da Formação Serra de Santa Helena, e pela unidade de coberturas cenozóicas, ambas servindo como meio de recarga para a unidade inferior. Em diversas partes da área os calcários se despontam em maciços rochosos, onde a recarga se faz de modo direto. O sistema aquífero é limitado verticalmente, pelo aquífero fissural do complexo Granito-Gnáissico-Migmatítico.

A base do sistema aquífero está entre as cotas 450 m e 700 m de altitude com espessura variável, mas aumentando para leste, uma vez que a deposição foi sobre um terreno cristalino que aprofunda nesse sentido (Figura 3).

Já o topo da unidade aquífera carbonática, isto é, o seu contato com a unidade de aquífero ou camada de solo, ocorre entre as cotas 600 m e 750 m (Figura 4). Verifica-se que há, visualmente, uma maior concentração de maciços carbonáticos aflorantes nas regiões mais espessas, com provável influência estrutural, sugerindo possíveis empurrões ou duplicações de camada nesta região, o que teria possibilitado o afloramento desses.

As Figuras 3 e 4 indicam uma espessura total para a unidade aquífera carbonática de 50 m a 250 m, uma média de aproximadamente 200 m. Esta unidade se encontra recoberta por uma camada média de solo e/ou afloramentos de metapelitos Santa Helena de aproximadamente 50 m (Figura 5), espessando-se próximo às margens do rio das Velhas.

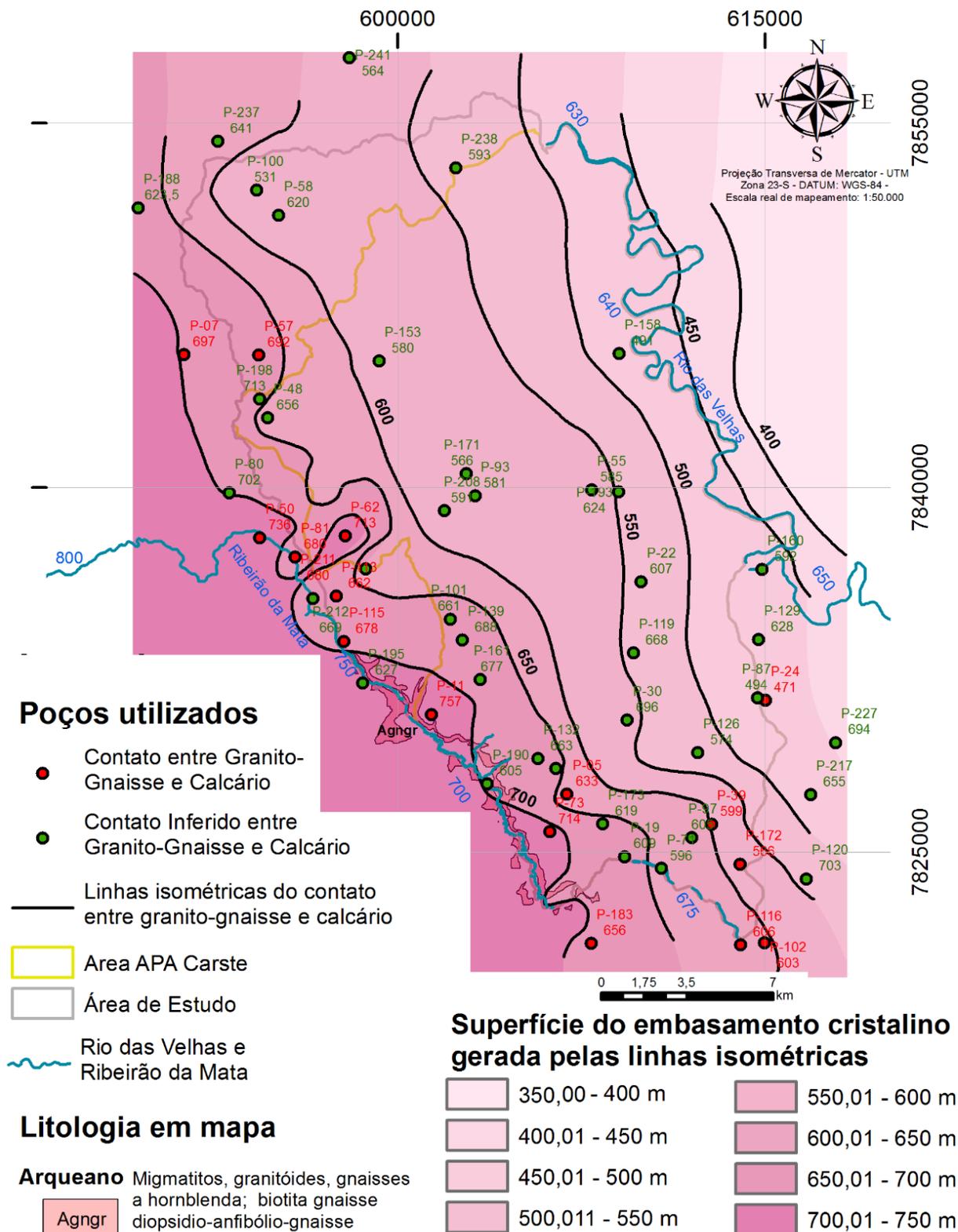


Figura 3: Mapa de isobátas de cota do contato entre o complexo Belo Horizonte e a Formação Sete Lagoas. As linhas foram traçadas a partir de perfis geológicos de poços tubulares, nos quais os pontos vermelhos representam as cotas do contato lidas nos perfis e os pontos verdes representam as cotas dos fundos dos poços perfurados em calcários.

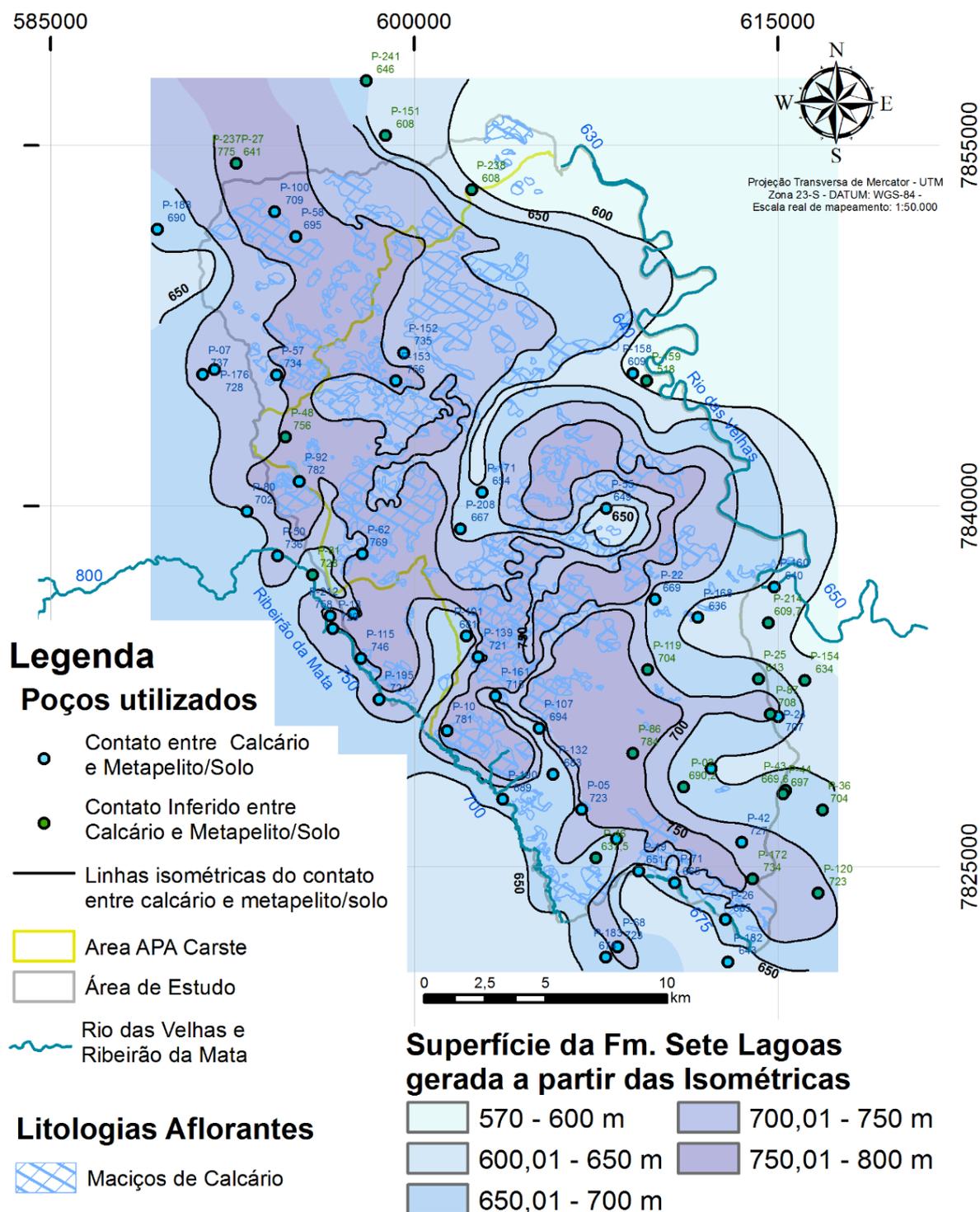


Figura 4: Mapa de isobátas da cota de contato entre a Formação Sete Lagoas e a Formação Serra de Santa Helena e/ou solo. Os pontos azuis representam as cotas do contato lidas nos perfis do poço e os pontos verdes representam as cotas finais de poços perfurados no metapelito/solo. Não foi possível diferenciar as camadas de solo dos metapelitos, devido a inexatidão dessa informação nas descrições geológicas disponíveis.

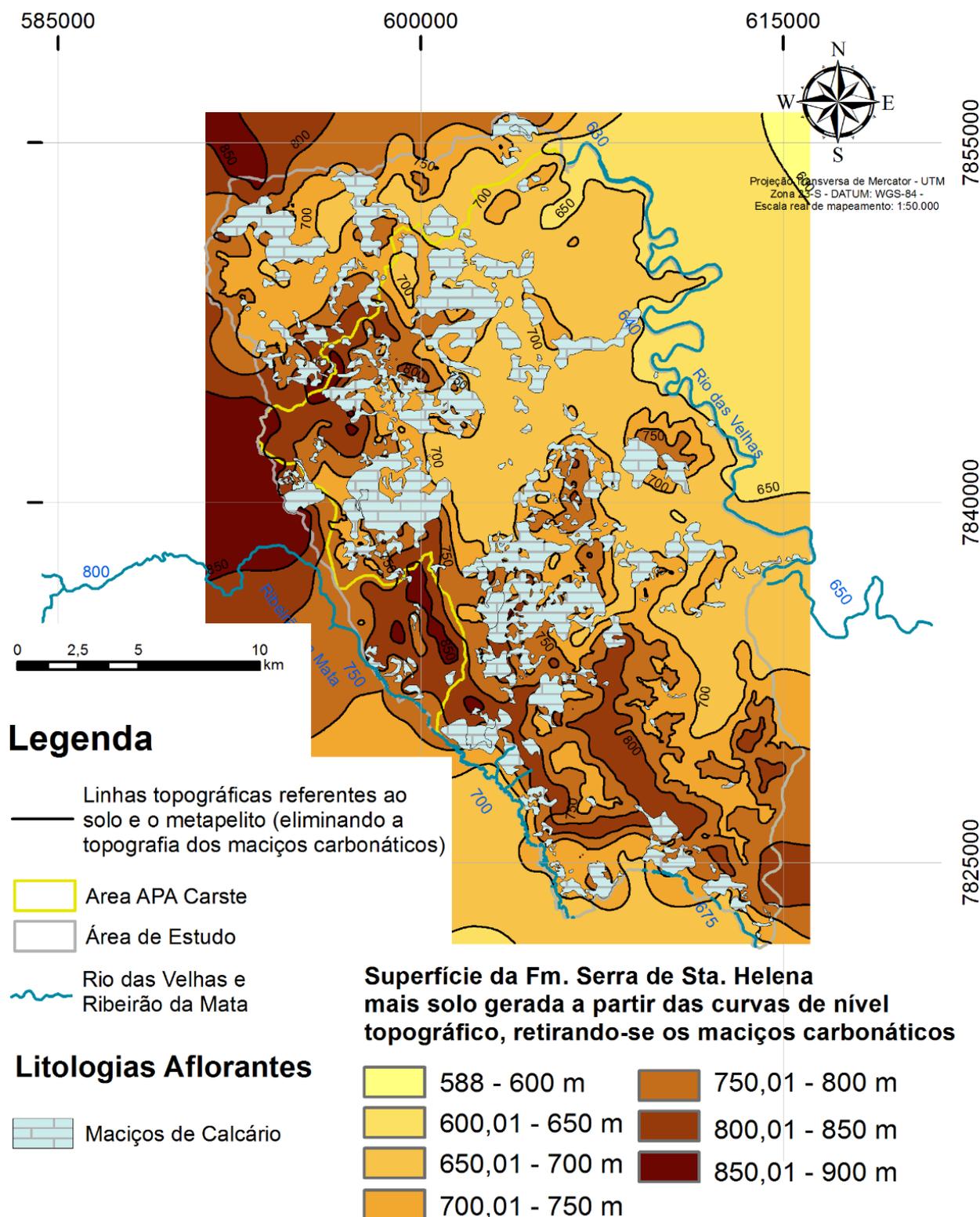


Figura 5: Mapa de isovalores de cota da superfície topográfica da Formação Serra de Santa Helena e/ou solo.

O aquífero carbonático é hidráulicamente limitado ao leste pelo rio das velhas (Condição do Tipo I) e ao oeste e sul pelo ribeirão da Mata, apesar de haver uma pequena

continuidade do Membro Lagoa Santa para o sul, além da área. Tal continuidade geológica, além de representar apenas uma pequena fração desse aquífero, encontra-se limitada pelo ribeirão da Mata e pelo rio das velhas a sul da área.

Conforme será apresentado nas seções posteriores, mais de 80% das entradas d'água nos poços do aquífero carbonático se encontram em cotas superiores à do Rio das Velhas, corroborando a atuação deste rio como nível de base para a região estudada e como condição de contorno hidráulica (Condição do Tipo I) para a unidade aquífera carbonática (Figura 6).

Quanto ao Ribeirão da Mata, este possui o nível d'água semelhante à do aquífero carbonático, indicando que esta condição hidráulica (Condição do Tipo I) atua como condição de fluxo nulo limitando o aquífero carbonático desta região (Figura 6).

A região norte da área é limitada por um espesso pacote metapelítico da Formação Serra de Santa Helena (Condição do Tipo II), que atua como aquífero (Figura 6).

Na região noroeste ocorre uma continuidade lateral de fluxo do aquífero carbonático para além dos limites da área estudada, mas limitada a uma porção externa restrita.

Galvão (2015) descreveu a continuidade de fluxo subterrâneo do aquífero carbonático de Sete Lagoas no sentido do rio das Velhas. Desta forma, é provável que a área de estudo seja conectada hidráulicamente à região de Sete Lagoas e, conforme citado anteriormente, a heterogeneidade e anisotropia do sistema impossibilita definir limites de condições de fluxo nulo para sistemas carbonáticos, em razão do fluxo no sistema cárstico ser predominantemente conduzido em planos estruturais e suas dissoluções.

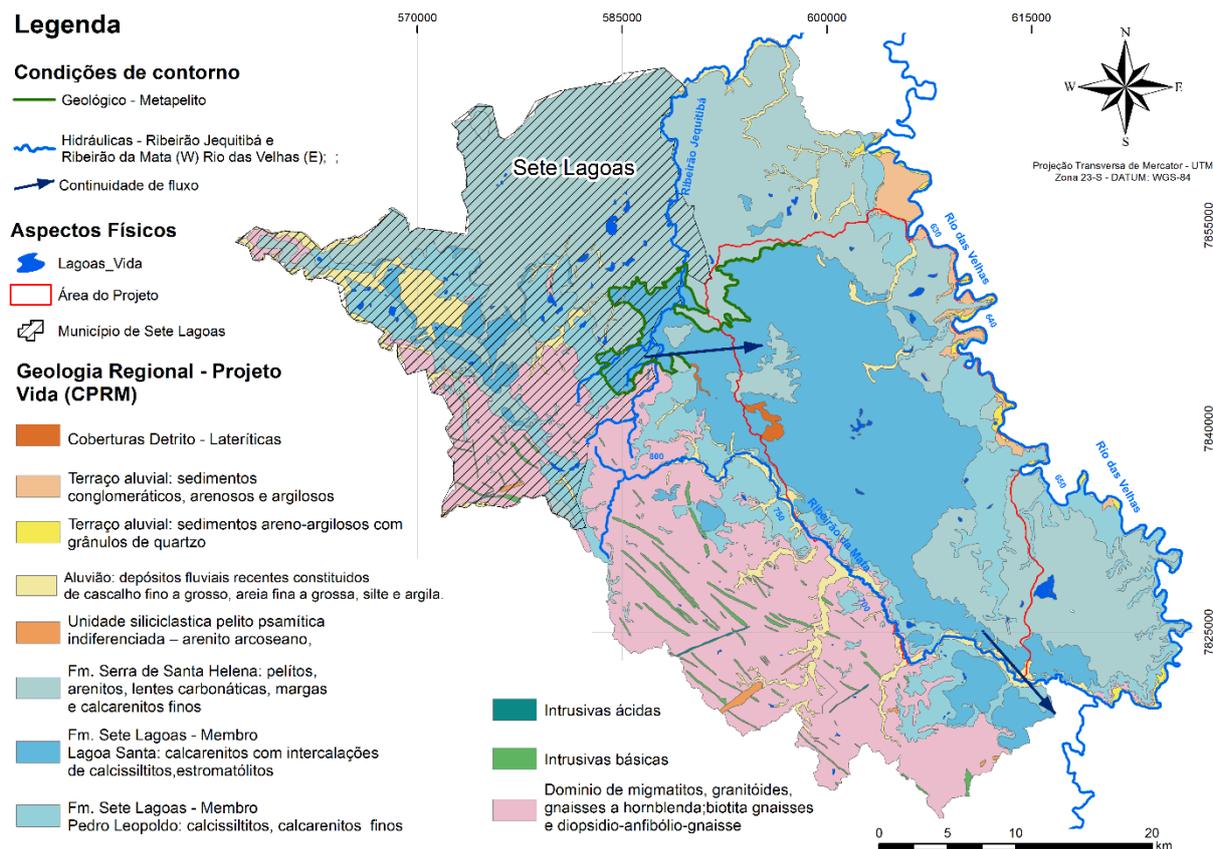


Figura 6: Condições de contorno laterais da unidade aquífera carbonática, formadas pelo Rio das Velhas, Ribeirão da Mata e metapelitos da Formação Serra da Santa Helena.

7.3 ENTRADAS E SAÍDAS DE ÁGUA EM RELAÇÃO AO SISTEMA AQUÍFERO

O total pluviométrico da região para o ano hidrológico de 2016/2017 foi de 1010 mm, registrado na estação de Lagoa Santa (1943049), representando 85% da média histórica da região, de 1980 a 2017.

As entradas de água no sistema aquífero ocorrem através da recarga aquífera pluviométrica ou por origem externa em continuidade de fluxo (Figura 6).

Os tipos de recarga na região ocorrem de quatro formas (Figura 7): i) infiltração direta em maciços calcários fraturados sem vegetação (65 km²) em que a infiltração é máxima. Nos maciços carbonáticos a frequência de fraturas é superior a 15 por metro linear com abertura média de 0,4 cm; ii) infiltração direta nos maciços calcários cobertos com vegetação (30 km²), em que parte da água pluviométrica é retida pela vegetação antes de constituir a recarga aquífera; iii) difusa através dos solos e/ou metapelitos (325 km²); iv) escoamento interno, através de dolinas (85 km²) com ou sem sumidouros.

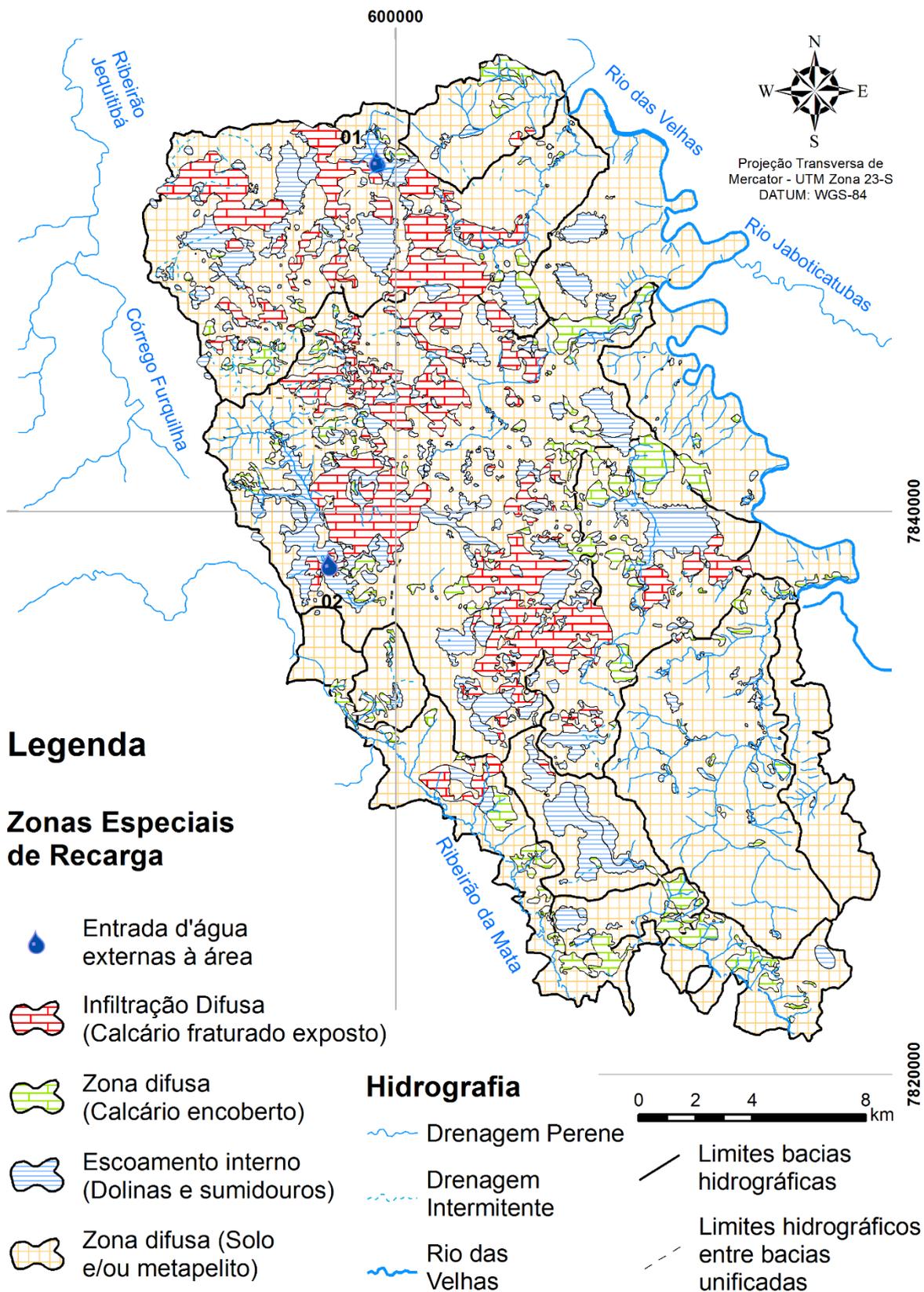


Figura 7: Mapa com as principais zonas de recarga distribuídas de acordo com as feições geomorfológicas da região.

Ribeiro *et. al.* (2017) mostrou que nessa região, em 70% das vezes, as feições geomorfológicas, tais como maciços, dolinas, sumidouros e cavernas ocorrem em associação entre si.

Além da recarga pluviométrica, parte da área recebe aporte de água proveniente de regiões externas a área estudada.

O valor da recarga pluviométrica total para o ano hidrológico 2016/2017 foi de 108 mm, 11% da precipitação (PAULA & VELÁSQUEZ, 2019), tendo identificado, além desse total, um aporte de 26 mm proveniente de fora do sistema estudado (Nascentes 1 e 2, Figura 8).

A nascente 2, assim como proposta no tópico das condições de contorno, sugere a descarga de fluxo no sentido do rio das Velhas. Por outro lado, a nascente 1 aponta para uma conexão profunda para a sua alimentação, uma vez que a região é circundada pela Formação Serra de Santa Helena.

É importante ressaltar a influência hídrica da extensão para a bacia estadual do rio das Velhas. A área de estudo representa apenas 1,73% da área da bacia do rio das Velhas, porém, contribui com 5,84% da vazão mediana anual monitorada desse sistema, enfatizando o potencial hídrico do sistema cárstico.

A zona de descarga ocorre junto ao rio das velhas, seja por meio de córregos formados pelas ressurgências cársticas da área, seja pelas descargas subterrâneas diretas do aquífero para dentro desse curso de água. Paula e Velásquez (2019) identificaram quatro pontos de saídas de água para o ribeirão da Mata (Nascentes 3, 4, 5, 6 e 7 da Figura 8), além da descarga total do sistema calculada pelos autores foi de 168 mm, sendo a água subterrânea responsável por mais de 90% deste total.

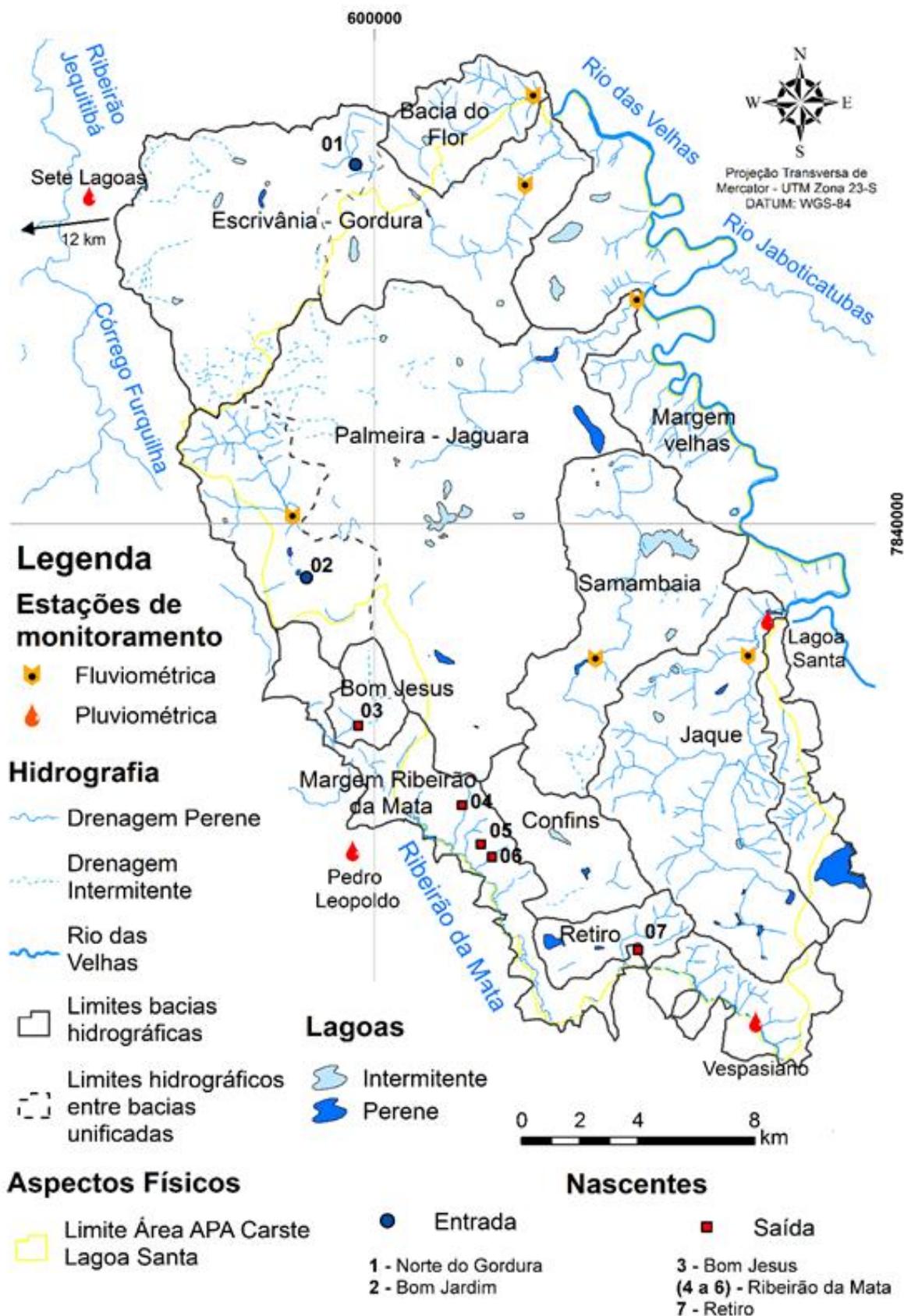


Figura 8: Mapa hidrográfico e dos pontos de aquisição dos dados hidrológicos realçando as nascentes de entradas e saídas (retirado de Paula & Velásquez (2019)).

A avaliação fluviométrica nos cursos de água e as nascentes cársticas de alta vazão destes mesmos córregos, confirma os valores encontrados por Paula e Velásquez (2019), mostra a importância das grandes nascentes para seus respectivos cursos de água e conseqüentemente a dependência do sistema da água subterrânea (Figura 9) mostrando uma correção maior de 95% entre a vazão do córrego e da nascente, ressaltando que quase que a totalidade da água dos córregos são provinda de suas nascentes principais.

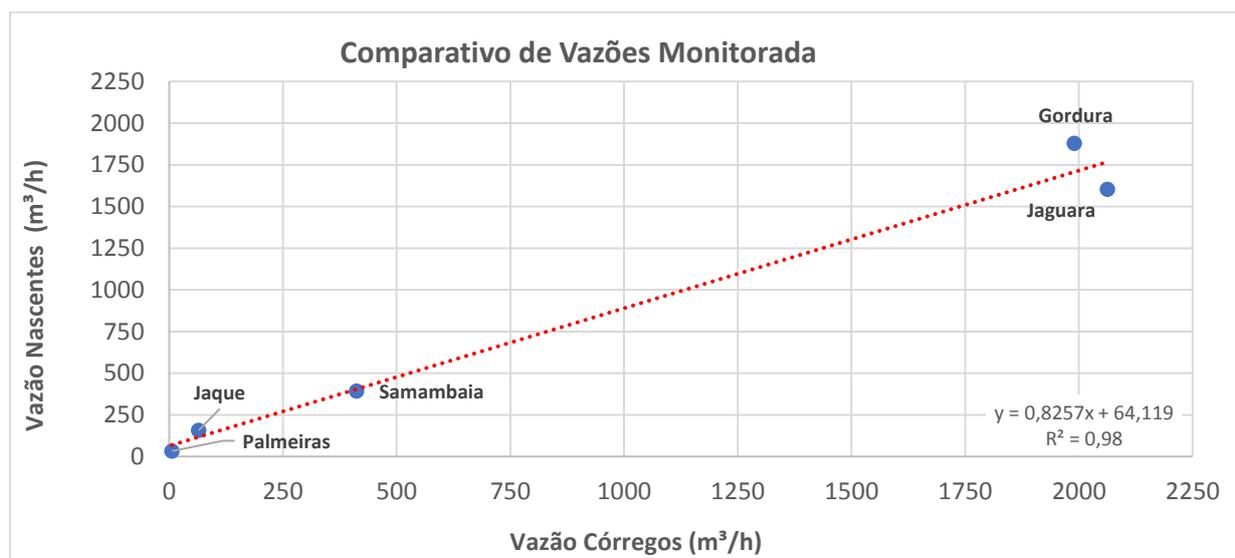


Figura 9: Comparativo de monitoramento de vazões de nascentes.

Paula e Velásquez (2019) estimaram uma retirada antrópica da região de 121 mm por meio de poços tubulares e captações a fio d'água. Tal valor é maior do que a própria recarga aquífera, motivo pelo qual esperava-se um rebaixamento do nível de água do aquífero. Contudo, conforme observado na Figura 10, as nascentes monitoradas no período seco neste trabalho e por Auler (1994), com mais de 25 anos de diferença, apresentaram vazões muito semelhantes, exibindo uma aderência entre os dados de mais de 95%. Tal fato reforça a existência de uma independência hidráulica entre dois compartimentos: um superior cárstico e um inferior cárstico fissural.

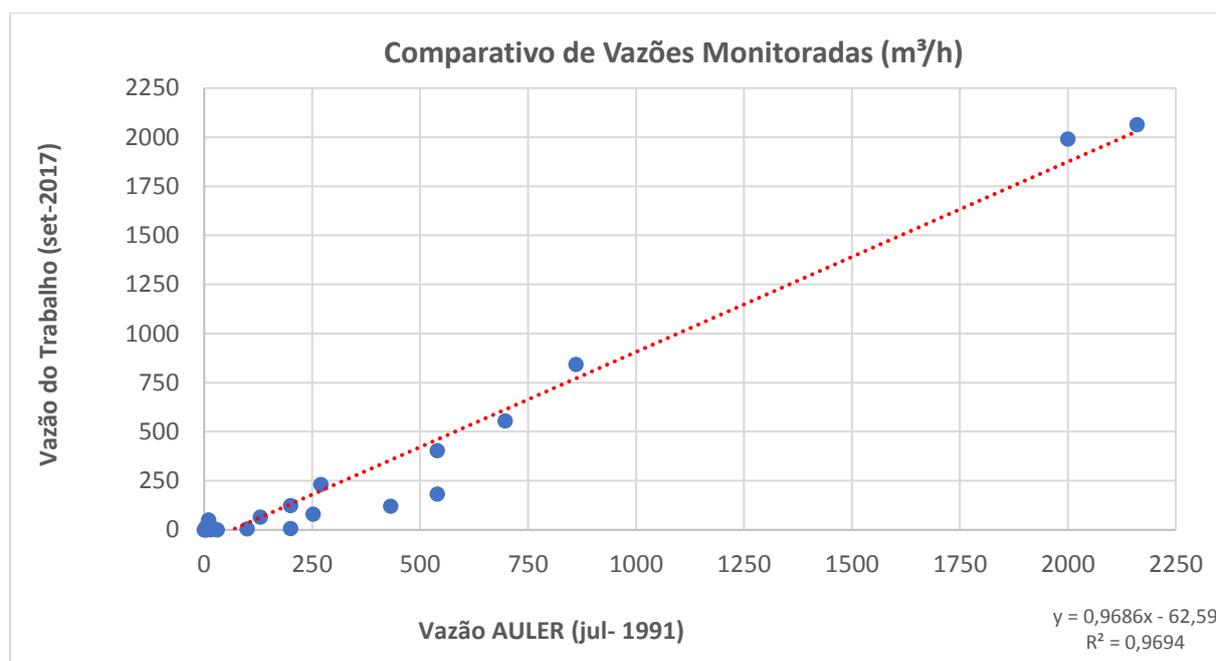


Figura 10: Comparativo de monitoramento de vazões de nascentes.

7.4 PARÂMETROS HIDRÁULICOS DO COMPARTIMENTO CÁRSTICO-FISSURAL

Para a avaliação dos parâmetros hidráulicos do compartimento aquífero inferior condutividade hidráulica (K), coeficiente de transmissividade (T) e coeficiente de armazenamento (S), foram utilizados os dados de recuperação de nível d'água de ensaios de vazão disponíveis realizados em 99 poços (Figura 11 e apêndice II) e para a Capacidade Específica (Qs), o rebaixamento dos testes de vazão. Os métodos empregados foram os de Hvorslev (1951), Bower & Rice (1976) e Cooper-Bredehoeft-Papadoulos (1967).

7.4.1 Capacidade Específica (Qs)

A alta produtividade da unidade aquífera pode ser representada pela capacidade específica da região. O cálculo deste parâmetro para mais de 400 poços tubulares, obtendo valores modais de 0,5 m³/hm, mediana 1,47 m³/hm e média de 8,18 m³/hm. A diferença entre os valores da média e mediana ressalta a anisotropia do sistema cárstico. É importante ressaltar que, apesar da capacidade específica apresentada ter sido calculada para poços perfurados no calcário, estes poços não individualizam apenas entras d'água apenas desta unidade, podendo haver contribuições das unidades metapelíticas superiores e graníticas inferiores, apresentando com isto resultados de capacidade específica menores que apenas poços com entradas d'água no calcário.

Entre os 400 poços com dados de capacidade específica analisados, 60 deste apresentaram valores de entrada d'água (Tabela 1). desta forma foi possível avaliar a relação de cota de entrada d'água e valores de capacidade específica mostrando uma região superior (25 – 50 m) de maior produtividade e possivelmente mais carstifica (compartimento carárstico). Os dados de entrada d'água serão tratados de maneira aprofundada na ultima seção deste capítulo (Compartimentos da Unidade Sete Lagoas).

Tabela 1: Valores de capacidade específica distribuídos em relação a profundidade.

PROFUNDIADE DAS ENTRADAS D' ÁGUA (m)					
	<25	25-50	50-75	75-100	100-125
Numero	4,0	15,0	23,0	16,0	2,0
Minima	0,8	1,3	0,5	0,6	0,9
Maxima	52,2	73,5	87,0	17,1	1,2
Media	15,0	10,8	18,4	4,9	1,1
Mediana	3,4	5,7	3,3	2,7	1,1

A distribuição dos valores de capacidade específica (Figura 11) apresentou baixos valores a nordeste da área que podem ser atribuídos a presença de metapelitos da Formação Serra de Santa Helena em poço mistos e ou mais profundos, da mesma forma ocorrido na porção sudeste representada pela região de cabeceira da bacia da Jaque. A porção sudoeste (representado pela porção alta da bacia do Ribeirão da Mata) apresentou os menores valores de capacidade específica da área, podendo ser atribuídos a borda da bacia e conseqüentemente menor espessura de calcário e maior contribuição do aquífero fissural cristalino em poços mistos.

As regiões de maiores produtividades aquífera predominantes na faixa oeste (bacias contíguas Palmeiras-Bom Jesus), região central da bacia do Jaguará e a região sudoeste da área (bacias contíguas de Confins e Retiro). Interpreta-se que há uma maior dissolução cárstica nessas regiões atingindo o compartimento inferior do aquífero, isto é, o cárstico-fissural, devido a possíveis falhamentos marcados por meio de lineamentos visivelmente observáveis.

Salienta-se que o número reduzido de poços na região centro norte da área comprometeu os resultados dessa porção. Altos valores isolados de capacidade específica (norte da bacia do Escrivânia, sul da bacia Retiro e sudeste da bacia do Jaque), são influenciados por presença de lagoas existentes na região.

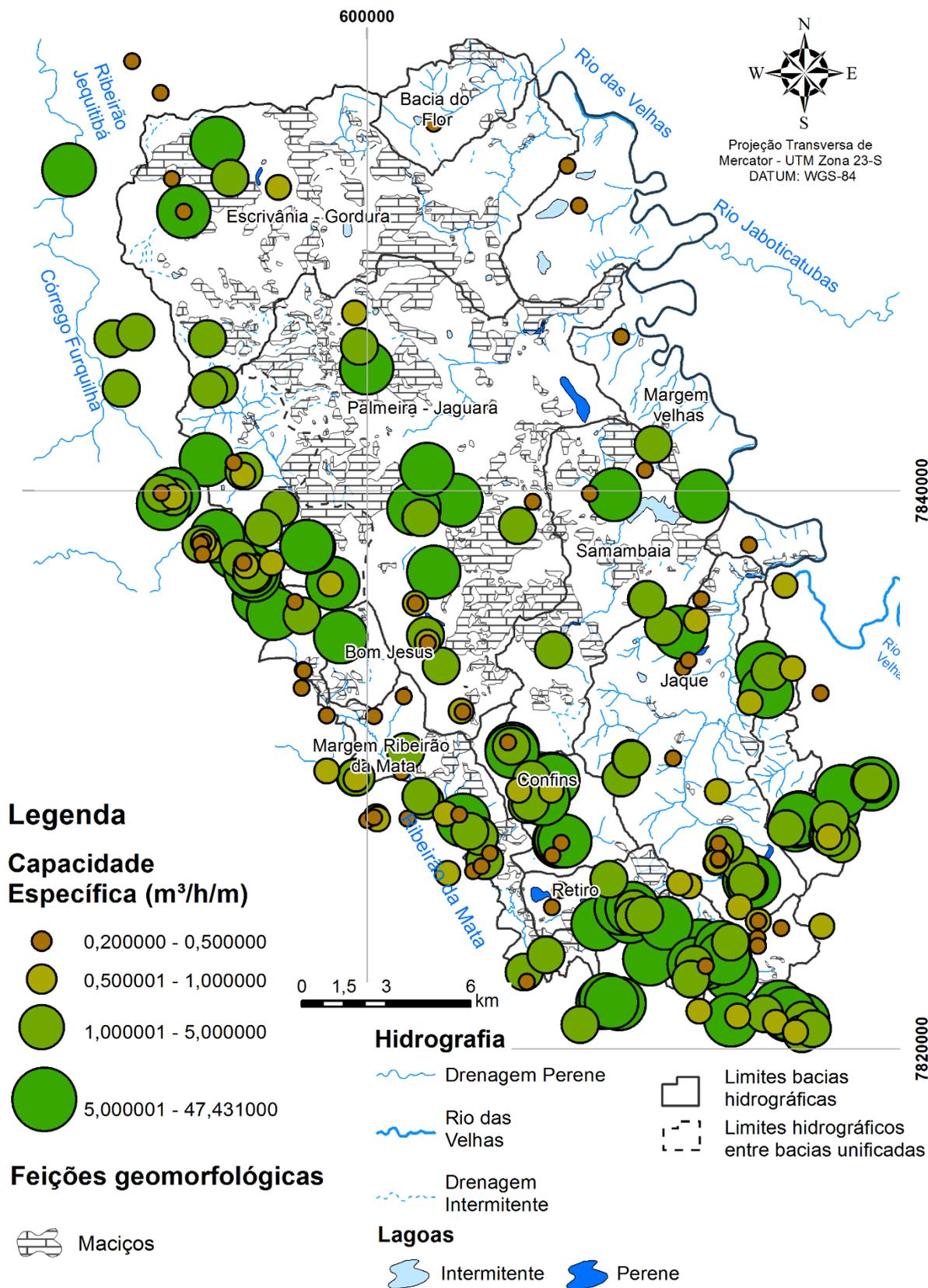


Figura 11: Mapa de distribuição da Capacidade específica dos poços.

7.4.2 Condutividade Hidráulica (K)

Os resultados de condutividade hidráulica foram entre de 10^{-9} a 10^{-1} m/s (Tabela 2). O valor modal, entretanto, foi o mesmo nos três métodos, sendo da ordem de 10^{-7} m/s.

Tabela 2: Valores de condutividade hidráulica por método para o compartimento aquífero cárstico-fissural.

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA – K			
K (m/s)	HVORSLEV (1951)	BOWER & RICE (1976)	COOPER BREDEHOEFT PAPADOPULOS (1967)
K mínima	5,29E-9	1,45E-8	3,51E-9
K média	1,57E-3	8,80E-3	8,22E-3
K máxima	1,55E-1	5,01E-1	8,13E-1
K mediana	2,92E-7	1,10E-6	1,91E-7
K modal	10^{-7} (56,6%)	10^{-7} (35,4%)	10^{-7} (47,5%)

Apesar da semelhança entre os três métodos, o extenso intervalo encontrado e a grande diferença entre a média e a mediana reforçam a forte anisotropia do aquífero carbonático. Não obstante, o aquífero se comporta mais frequentemente controlado por fraturas (Figura 12).

No intervalo 10^{-6} a 10^{-8} m/s se encontram percentuais de 97%, 75,4% e 94% do total dos dados para os métodos de Hvorslev (1951), Bower & Rice (1976) e Cooper-Bredehoeft-Papadoulos (1967), respectivamente (Figura 12). Tais valores são característicos de um sistema fissural, em que os dados modais em um intervalo de condutividade hidráulica de três ordens de grandeza perfazem mais de 90% dos dados para dois entre os três métodos utilizados. Os valores modais encontrados pela metodologia de Hvorslev correspondem a mais de 50% dos dados analisados por esse procedimento. Desta forma, devido à semelhança encontrada entre os métodos, ressalta-se a similaridade dos valores de Hvorslev (1951) e Cooper *et al.* Para continuidade de cálculos e representações para a área (Figura 13) serão adotados os resultados de Hvorslev.

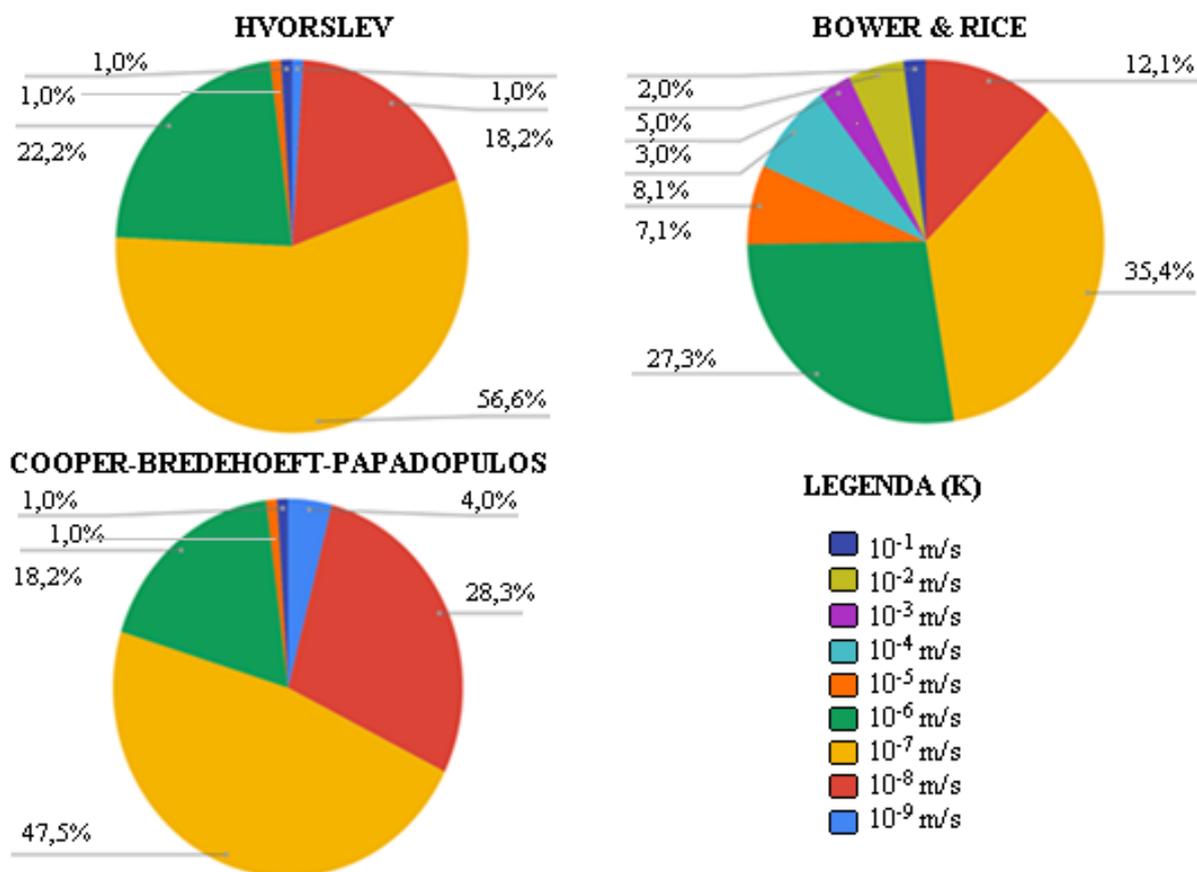


Figura 12: Distribuição dos resultados de condutividade hidráulica segundo os três métodos de analíticos de dados de recuperação de nível d'água em 99 poços tubulares

Salienta-se que a falta de poços na região central da metade norte da área que comprometeu os resultados dessa porção. Contudo, identificaram-se regiões de maiores condutividades hidráulicas predominantes na faixa oeste (bacias contíguas Palmeiras-Bom Jesus), centro leste (baixos Samambaia e Jaque) e sul da área. Interpreta-se que há uma maior dissolução cárstica nessas regiões atingindo o compartimento inferior do aquífero, isto é, o cárstico-fissural, devido a possíveis falhamentos marcados por meio de lineamentos visivelmente observáveis.

Os baixos valores de condutividade hidráulica na região sudeste e noroeste da área podem ser atribuídos a presença de metapelitos da Formação Serra de Santa Helena em poços mistos e ou mais profundos; na porção nordeste, os poços junto ao rio das Velhas estão associados a compartimentos dos calcários mais impuros do Membro Pedro Leopoldo (Vieira, 2018); já na faixa oeste da área, as duas regiões que se destacam com baixos valores correspondem a poços mistos, que atingiram o embasamento cristalino.

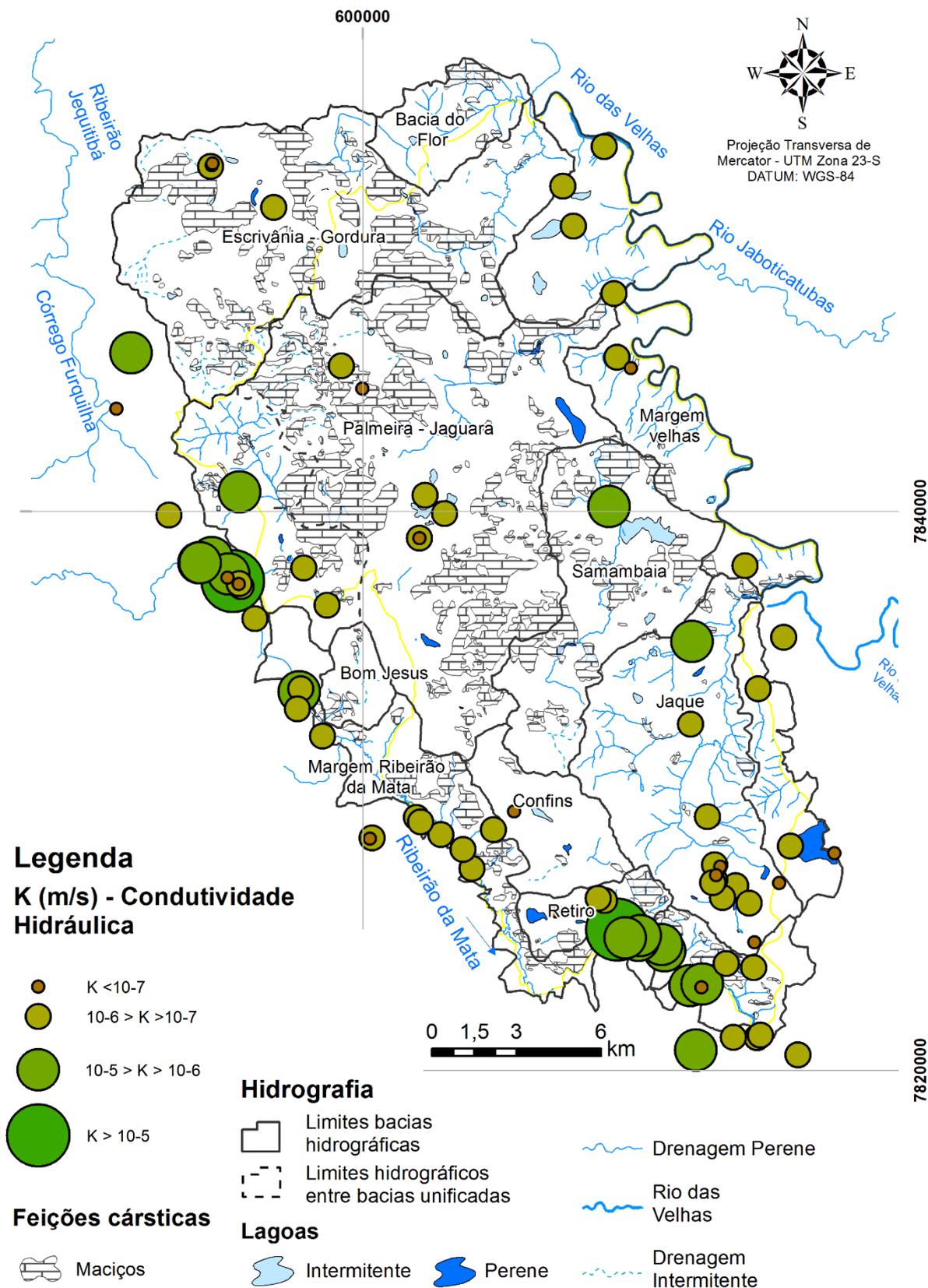


Figura 13: Mapa de condutividade hidráulica obtida pelo método de Hvorslev (1951).

Pessoa (2005) realizou trinta ensaios de aquífero em piezômetros para a obtenção de condutividade na região de Lagoa Santa, próximo ao extremo sul da área de estudo. O autor encontrou valores médios de 10^{-6} m/s pelo método de Hvorslev, portanto, coerentes com os encontrados para região (Figura 12 e 13).

Os valores apresentados de condutividade hidráulica podem estar na realidade abaixo do real, pois os poços analisados, apesar de associados à unidade carbonática, podem estar sendo influenciados pelas suas unidades limitantes, a saber, os metapelitos no topo e granitos na base, uma vez que possuem condutividades hidráulicas inferiores do que o aquífero cárstico.

7.4.3 Coeficiente de Transmissividade (T)

O coeficiente de transmissividade (T) foi calculado a partir da interpretação dos testes de recuperação de maneira direta pelo método de Coper *et. al.* (1967) ou a partir do produto da condutividade hidráulica pela espessura do aquífero nos demais métodos. A espessura média utilizada para os cálculos teve como base a média de profundidade dos poços tubulares, sendo esta igual a 90 metros. Os resultados variaram de 10^{-7} a 10^{+2} m²/s e o valor modal foi comum entre os métodos, da ordem de 10^{-5} m²/s (Tabela 3).

Tabela 3: Valores de coeficiente de transmissividade por método para o compartimento aquífero cárstico – fissural.

COEFICIENTE DE TRANSMISSIVIDADE – T			
T (m ² /s)	HVORSLEV (1951)	BOWER & RICE (1976)	COOPER BREDEHOEFT PAPADOPULOS (1967)
T mínima	7,94E-7	2,18E-6	4,50E-7
T média	2,35E-1	1,27E0	1,23E0
T máxima	2,33E+1	7,52E+1	1,22E+2
T mediana	3,74E-5	1,16E-4	2,57E-5
T modal	10⁻⁵ (59,6%)	10⁻⁵ (34,3%)	10⁻⁵ (55,6%)

A variação do intervalo em uma casa decimal do valor modal (10^{-4} a 10^{-6}) representou 96%, 72% e 96% do total dos dados para os métodos de Hvorslev, Bower & Rice e Cooper-Bredehoeft-Papadoulos (1967) respectivamente (Tabela 4), portanto, com uma ótima representatividade dos dados dentro destes intervalos.

Tabela 4: Percentual de ordem do coeficiente de transmissividade por método para o compartimento aquífero cárstico – fissural

PERCENTUAL DE TRANSMISSIVIDADE – T			
T (m²/s)	HVORSLEV (1951)	BOWER & RICE (1976)	COOPER BREDEHOEFT PAPADOPULOS (1967)
< 10 ⁻⁷	1,0%	0,0%	2,0%
10 ⁻⁶	14,1%	11,1%	21,2%
10 ⁻⁵	59,6%	34,3%	55,6%
10 ⁻⁴	22,2%	26,3%	19,2%
> 10 ⁻³	3,0%	28,3%	2,0%

Foram adotados os valores obtidos pelo método de Hvorslev (1951) por representar um maior percentual modal para a área (59,6%), com 10⁻⁵ m²/s, valor este adotado para o compartimento mais profundo carstico-fissural. Galvão (2017) realizou sete ensaios de aquífero em poços na região de Sete Lagoas, localizado a noroeste da área de estudo, onde encontrou valores de transmissividade entre 7 x 10⁻³ a 4 x 10⁻² m²/s.

7.4.4 Coeficiente de Armazenamento (S)

Os valores de coeficiente armazenamento foram calculados apenas pelo método de Cooper-Bredehoeft-Papadopulus, posto que é o único dos três métodos utilizados que permite os cálculos para esse parâmetro. Os valores encontrados se situaram no intervalo 10⁻¹¹ a 10⁻¹, indicando uma grande variabilidade de condições livres a confinadas (Tabela 5), e mostrando condições livres ($\geq 10^{-3}$) em 33,3% dos casos.

Tabela 5: Percentual da ordem de grandeza do coeficiente de armazenamento para o compartimento aquífero cárstico – fissural.

COEFICIENTE DE ARMAZENAMENTO – S COOPER <i>et. al.</i> (1967)	
S (ordem de grandeza)	PERCENTUAL
< 10 ⁻⁵	14,1%
10 ⁻⁵	16,2%
10 ⁻⁴	35,4%
10 ⁻³	11,1%
> 10 ⁻³	23,2%

Os maiores valores (Figura 14) localizados na baixa bacia do Palmeiras, norte da Jaguará, bacia do Retiro, e extremo sudeste da área indicam grandes volumes de água nessas regiões, com elevado potencial aquífero. De fato, essas regiões de maiores valores de coeficiente armazenamento concordam com os as de maior capacidade específica dos poços

PARTE 3: DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO – 7 RESULTADOS DO MODELO HIDROGEOLÓGICO

(Figura 11), ressaltando que os valores de maior produtividade do aquífero se encontra diretamente correlacionados a disponibilidade de água mostrada pelos dados de alto coeficiente de armazenamento. Entretanto, é interessante notar que tais distribuições são discordantes com mapa de condutividade hidráulica (Figura 13).

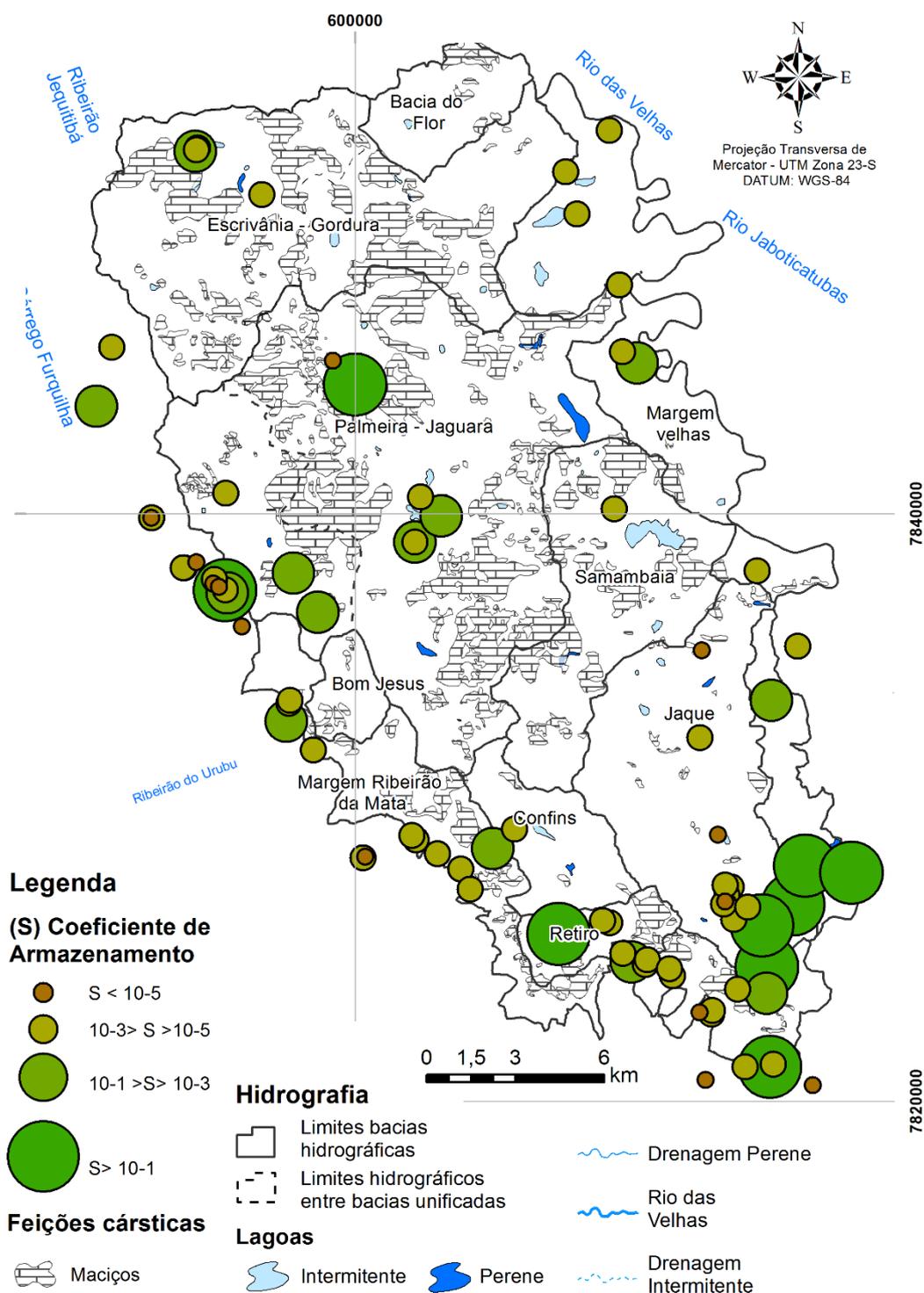


Figura 14: Mapa de coeficiente de armazenamento obtido pelo método de Cooper *et al.* (1967).

7.4.5 Raio de Influência (R)

Os ensaios de recuperação foram avaliados quanto a sua área de abrangência local, para a qual foi calculado o raio de influência dos ensaios de bombeamento, empregando-se as equações 1 e 2.

$$w(\mu) = \frac{(s \times 4 \times \pi \times T)}{Q} \quad \text{Equação 1}$$

$$r = \sqrt{\frac{(\mu \times 4 \times T \times t)}{S}} \quad \text{Equação 2}$$

onde:

w (u) – função do poço	r – raio (m)
s – rebaixamento (m)	u – função de w (u)
T – transmissividade (m ² /dia)	Q – vazão (m ³ /dia)
t – tempo (dia)	S – armazenamento

Os valores de raio de influência variaram de 10 m a 2397 m apresentando média de 302 m e mediana de 88 m, evidenciando a anisotropia do aquífero carbonático na região

7.5 PARÂMETROS HIDRÁULICOS DO COMPARTIMENTO CÁRSTICO

Na porção superior do aquífero, representada pelo aquífero cárstico, os valores de condutividade hidráulica foram obtidos pelo método da Lei Cúbica de Snow (1969), conforme explicado no item Materiais e métodos, a partir dos dados de mapeamento de fraturas levantados por Ribeiro *et al* (2016). No presente estudo foram utilizados apenas os dados de fratura em que foram medidos o espaçamento e a abertura.

Foram calculadas as condutividades hidráulicas para 1163 fraturas com abertura menor que 1 (Tabela 6, Figura 15). Um total de 84 valores de fraturas maiores que 1 cm não foram utilizados devido ao seu elevado grau de dissolução). A análise de todas as direções das fraturas apresentou valor modal na ordem de 10⁻³ m/s (45%), com as maiores frequências encontradas nas fraturas subverticais e sub-horizontais respectivamente.

Tabela 6: Valores estatísticos da condutividade hidráulica por tipo de fratura.

Condutividade Hidráulica – K para Abertura de Fraturas < 1cm			
K (m/s)	SUBHORIZONTAIS	OBLÍQUAS	SUBVERTICAIS
K mínimo	1,46E-4	5,44E-5	5,72E-5
K médio	9,30E-1	3,07E-1	2,22E-1
K máximo	9,15E+1	3,05E+1	1,14E+1
K mediana	3,27E-3	1,09E-3	2,29E-3
K modal	10⁻³ (53,1%)	10⁻⁴ (40,3%)	10⁻³ (47,7%)

Conforme esperado, os valores encontrados são mais elevados do que os encontrados nos ensaios de recuperação, por tratar-se de um compartimento mais carstificado localizado em regiões superiores da unidade aquífera. Teodoro *et al.* (2018) encontrou valor médio de 10^{-2} m/s em seis ensaios de estudos de fluxos subterrâneos por injeção de traçadores corantes em sumidouros com detecção em nascentes de alta vazão na mesma área de estudo.

A Figura 14 mostra os caimentos dos planos de fratura sub-horizontais (entre 0° e 15°), com caimento predominante para E; oblíquas (entre 16° e 74°), predominando os mergulhos para NE, E e SE e subverticais (entre 75° e 90°), com mergulhos predominantes para N e S.

Sabendo-se que o nível de base regional localiza-se a leste da área e, de posse dos principais *trends* de fraturas (Figura 14), depreende-se que o fluxo de água se faz predominantemente através das fraturas dissolvidas sub-horizontais. A formação de dutos de dissolução deve ocorrer a partir da intercessão das fraturas sub-horizontais com as de alto ângulo. Os resultados encontrados sobre sentido de fluxo e formação de dutos de dissolução se encontram coerentes com os apresentados por Ribeiro *et al.* (2019) que avaliou dados de fraturas e medições de dutos de dissolução sendo estes últimos E-W com suave mergulho para leste formados por planos sub-horizontais e fraturas de alto ângulos.

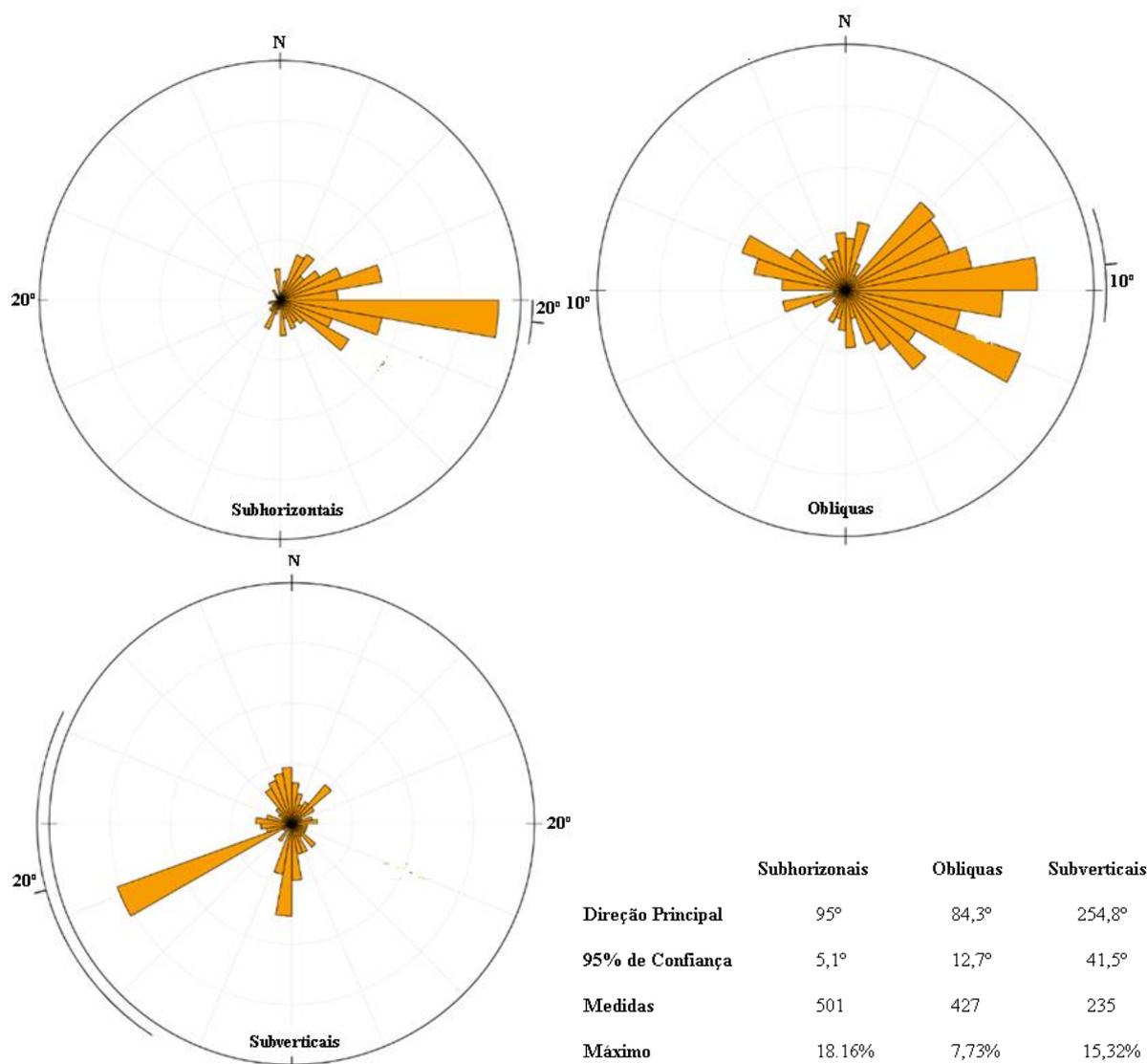


Figura 15: Diagrama de roseta do sentido dos mergulhos das fraturas subhorizontais (n=501), Obliquas (n=427) e Subverticais (n=235).

7.6 COMPARTIMENTOS DA UNIDADE AQUÍFERA SETE LAGOAS

Apresenta-se uma compartimentação vertical e horizontal do sistema aquífero cárstico-fissural (Formações Sete Lagoas e Serra de Santa Helena), fundamentada na caracterização dos seguintes parâmetros delineados até aqui: condições de contorno e de recarga, condutividade hidráulica, coeficiente de armazenamento, cotas de entradas d'água e das nascentes, capacidade específica dos poços, características geológico-estruturais, e características geométricas das referidas formações.

Quanto às entradas d'água nos poços, aproximadamente 84% ocorrem entre as cotas 612 e 742 m (cada poço foi representado por uma única entrada d'água) (Figura 16), formando uma seção aquífera produtiva de 130 m.

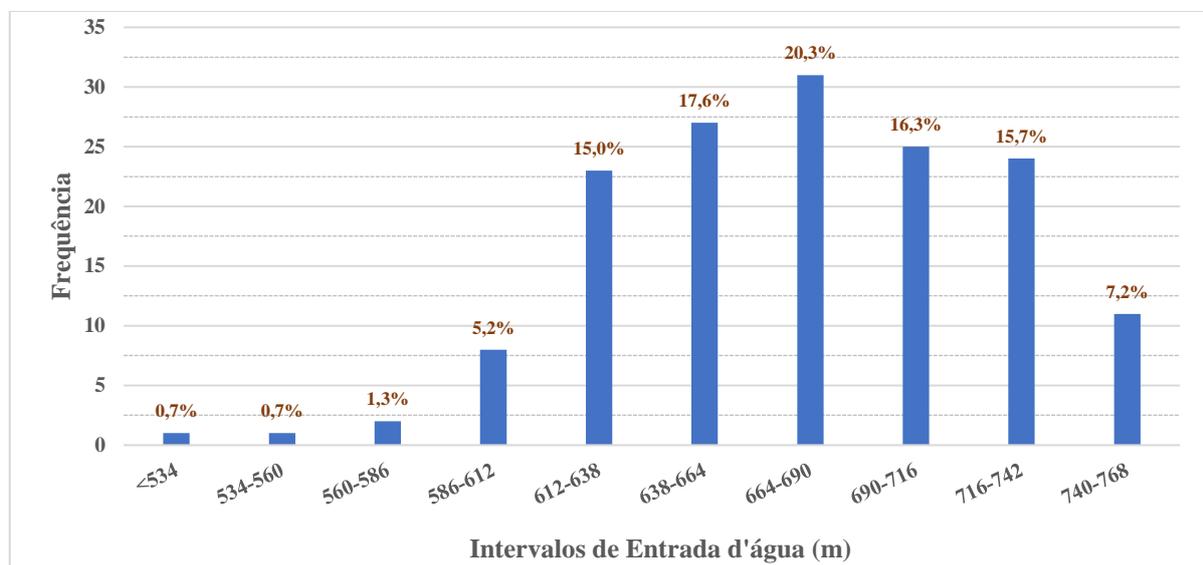


Figura 16: Frequência das cotas de entrada de água de 153 poços tubulares.

As descargas das 30 surgências cársticas levantadas foram plotadas em função de suas cotas visando se observar a existência de uma seção mais produtiva, isto é mais carstificada (Figura 17). Notam-se dois grupos bem demarcados: 36,7% de surgências abaixo de $50 \text{ m}^3/\text{h}$, situadas em cotas $>716 \text{ m}$, e 33,3% de surgências acima $180 \text{ m}^3/\text{h}$, localizadas em cotas $<716 \text{ m}$. Interessante se observar ainda que, ambos os grupos possuem a tendência de aumentarem as vazões no sentido de cotas menores. Surgências abaixo de $124 \text{ m}^3/\text{h}$ perfazem os restantes 30%, em cotas acima e abaixo de 716 m indistintamente.

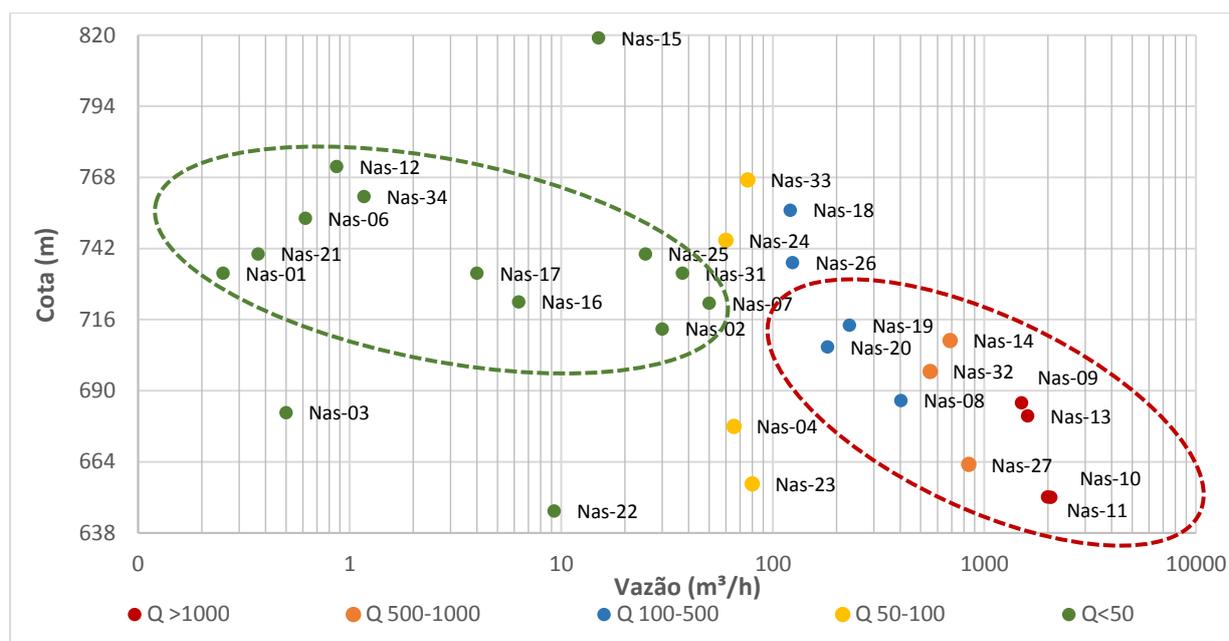


Figura 17: Vazões de nascentes relacionadas ao intervalo de cota topográfica.

A partir desses dados, definiram-se dois compartimentos aquíferos: i) um superior, mais carstificado, aqui denominado de compartimento cárstico no intervalo contido entre 638 e 716 m, corroborado pela presença de nascentes de vazões caudalosas, pelas entradas d'água em 54,2% dos poços e pela capacidade específica mediana dos poços (30) de $5,9 \text{ m}^3/\text{h.m}$; a espessura desse compartimento foi estimada em 78 m, calculando-se a profundidade mediana das entradas d'água de 66 m a partir de 30 poços que dispunham desse dado; ii) um compartimento inferior, aqui designado de cárstico-fissural, instalado em cotas menores do que 638 m, atestado pelos valores bem menores de capacidade específica dos poços (30), $2,6 \text{ m}^3/\text{h.m}$; a espessura desse compartimento foi estimada em 122 m, calculando-se a profundidade mediana das entradas d'água abaixo de 90 m a partir de 30 poços que dispunham desse dado.

No compartimento cárstico o valor modal encontrado para a condutividade hidráulica foi de 10^{-3} m/s e no compartimento cárstico-fissural da ordem de 10^{-7} m/s .

O fluxo geral do aquífero como um todo é de W para E (Figura 18), rumo ao rio das Velhas, conduzido, principalmente, pelas fraturas abertas sub-horizontais. Na porção mais carstificada (638 a 716 m) dutos de direção E-W com caimento suave para E foram interpretados por Ribeiro et al. (2019) como resultado da dissolução ao longo da interseção das fraturas sub-horizontais com as de alto ângulo de direção E-W. De acordo com os autores essa seria a direção preferencial do escoamento da água do compartimento cárstico.

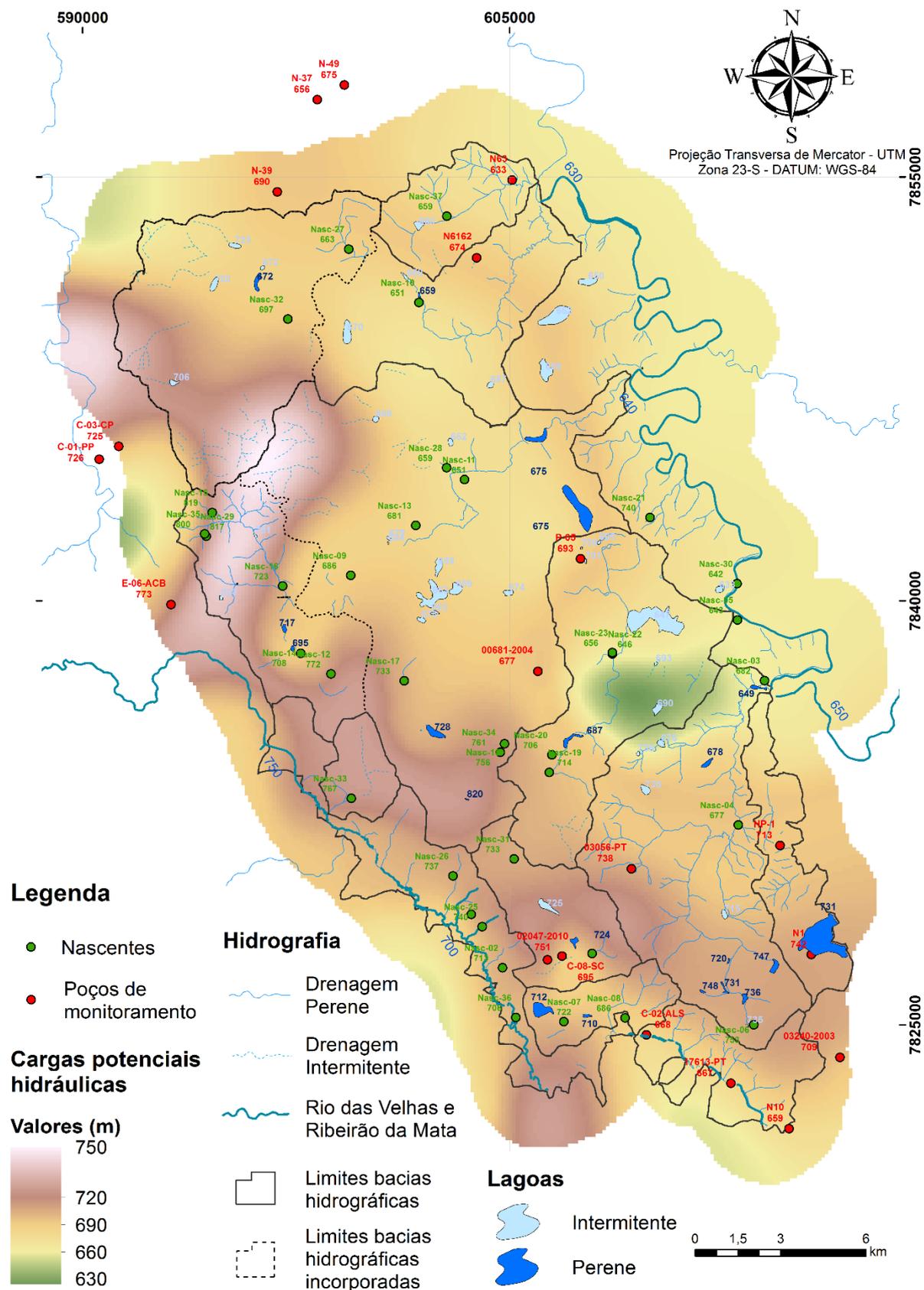


Figura 18: Mapa de carga potencial hidráulica da unidade aquífera carbonática a partir de 19 poços inoperantes.

Considerando a maior quantidade de poços com dados de capacidade específica (Figura 11), bem como tal parâmetro ser menos influenciado por condições ideais para o seu cálculo, optou-se por indicar o potencial hídrico do compartimento cárstico-fissural baseado na interpolação da Q_s , em três níveis (Figura 19):

i) Potencial hídrico alto com elevados ($S > 5,0 \text{ m}^3/\text{h.m}$), sendo representado pela porção oeste e sul da bacia do Palmeiras, norte da bacia do Jaguará, sul da bacia do Samambaia e pelas bacias contíguas de Confins e Retiro e a leste da bacia do córrego Jaque. As regiões de alto potencial presentes nas bacias do Palmeiras, Jaguará, Samambaia são caracterizadas por um sistema cárstico bem evoluído com predomínio de feições geomorfológicas como cavernas, dolinas, sumidouros e maciços fraturados e com presença de dutos de dissolução. Já a região representada pelas bacias contíguas de Confins e Retiro é representada por carste com presenças de dolinas alinhadas o qual foi interpretado como a ocorrência de um sistema de falhas normais por Andrade & Amorim (2018). Os elevados valores encontrados na borda leste da bacia do Jaque, provavelmente esta sendo representado por uma região de estruturalmente mais desenvolvida (ainda não confirmado), uma vez que, a litologia correspondente desta área é constituída por calcários impuros e consequentemente menos produtivos.

ii) Potencial hídrico intermediário ($1,0 < S < 5,0 \text{ m}^3/\text{h.m}$), os valores intermediários, compreendem a maior parte da região estuda, estando este circundando os valores de baixo e alto potencial. Valores singelos de alto ou baixo potencial se encontra dispostos por toda a área, sendo representados por resultados individualizados de poços.

iii) Potencial hídrico baixo ($S < 1,0 \text{ m}^3/\text{h.m}$), os baixos valores encontrados na região nordeste e a parte alta da bacia do Jaque, são representados por metapelitos da Formação Serra de Santa Helena. Já os valores baixos encontrados na porção alta da bacia do Ribeirão da Mata são representados pela ocorrência de granitos do Complexo Belo Horizonte e consequentemente pequena espessura dos calcários depositados nesta região.

Quanto ao compartimento cárstico superior, este foi delimitado pelos altos hidrográficos e também pelos resultados das conexões hidráulicas comprovadas mediante ensaios com injeção de traçadores corantes por Teodoro *et. al.* (2019) (Figura 19). Neste trabalho, se distinguiram quatro regiões principais; i) norte, formado pelas bacias Escrivania-Gordura e pela bacia do córrego Flor; ii) central, formado pelas bacias do Palmeiras-Jaguará e bacia do córrego Samambaia; iii) sudoeste, constituída pela bacias de Confins, Retiro e do córrego Jaque; iv) bacias marginais, a leste representada pela bacia da margem esquerda do Rio das Velhas e a oeste pela bacia da margem esquerda do Ribeirão da Mata.

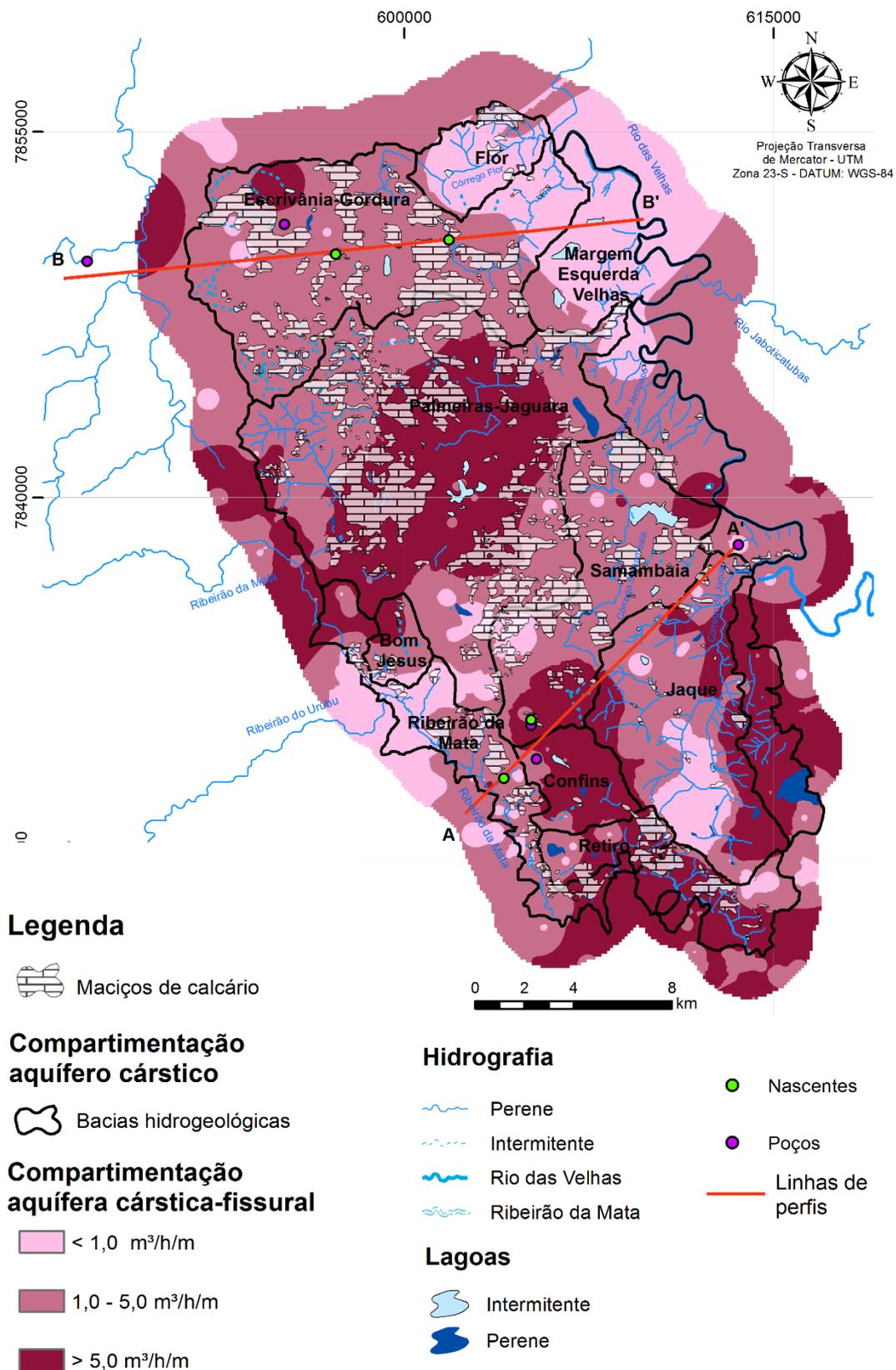


Figura 19: Mapa do compartimento aquífero cárstico superior, delimitado pela topografia e pelos estudos com traçadores corantes, e de potencialidade hídrica do compartimento cárstico-fissural inferior.

PARTE 3: DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO – 7 RESULTADOS DO MODELO HIDROGEOLÓGICO

Os perfis hidrogeológicos mostram a distinção dos dois compartimentos aquíferos e os níveis d’água destes identificados pelas entradas d’água em cada compartimento (Figuras 20).

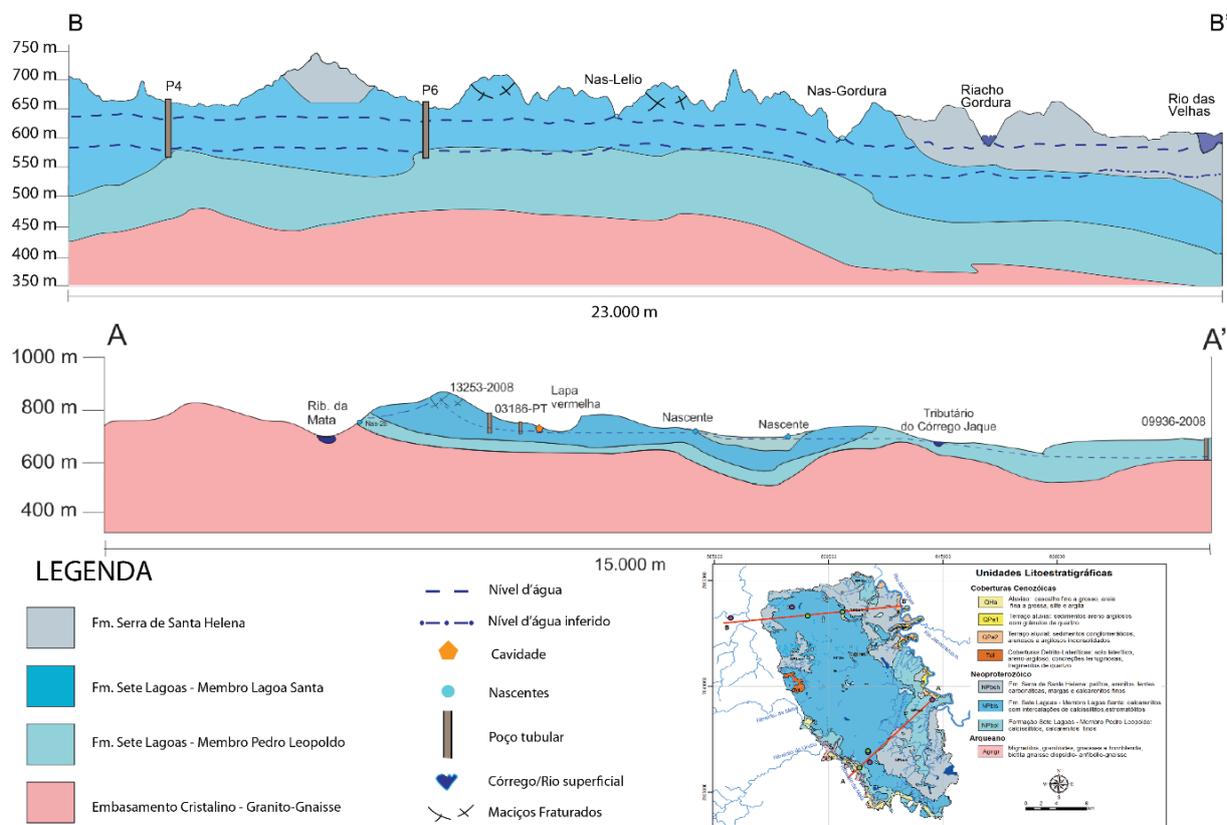


Figura 20: Perfis de separação dos compartimentos cárstico (Superior) e cárstico-fissural (Inferior).

8. CONCLUSÕES

O modelo conceitual para a região apresentou condições hidráulicas de contorno definidas por rios que apresentaram cotas inferiores às entradas de água da unidade aquífera e litologias de baixa permeabilidade. Apesar das condições de contorno delimitarem quase a totalidade da área, foi identificada a continuidade de fluxo provindo de oeste para leste nas imediações da bacia do córrego Palmeiras.

A unidade aquífera carbonática representada pela formação Sete Lagoas, apesar de ser depositada sobre um sistema *rift graben* do Complexo Belo Horizonte que se aprofunda para leste, mostrou uma espessura média de 200 metros por quase toda a bacia.

Para o cálculo do balanço hídrico, foi necessário realizar um monitoramento hidrometeorológico durante o ano hidrológico de 2016/2017. A monitoração foi realizada de maneira automatizada por transdutores de pressão em cursos de água, proporcionando a realização de curvas chaves bem calibradas para as bacias hidrográficas estudadas. O sistema de monitoramento automatizado apresentou falhas na aquisição de dados. Deste modo, faz-se necessário o desenvolvimento de uma metodologia adequada para o sistema cárstico capaz de completar as falhas de monitoramento.

O método se mostrou eficiente desde que não ocorram interferências antrópicas ou influências vindas de fora do sistema, exibindo erros inferiores a 10 % entre os totais calculados e monitorados. É importante ressaltar que quanto melhor a calibração das curvas chaves utilizadas, melhor é a aderência da metodologia. Desta forma, recomenda-se um maior período de monitoramento para melhor aferição das curvas chaves.

A entrada de água do sistema aquífero é representada pela recarga aquífera de 119 mm (12% da pluviometria). Tal dado representou 7,4 vezes o valor do escoamento superficial como resultado das excelentes condições de infiltração, como os abundantes maciços fraturados, sumidouros e dolinas, o que é corroborado pela escassa rede de drenagem superficial e pelo índice de 91% do escoamento subterrâneo sobre o superficial. Além da recarga aquífera o sistema recebe água provinda de regiões externa à área estudada, sendo essas representadas pelas nascentes 14 na bacia do Escrivânia – Gordura e a nascente 37 na bacia do Palmeiras – Jaguará.

A avaliação das entradas de água dos poços tubulares mostrou uma intermitência mais produtiva do sistema aquífero no intervalo de cota 638 a 712 metros, representando mais de 50% das entradas de água registradas. A mesma correlação de cota foi realizada com as nascentes de alta vazão concentrando 70% dessas nesse mesmo intervalo de cota, podendo

defini-lo como compartimento cárstico e as contas inferiores como compartimento cárstico-fissural.

Para o compartimento cárstico, foram calculados valores de condutividade hidráulica na ordem (10^{-03} m/s) e para o compartimento cárstico-fissural (10^{-06} m/s). Para os demais parâmetros hidrodinâmicos (T e S), os dados foram obtidos a partir de ensaios de recuperação resultando em valores modais de coeficiente de transmissividade (10^{-04} m²/s) e 10^{-05} para o coeficiente de armazenamento.

A comparação dos valores de vazão das nascentes caudalosas, realizadas neste trabalho com medições realizadas há mais de 25 anos, mostrou uma similaridade de mais de 90% entre elas. Porém, a região estudada apresenta retiradas antrópicas, principalmente realizadas por poços tubulares, superiores aos valores de recarga aquífera. Desta forma, é possível propor um isolamento hidráulico do sistema fissural para o cárstico, ou até mesmo, que esse último seja alimentado pelo aquífero fissural.

As retiradas por poços tubulares aliados à exploração de água em córregos revelam elevado grau de antropização na região, o qual é responsável por explorar toda a recarga aquífera pluviométrica da região. Além das retiradas antrópicas e da descarga natural do sistema aquífero para o rio das Velhas, foram observadas saídas externas representadas pelas nascentes 8, 24, 25 e 26 localizadas nas bacias do ribeirão da Mata e Retiro.

Devido à exploração crescente dos recursos hídricos da região e sua importância cultural e paisagística de um sistema cárstico de alta vulnerabilidade, é recomendável o contínuo monitoramento hidrometeorológico da região para a melhoria constante dos estudos nessa localidade.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albuquerque A. C. S. 2009. Estimativa de Recarga da Bacia do Rio das Fêmeas Através de Métodos Manuais e Automáticos. Dissertação de Mestrado, em Ciências Florestais – Universidade de Brasília, 101p.

Alkmim, F.F.; Brito Neves, B.B. & Castro Alves, J.A. 1993. Arcabouço tectônico do Cráton do São Francisco: uma revisão, SBG - Núcleo BA/SE: 45-62.

Alkmim F.F. 2004. O que faz de um cráton um cráton? O Cráton do São Francisco e as revelações almeidianas ao delimitá-lo. In: V. Mantesso-Net; A. Bartorelli; C.D.R. Carneiro; B.B. Brito Neves (orgs.) Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca, p. 17–35.

Alkmim F.F. & Martins-Neto M.A. 2001. A bacia intracratônica do São Francisco: arcabouço estrutural e cenários evolutivos. In: C.P. Pinto & M.A. Martins-Neto (eds.). A Bacia do São Francisco geologia e recursos naturais. SBG: Belo Horizonte, p. 9-30.

Almeida F.F.M. 1977. O Cráton do São Francisco. Revista Brasileira de Geociências, 7, 349-364.

Amaral, D.G.P, Velásquez, L.N.M., Rodrigues, P.C.H. 2019. Comportamento hídrico das depressões cársticas da região de Lagoa Santa, MG. Rev. Águas Subterrâneas, 33, 2, 196-209.

Amorim Neto, M. da S. 1989. Balanço hídrico segundo Thornthwaite & Mather (1955). Embrapa Semiárido-Comunicado Técnico (INFOTECA-E).

ANA.2017. Agência Nacional de Águas. Disponível em: <<http://mapas-hidro.ana.gov.br/Usuario/Estacao.aspx?est=193343540>>. Último acesso em: 10 mar. de 2017.

Anderson, M. A. & Woessner, W. W. 1992. Applied groundwater modeling: Simulation of flow and advective transport. Academic Press. Inc.: California (USA). 381p.

Andrade, I. B., Amorim, J. B. 2018. Mapeamento geológico com ênfase na relação hidráulica entre o complexo granítico-gnáissico com o grupo Bambuí. Trabalho de Graduação – Universidade Federal de Minas Gerais, 105p.

Auler, A. 1994. Hydrogeological and Hydrochemical Characterization of the Matozinhos Pedro Leopoldo Karst, Brazil. Western Kentucky University. Dissertação de Mestrado, 110 p.

Babinski, M., Vieira, L.C., Trindade, R.I.F., 2007. Direct dating of the Sete Lagoas cap carbonate (Bambuí Group, Brazil) and implications for the Neoproterozoic glacial events. *Terra Nova*, 19, 401–406.

Barbosa, G.V. 1961. Notícia sobre o karst na mata de Pains. *Boletim Mineiro de Geografia*, Belo Horizonte, n. 2 e 3, 3-21.

Barlow, P.M., Cunningham, W.L., Zhai, Tong, and Gray, Mark. 2014. U.S. Geological Survey Groundwater Toolbox, a graphical and mapping interface for analysis of hydrologic data (version 1.0): User guide for estimation of base flow, runoff, and groundwater recharge from streamflow data: U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 3, chap. B10, 2014, 27 p.

Barlow, P.M., Cunningham, W.L., Zhai, Tong, and Gray, Mark. 2017. U.S. Geological Survey Groundwater Toolbox version 1.3.1, a graphical and mapping interface for analysis of hydrologic data: U.S. Geological Survey Software Release, 26 May 2017.

Batista, R.C.B. 2009. Caracterização hidrogeológica do entorno do Centro Nacional de Pesquisa Milho e Sorgo (CNPMS) em Sete Lagoas – MG. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) - Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 127 p.

Berbert-Born, M.L.C. 1998. Geoquímica dos Sedimentos Superficiais da Região Cárstica de Sete Lagoas-Lagoa Santa (MG), e os indícios de Interferências Antrópicas. DEGEO/UFOP. Dissertação de Mestrado.

Berbert-Born, M.L.C. 2002. Carste de Lagoa Santa, MG: Berço da paleontologia e da espeleologia brasileira. In: *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*, vol. 1, Brasília.

Bower, H. and R.C. Rice. 1976. A slug test method for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells, *Water Resources Research*, vol. 12, no. 3, pp. 423-428.

Cabral, J.A.L. 1994. Informações Básicas para a Gestão Territorial; Inventário de Cavidades Naturais Região de Matozinhos Mocambo. Vol.1. Belo Horizonte, 121 p.

Caxito F.A., Halverson G.P., Uhlein A., Stevenson R., Dias T.G., Uhlein G.J. 2012. Marinoan glaciation in east central Brazil. *Precambrian Research*, 200-203, 38–58.

Carneiro, F.A. 2013. Modelagem hidrogeoquímica do sistema aquífero pelito-carbonático existente no CNPMS da Embrapa Sete Lagoas, MG, Brasil. Universidade Federal

de Minas Gerais, Belo Horizonte. Tese (Doutorado em Engenharia Sanitária) - Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 338 p.

Cooper, H. H., Bredehoeft, J. D., Papadopoulos, S.S. 1967. Response of Finite-Diameter Well to an Instantaneous Charge of Water, *Water Resources Research*, vol. 3, no. 1, pp. 263-269.

Costa F. M., 2005. Análise por Métodos Hidrológicos e Hidrogeoquímico de Fatores Condicionantes do Potencial Hídrico de Bacias Hidrográficas – Estudo de Caso no Quadrilátero Ferrífero – MG. Dissertação de Mestrado, em Ciências Florestais – Universidade Federal de Ouro Preto, 147p.

Costa, M. T.; Branco, J. J. R. 1961. Introdução. In: Roteiro para a excursão Belo Horizonte - Brasília. 14º Congresso Brasileiro de Geologia. UFMG, Inst. Pesq. Radioat., Publ. 15, 25 p, Belo Horizonte.

Dardenne, M.A. 1978. Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 30, Recife, Anais, 2, 597-610.

Davis, S.N., DeWiest, R.J.M. 1966. *Hydrogeology*. New York: John Wiley, 463 p.

Feitosa, F.A.C. 2008. *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*. 3 ed. rev e ampl. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 812p.

Ferrari, J. A. & Karmann, I. 2008. Comportamento Hidrodinâmico de Sistemas Cásticos na Bacia do Rio Betari, Município de Iporanga – SP. Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental – Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, SP. *Revista do Instituto de Geociências – USP*. V.8, n.1: 1-13.

Fetter, C., 2001. *Applied Hydrogeology*, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 3 rd ed., 691p.

Field, M.S. 2002. *A lexicon of cave and karst terminology with special reference to environmental karst hydrology*. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.

Filho, K. Z., Silva, R. M., Porto, R. L. L. 2001. *Medição de Vazão e Curva Chave*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. PHD – 307 Hidrologia aplicada, 48p.

Fleury, S. 2009. *Land use policy and practice on karst terraines: Living on limestone*. Springer. 187 p.

Ford, D.C., Williams, P.W. 1989. *Karst Geomorphology and Hydrology*. Unwin Hyman, London, 601 p.

Ford, D.C., Williams, P.W. 1991. Karst geomorphology and hidrology. London: Chapman-Hall.

Ford, D.C. & Williams, P.W. 2007. Karst geomorphology and hydrology. 2 ed. John Wiley & Sons, Chichester, Reino Unido. 562 p.

Freeze, R.A. & Cherry, J.A. 1979. Groundwater. Englewood Cliffs [Estados Unidos]: Prentice-Hall, xvi, 604 p.

Freyberg, B. V. 1932. Ergebnisse geologischer Forschungen in Minas Gerais (Brasilien). N.Jb. Miner. Geol. Paleont Sbd., 2, 403 S., Stuttgart

Galvão, P. H. F. 2015. Modelo hidrogeológico conceitual de Sete Lagoas (MG) e implicações associadas ao desenvolvimento urbano em regiões cársticas. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. Tese de Doutorado (Recursos Minerais e Hidrogeologia), 124 p.

Galvão, P.; Halihan, T.; Hirata, R. 2015. Evaluating karst geotechnical risk in the urbanized area of Sete Lagoas, Minas Gerais, Brazil. Hydrogeology Journal, 23, 1499.

Galvão, P.; Halihan, T.; Hirata, R. 2016. Transmissividade de aquíferos sem ensaio de bombeamento pelo método da zona de captura. XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Campinas.

Galvão, P., Hirata, R., Cordeiro, A., Barbati, D. & Peñaranda, J. 2016. Geologic conceptual model of the municipality of Sete Lagoas (MG, Brazil) and the surroundings. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 88, n. 1, p. 35-53.

Galvão, H. F. P. 2015. Hydrogeological Conceptual Model of Sete Lagoas (MG) and Implications of Urban Development in Karst Regional. PhD Thesis, University of São Paulo, Brazil, - 136 p.

Garrels, R.M. & Christ, C.L. 1965. Solutions, minerals, and equilibria. San Francisco: xiii, 450 p.

Goldscheider N. & Drew, D. 2007. Methods in Karst Hydrogeology. International Contributions to Hydrogeology, 26, London, Taylor & Francis, 264 p.

Grossi-Sad, J. H. & Quade, H., 1985. Revisão estratigráfica do Grupo Bambuí (Bloco Oriental) em Minas Gerais. In: Simpósio de Geologia de Minas Gerais, 3, 1985, Belo Horizonte. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo de Minas Gerais, 5, 68-83.

Hvorslev, M.J., 1951. Time Lag and Soil Permeability in Ground-Water Observations, Bull. No. 36, Waterways Exper. Sta. Corps of Engrs, U.S. Army, Vicksburg, Mississippi, pp. 1-50.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. 2017. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas>>. Último acesso em: 10 mar. de 2017.

Karamouz M., Ahmadi A., Akhbari M. 2011. Groundwater Hydrology: Engineering, Planning, and Management. CRC Press. Taylor & Francis Group. 649 p.

Karmann, I. 1994. Evolução e dinâmica atual do sistema cárstico do alto vale do rio Ribeira do Iguape, sudeste do estado de São Paulo. Universidade de São Paulo, São Paulo. Tese Doutorado, 228 p.

King, L.C. 1956. A Geomorfologia do Brasil Oriental. Revista Brasileira de Geografia, 18, 2, 147–266.

Kohler, H.C.1978. A Evolução Morfogenética da Lagoa Santa - MG. Anais 30º Congresso Brasileiro de Geologia, Recife, 1, 147-153.

Kohler, H. C. 1989. Geomorfologia Cárstica na Região de Lagoa Santa - MG. São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da USP, São Paulo. Tese de Doutorado, 113p.

Kohler, H.C., Coutard, J.P., Queiroz Neto, J.P. 1978. Excursão a região kárstica ao norte de Belo Horizonte. In: Colóquio Interdisciplinar Franco-brasileiro: Estudo e Cartografiação de Formações Superficiais e sua Aplicações em Regiões Tropicais, São Paulo, USP, 11, 20-43. (guia de excursões).

Legrand, H. E.; Lamoreaux, P. E. 1975. Hydrogeology and hydrology of karst. In: Burger A.; Dubertret, L. Hydrogeology of karstic terrains, (Ed.), Paris:IAH,

Lousada, E. O., Campos, J. E. G. 2005. Proposta de modelos hidrogeológicos conceituais aplicados aos aquíferos da região do Distrito Federal, Revista Brasileira de Geociências, Volume 35.

Machado, D.A. 2011. Caracterização hidrogeológica e vulnerabilidade natural das águas subterrâneas no entorno do Centro Nacional de Pesquisa Milho e Sorgo – Sete Lagoas/MG. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Sanitária) - Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 230 p.

Magalhães, L. 1988. Análise Estrutural Qualitativa dos sedimentos do Grupo Bambuí, região da bacia do São Francisco (Faixa Sete Lagoas-Serra do Cipó). DEGEO/EM/UFOP, Ouro Preto. Dissertação de Mestrado, 109 p.

Manoel Filho, J. 2008. Ocorrência das águas subterrâneas. In: Feitosa, F. A. C. e Filho, J. M. Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. 3ed. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, p.53-75

Martínez M. I. *et al.* 2010. Influencia de los factores geológicos e hidrogeológicos em lãs altas concentraciones naturales de fluoruro em las aguas subterrâneas del Grupo Bambuí (Neoproterozoico), norte del estado de Minas Gerais, Braisil. Boletín geológico y minero. V. 121, n.1: 22-43.

Meneses, I.C.R.R.C. de. 2003. Análise Geossistêmica na Área de Proteção Ambiental (APA) Carste de Lagoa Santa, MG. PUC-MG, Belo Horizonte. Dissertação de Mestrado, 187 p.

Milanović, P. 2004. Water resources engineering in karst. CRC press.

Mourão, M.A.A., Cruz, W.B., Gonçalves, R.LF. 2001. Caracterização hidrogeológica da porção mineira da bacia hidrográfica do São Francisco. In: Bacia do São Francisco: geologia e recursos naturais. Belo Horizonte, p. 327 – 349.

Nimer, E. 1989. Climatologia do brasil. IBGE, Departamento de Recursos Minerais e Estudos Ambientais, Rio de Janeiro, 421 p.

Noce, C, M.; Teixeira, W.; Machado, N. 1997. Geoquímica dos gnaisses TTG e granitoides neoarqueanos do Complexo Belo Horizonte, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências*, 27(1): 25-32.

Paula, R.S. de, Velásquez, L.N.M. 2019. Balanço hídrico em sistema hidrogeológico cárstico, região de Lagoa Santa, Minas Gerais. *Rev. Águas Subterrâneas*, 33, 2, 119-133.

Peñaranda-Salgado, J.R. 2016. Condicionamento estrutural e litológico da porosidade cárstica da formação Sete Lagoas, Município de Sete Lagoas (MG). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. Dissertação (Mestrado em Hidrogeologia e Meio Ambiente).

Pessoa, P.F.P. 1996. Caracterização Hidrogeológica da Região Cárstica de Sete Lagoas, MG: Potencialidades e Riscos. Universidade de São Paulo, São Paulo. Dissertação de Mestrado, 101 p.

Pessoa, P.F.P. 2005. Hidrogeologia dos Aquíferos Cársticos Cobertos de Lagoa Santa, MG. SMARH/UFMG, Belo Horizonte. Tese de Doutorado, 375 p.

Piló, L.B. 1989. A morfologia cárstica do baixo curso do rio Peruaçu, Januária-Itacarambi, MG. Instituto de Geociências da UFMG, Belo Horizonte. Monografia de Graduação, 80 p.

Piló, L.B. 1998. Morfologia cárstica e materiais constituintes: dinâmica e evolução da depressão poligonal Macacos-Baú, carste de Lagoa Santa, MG. Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo – USP, São Paulo. Tese de Doutorado, 269 p.

Piló, L.B. 2000. Geomorfologia Cárstica - Revisão de Literatura. Revista Brasileira de Geomorfologia, 1, 1, 88-102.

Piscoya, R. C. C. C.; Lopes, W. T. A.; Lemos, G. M.; Silva, L. S.; Silva, M. C. A. M. 2013. Análise de consistência de dados fluviométricos de estações de monitoramento da ANA localizadas nas sub-bacias hidrográficas 10 (rios Solimões, Javari e Itaquai) e 11 (rios Solimões, Içá e Jandiatuba). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20, 2013, Bento Gonçalves, RS. Anais... ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos.

Ribeiro, C.G.; Meireles, C.G.; Lopes, N.H.B.; Arcos, R.E.C. 2016. Levantamento Geológico estrutural Aplicado aos Fluxos dos Aquíferos Cárstico-Fissurais da Região da APA Carste de Lagoa Santa, Minas Gerais. Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Trabalho Geológico de Graduação.

Ribeiro, C.G., Velásquez, L.N.M., de Paula, R.S., Meireles, C.G., Lopes, N.H.B, Arcos, R.E.C., Amaral, D.G.P. 2019. Análise de fluxos nos aquíferos cárstico-fissurais da região da APA Carste de Lagoa Santa, MG. Rev. Águas Subterrâneas, 33, 1, 12-21.

Ribeiro, J.H.; Tuller, M.P.; Filho, A.D.; Padilha, A.V.; Córdoba, C.V. 2003. Projeto VIDA: mapeamento geológico, região de Sete Lagoas, Pedro Leopoldo, Matozinhos, Lagoa Santa, Vespasiano, Capim Branco, Prudente de Moraes, Confins e Funilândia, Minas Gerais - Relatório final, escala 1:50.000. 2ª ed.; Belo Horizonte: CPRM, 54p., Mapas e anexos (Série Programa Informações Básicas para Gestão Territorial - GATE, versão digital).

Rimann E.T. 1917. A kimberlita no Brasil. Anais da Escola de Minas, Ouro Preto, 15, 27-32.

Rolim, G.S.; Sentelhas, P.C.; Barbieri, V. 1998. Planilhas no ambiente EXCEL para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.6, p.133-137.

Rutledge, A. T., Daniel, C. C. 1994. Testing an automated method to estimate ground-water recharge from streamflow records. Ground Water 32 (2): 180-189.

Santos, J.S.; Pitombeira, E.S. 2006. Estimativa dos efeitos do melhoramento da eficiência hídrica de aquíferos fissurados no semi-árido cearense. XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas – Curitiba - 2006.

Schobbenhaus, C.; Campos, D.A.; Derza, G.R.; Asmus, G.E. 1984. Geologia do Brasil. Texto Explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais, escala 1:2500000. 501p. Ilustrado.

Scholl W.U. 1976. Sedimentologia e geoquímica do Grupo Bambuí na parte sudeste da Bacia do São Francisco. In: SBG: Congresso Brasileiro de Geologia, 29, Anais, 207 - 231.

Shinzato, E. 1998. O Carste da Área de Proteção Ambiental de Lagoa Santa (MG) e sua influência na formação dos solos. UENF/CCTA, Campo dos Goytacazes. Dissertação de Mestrado.

Silva, J.C.S. 2003. Caracterização hidrogeológica ambiental da área de influência da Mina Lapa Vermelha, na região cárstica de Lagoa Santa, MG. Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), 303 p.

Silva, A.B. da. 2008. Hidrogeologia de Meios Cársticos. In: Feitosa, F. A. C. e Filho, J. M. Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. 3ed. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, p.153-174.

Silva, A. B.; Moreira, C. V. R.; Cesar, F. M.; Auler, 1987. A. Estudo da Dinâmica dos Recursos Hídricos da Região Cárstica dos Municípios de Lagoa Santa, Pedro Leopoldo e Matozinhos. Unpublished technical report, CETEC, p.32.

Snow, D.T.; 1965. A Parallel Plate Model of Fractured Permeable Media, PhD Dissertation, University of California, Berkeley, 331 pp.

Snow, D.T., 1969. Anisotropic Permeability of Fractured Media, Water Resources Research, v.5, no.6, pp 1273-1289.

Teodoro, M. I. P., Velásquez, L. N. M., Fleming, P. M., Paula, R. S., Souza, R. T., Doi, B. B. 2019. Interconexões e Hidrodinâmica do Sistema Aquífero Cárstico Bambuí, com uso de Traçadores Corantes, na Região de Lagoa Santa, Minas Gerais. (no prelo).

Teutsch, G., Sauter, M. 1991. Groundwater Modeling in Karst Terranes: Scale effects, data acquisition and field validation. Proc. Third Conf. Hydrogeology, Ecology, Monitoring, and Management of Ground Water in Kart Terranes, Nashville, TN, 17-35.

Thornthwaite, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geogr. Rev, v.38, p.55-94.

Thornthwaite, C.W.; Mather, J.R. 1955. The water balance. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 104p.

Tricart, J. 1956. O Karst das vizinhanças setentrionais de Belo Horizonte (Minas Gerais). Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, 4, 3-20.

Tucci, C.E.M.; Beltrame, L.F.S. 2001. Evaporação e evapotranspiração. In: TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Universidade/UFRGS, p. 253-288.

Tucci, C.E.M. 2001. Escoamento superficial. In: TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Universidade/UFRGS, p. 391-442.

Tuller M.P., Ribeiro J.H., Signorelli N., Féboli W.L., Pinho J.M.M. 2010. Projeto Sete Lagoas - Abaeté. Belo Horizonte, Convênio Secretária de Geologia, Mineração e Transformação Mineral / Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - Serviço Geológico do Brasil, 160 p.

Van Beynen, P.E. 2011. Karst Management. Springer Publishing, Dordrecht, 489 p.

Velásquez, L.N.M.; Andrade, I.B.; Ribeiro, C.G.; Amaral, D.G.P.; Vieira, L.C.M.; Cardoso, F.A.; Paula, R.S.; Silva, P.H.P.; Souza, R.T.; Almeida, S.B.S. 2018. Projeto de adequação e implantação de uma rede de monitoramento de águas subterrâneas em áreas com cavidades cársticas da Bacia do Rio São Francisco aplicado à Área Piloto da APA Carste de Lagoa Santa, Minas Gerais. Relatório parcial, PROCESSO FUNDEP/GERDAU/UFGM n22.317 / Plano de ação nacional para a conservação do patrimônio espeleológico nas áreas cársticas da bacia do São Francisco. Pan Cavernas do São Francisco.

Viana, H.S., Kohler, H.C., Tavares, V.P. (Org.). 1998. APA Carste de Lagoa Santa - Meio Físico. Volume I. IBAMA/CPRM, Belo Horizonte, 301p.

Vieira, L. C. 2007. A Formação Sete Lagoas (Grupo Bambuí) e as variações paleoambientais no final do Proterozóico. Tese de Doutorado - Universidade de São Paulo.

Vieira L.C., Trindade R.I.F., Nogueira A.C.R., Ader M. 2007. Identification of a Sturtian cap carbonate in the Neoproterozoic Sete Lagoas carbonate platform, Bambuí Group, Brazil. *Comptes Rendus Geoscience*, 339, 240–258.

Vieira, L.C.M. 2018. Hidrogeoquímica dos Aquíferos da Região da APA Carste de Lagoa Santa, MG. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 111 p.

Vieira, L.C.M.; Dussin, T.M.; Velásquez, L.N.M. 2018. Geoquímica e condições paleoambientais de deposição das rochas carbonáticas da Formação Sete Lagoas na região da Área de Proteção Ambiental Carste de Lagoa Santa, MG. *Geochimica Brasiliensis*, 32, 1, 1-19.

Warren L.V., Quaglio F., Riccomini C., Simões M.G., Poiré D.G., Strikis, N.M., Anelli L.E., Strikis P.C. 2014. The puzzle assembled: Ediacaran guide fossil *Cloudina* reveals an old proto-Gondwana seaway. *Geology*, 42, 391–394.

White, W.B. 2002. Karst hydrology: recent developments and open questions. *Engineering Geology* 65, 85-105.

White, W.B. 2003. Conceptual models for karstic aquifers. *Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers* 1, 1, 6p.

Wilson, C.R. 1970. An Investigation of Laminar Flow in Fractured Porous Rock, PhD Dissertation, University of California, Berkeley, 178 pp.

Worthington, S.R.H. 1991. Karst hydrogeology of the Canadian Rocky Mountains. Ph.D. thesis, McMaster University, Hamilton, Ontario. 227 p.

APÊNDICE I

MONITORAMENTO FLUVIOMÉTRICO

Sumário

Vazão Média Diária Monitorada

Vazão Média Diária Calculada

APÊNDICE – I: MONITORAMENTO FLUVIOMÉTRICO

Vazão Média Diária Monitorada (m³/s) Córrego Gordura

01/10/2016	0,73749	12/11/2016	0,89738	24/12/2016	1,22549	04/02/2017	0,85731	18/03/2017	29/04/2017	10/06/2017	22/07/2017	0,61539	
02/10/2016	0,76557	13/11/2016	1,06818	25/12/2016	1,15934	05/02/2017	0,95082	19/03/2017	30/04/2017	11/06/2017	23/07/2017	0,63853	
03/10/2016	0,74903	14/11/2016	1,24073	26/12/2016	1,14321	06/02/2017	1,23007	20/03/2017	01/05/2017	12/06/2017	0,59234	24/07/2017	0,64032
04/10/2016	0,86918	15/11/2016	1,45146	27/12/2016	1,18535	07/02/2017	1,35064	21/03/2017	02/05/2017	13/06/2017	0,61860	25/07/2017	0,65479
05/10/2016	0,95476	16/11/2016	1,25406	28/12/2016	1,13903	08/02/2017	1,17055	22/03/2017	03/05/2017	14/06/2017	0,56914	26/07/2017	0,64280
06/10/2016	0,92592	17/11/2016	1,27612	29/12/2016	1,10879	09/02/2017	0,98562	23/03/2017	04/05/2017	15/06/2017	0,55773	27/07/2017	0,64426
07/10/2016	0,84437	18/11/2016	1,27708	30/12/2016	1,05870	10/02/2017	0,90273	24/03/2017	05/05/2017	16/06/2017	0,58901	22/07/2017	0,61539
08/10/2016	0,78963	19/11/2016	1,21062	31/12/2016	1,06187	11/02/2017	0,91835	25/03/2017	06/05/2017	17/06/2017	0,56688	23/07/2017	0,63853
09/10/2016	0,67970	20/11/2016	1,09031	01/01/2017	1,03080	12/02/2017		26/03/2017	07/05/2017	18/06/2017	0,56037	24/07/2017	0,64032
10/10/2016	0,71107	21/11/2016	1,01080	02/01/2017	0,99839	13/02/2017		27/03/2017	08/05/2017	19/06/2017	0,56743	25/07/2017	0,65479
11/10/2016	0,68783	22/11/2016	0,94805	03/01/2017	0,93755	14/02/2017		28/03/2017	09/05/2017	20/06/2017	0,56272	26/07/2017	0,64280
12/10/2016	0,72413	23/11/2016	0,93526	04/01/2017	0,93472	15/02/2017		29/03/2017	10/05/2017	21/06/2017	0,54897	27/07/2017	0,64426
13/10/2016	0,67160	24/11/2016	0,92681	05/01/2017	0,94973	16/02/2017		30/03/2017	11/05/2017	22/06/2017	0,55429	28/07/2017	0,63801
14/10/2016	0,69896	25/11/2016	0,89674	06/01/2017	0,93251	17/02/2017		31/03/2017	12/05/2017	23/06/2017	0,55313	29/07/2017	0,63316
15/10/2016	0,68348	26/11/2016	0,79806	07/01/2017	0,89715	18/02/2017		01/04/2017	13/05/2017	24/06/2017	0,52690	30/07/2017	0,62513
16/10/2016	0,69808	27/11/2016	0,75529	08/01/2017	0,86600	19/02/2017		02/04/2017	14/05/2017	25/06/2017	0,54853	31/07/2017	0,65054
17/10/2016	0,75938	28/11/2016	0,77946	09/01/2017	0,88088	20/02/2017		03/04/2017	15/05/2017	26/06/2017	0,56574	01/08/2017	0,62045
18/10/2016	0,72191	29/11/2016	0,76750	10/01/2017	0,83927	21/02/2017		04/04/2017	16/05/2017	27/06/2017	0,56136	02/08/2017	0,63163
19/10/2016	0,70509	30/11/2016	0,95989	11/01/2017	0,95180	22/02/2017		05/04/2017	17/05/2017	28/06/2017	0,54174	03/08/2017	0,64341
20/10/2016	0,67169	01/12/2016	0,90957	12/01/2017	0,94812	23/02/2017		06/04/2017	18/05/2017	29/06/2017	0,53462	04/08/2017	0,64129
21/10/2016	0,61170	02/12/2016	0,87863	13/01/2017	0,91393	24/02/2017		07/04/2017	19/05/2017	30/06/2017	0,54764	05/08/2017	0,60213
22/10/2016	0,58855	03/12/2016	0,82094	14/01/2017	0,92819	25/02/2017		08/04/2017	20/05/2017	01/07/2017	0,52249	06/08/2017	0,65361
23/10/2016	0,67002	04/12/2016	0,84781	15/01/2017	1,19961	26/02/2017		09/04/2017	21/05/2017	02/07/2017	0,57283	07/08/2017	0,66455
24/10/2016	0,67063	05/12/2016	0,95193	16/01/2017	1,15557	27/02/2017		10/04/2017	22/05/2017	03/07/2017	0,54005	08/08/2017	0,62943
25/10/2016	0,64089	06/12/2016	0,98807	17/01/2017	1,02243	28/02/2017		11/04/2017	23/05/2017	04/07/2017	0,52837	09/08/2017	0,61260
26/10/2016	0,64611	07/12/2016	0,87974	18/01/2017	0,93416	01/03/2017		12/04/2017	24/05/2017	05/07/2017	0,54782	10/08/2017	0,62094
27/10/2016	0,59529	08/12/2016	0,83538	19/01/2017	0,92098	02/03/2017		13/04/2017	25/05/2017	06/07/2017	0,54132	11/08/2017	0,62514
28/10/2016	0,57873	09/12/2016	0,85822	20/01/2017	0,90742	03/03/2017		14/04/2017	26/05/2017	07/07/2017	0,55205	12/08/2017	0,59123
29/10/2016	0,56230	10/12/2016	0,99654	21/01/2017	0,86900	04/03/2017		15/04/2017	27/05/2017	08/07/2017	0,53282	13/08/2017	0,62815
30/10/2016	0,65095	11/12/2016	1,19347	22/01/2017	0,85749	05/03/2017		16/04/2017	28/05/2017	09/07/2017	0,55647	14/08/2017	0,64073
31/10/2016	0,64684	12/12/2016	1,22090	23/01/2017	0,88953	06/03/2017		17/04/2017	29/05/2017	10/07/2017	0,57835	15/08/2017	0,63166
01/11/2016	0,60582	13/12/2016	1,31192	24/01/2017	0,88141	07/03/2017		18/04/2017	30/05/2017	11/07/2017	0,56429	16/08/2017	0,63951
02/11/2016	0,58687	14/12/2016	1,44592	25/01/2017	0,88920	08/03/2017		19/04/2017	31/05/2017	12/07/2017	0,56007	17/08/2017	0,62091
03/11/2016	0,62018	15/12/2016	1,53594	26/01/2017	0,84584	09/03/2017		20/04/2017	01/06/2017	13/07/2017	0,55157	18/08/2017	0,63091
04/11/2016	0,61763	16/12/2016	1,51511	27/01/2017	0,84268	10/03/2017		21/04/2017	02/06/2017	14/07/2017	0,54593	19/08/2017	0,61419
05/11/2016	0,64540	17/12/2016	1,45147	28/01/2017	0,87499	11/03/2017		22/04/2017	03/06/2017	15/07/2017	0,58727	20/08/2017	0,64127
06/11/2016	0,63532	18/12/2016	1,39161	29/01/2017	0,87574	12/03/2017		23/04/2017	04/06/2017	16/07/2017	0,64099	21/08/2017	0,64048
07/11/2016	0,69972	19/12/2016	1,35370	30/01/2017	0,84646	13/03/2017		24/04/2017	05/06/2017	17/07/2017	0,62279	22/08/2017	0,61365
08/11/2016	0,71303	20/12/2016	1,31105	31/01/2017	0,81301	14/03/2017		25/04/2017	06/06/2017	18/07/2017	0,64476	23/08/2017	0,63897
09/11/2016	0,88008	21/12/2016	1,24603	01/02/2017	0,80879	15/03/2017		26/04/2017	07/06/2017	19/07/2017	0,66069	24/08/2017	0,63497
10/11/2016	0,91115	22/12/2016	1,24669	02/02/2017	0,78714	16/03/2017		27/04/2017	08/06/2017	20/07/2017	0,63258	25/08/2017	0,63507
11/11/2016	0,84673	23/12/2016	1,22984	03/02/2017	0,84735	17/03/2017		28/04/2017	09/06/2017	21/07/2017	0,64851	26/08/2017	0,61083

APÊNDICE – I: MONITORAMENTO FLUVIOMÉTRICO

27/08/2017	0,63855	01/09/2017	0,63388	06/09/2017	0,64472	11/09/2017	0,65747	16/09/2017	0,56465	21/09/2017	0,59742	26/09/2017	0,61045
28/08/2017	0,66382	02/09/2017	0,63225	07/09/2017	0,63465	12/09/2017	0,61804	17/09/2017	0,59201	22/09/2017	0,61591	27/09/2017	0,60339
29/08/2017	0,63522	03/09/2017	0,59961	08/09/2017	0,64406	13/09/2017	0,62759	18/09/2017	0,60097	23/09/2017	0,57473	28/09/2017	0,61041
30/08/2017	0,58990	04/09/2017	0,63964	09/09/2017	0,61804	14/09/2017	0,63108	19/09/2017	0,59459	24/09/2017	0,60298	29/09/2017	0,62297
31/08/2017	0,62659	05/09/2017	0,63144	10/09/2017	0,67423	15/09/2017	0,59763	20/09/2017	0,62033	25/09/2017	0,61992	30/09/2017	0,66852

Vazão Média Diária Calculada (m³/s) Córrego Gordura

01/10/2016	0,73749	07/11/2016	0,69972	14/12/2016	1,44592	20/01/2017	0,90742	26/02/2017	0,76455	04/04/2017	0,74195	11/05/2017	0,57665	17/06/2017	0,72063
02/10/2016	0,76557	08/11/2016	0,71303	15/12/2016	1,53594	21/01/2017	0,86900	27/02/2017	0,75752	05/04/2017	0,72352	12/05/2017	0,57475	18/06/2017	0,70495
03/10/2016	0,74903	09/11/2016	0,88008	16/12/2016	1,51511	22/01/2017	0,85749	28/02/2017	1,14961	06/04/2017	0,70694	13/05/2017	0,57304	19/06/2017	0,69731
04/10/2016	0,86918	10/11/2016	0,91115	17/12/2016	1,45147	23/01/2017	0,88953	01/03/2017	0,94129	07/04/2017	0,69201	14/05/2017	0,57151	20/06/2017	0,68489
05/10/2016	0,95476	11/11/2016	0,84673	18/12/2016	1,39161	24/01/2017	0,88141	02/03/2017	0,81865	08/04/2017	0,67858	15/05/2017	0,57012	21/06/2017	0,66896
06/10/2016	0,92592	12/11/2016	0,89738	19/12/2016	1,35370	25/01/2017	0,88920	03/03/2017	0,84889	09/04/2017	0,66649	16/05/2017	0,56888	22/06/2017	0,66348
07/10/2016	0,84437	13/11/2016	1,06818	20/12/2016	1,31105	26/01/2017	0,84584	04/03/2017	0,77779	10/04/2017	0,65560	17/05/2017	0,56776	23/06/2017	0,65556
08/10/2016	0,78963	14/11/2016	1,24073	21/12/2016	1,24603	27/01/2017	0,84268	05/03/2017	0,76945	11/04/2017	0,64581	18/05/2017	0,56607	24/06/2017	0,63585
09/10/2016	0,67970	15/11/2016	1,45146	22/12/2016	1,24669	28/01/2017	0,87499	06/03/2017	0,76193	12/04/2017	0,63700	19/05/2017	0,56221	25/06/2017	0,64072
10/10/2016	0,71107	16/11/2016	1,25406	23/12/2016	1,22984	29/01/2017	0,87574	07/03/2017	0,75517	13/04/2017	0,62906	20/05/2017	0,56175	26/06/2017	0,64398
11/10/2016	0,68783	17/11/2016	1,27612	24/12/2016	1,22549	30/01/2017	0,84646	08/03/2017	0,74909	14/04/2017	0,62192	21/05/2017	0,96759	27/06/2017	0,63698
12/10/2016	0,72413	18/11/2016	1,27708	25/12/2016	1,15934	31/01/2017	0,81301	09/03/2017	1,23529	15/04/2017	0,61550	22/05/2017	0,77903	28/06/2017	0,62284
13/10/2016	0,67160	19/11/2016	1,21062	26/12/2016	1,14321	01/02/2017	0,80879	10/03/2017	0,92785	16/04/2017	0,60972	23/05/2017	0,75689	29/06/2017	0,61538
14/10/2016	0,69896	20/11/2016	1,09031	27/12/2016	1,18535	02/02/2017	0,78714	11/03/2017	0,82043	17/04/2017	0,60451	24/05/2017	0,73697	30/06/2017	0,61839
15/10/2016	0,68348	21/11/2016	1,01080	28/12/2016	1,13903	03/02/2017	0,84735	12/03/2017	0,80782	18/04/2017	0,59983	25/05/2017	0,71904	01/07/2017	0,60265
16/10/2016	0,69808	22/11/2016	0,94805	29/12/2016	1,10879	04/02/2017	0,85731	13/03/2017	0,79647	19/04/2017	0,59561	26/05/2017	0,70290	02/07/2017	0,62498
17/10/2016	0,75938	23/11/2016	0,93526	30/12/2016	1,05870	05/02/2017	0,95082	14/03/2017	0,78626	20/04/2017	0,59182	27/05/2017	0,68838	03/07/2017	0,60604
18/10/2016	0,72191	24/11/2016	0,92681	31/12/2016	1,06187	06/02/2017	1,23007	15/03/2017	0,77706	21/04/2017	0,58840	28/05/2017	0,67531	04/07/2017	0,59789
19/10/2016	0,70509	25/11/2016	0,89674	01/01/2017	1,03080	07/02/2017	1,35064	16/03/2017	0,76879	22/04/2017	0,58533	29/05/2017	0,66355	05/07/2017	0,60555
20/10/2016	0,67169	26/11/2016	0,79806	02/01/2017	0,99839	08/02/2017	1,17055	17/03/2017	0,76134	23/04/2017	0,58256	30/05/2017	0,65296	06/07/2017	0,60043
21/10/2016	0,61170	27/11/2016	0,75529	03/01/2017	0,93755	09/02/2017	0,98562	18/03/2017	0,75464	24/04/2017	0,58007	31/05/2017	0,64343	07/07/2017	0,60412
22/10/2016	0,58855	28/11/2016	0,77946	04/01/2017	0,93472	10/02/2017	0,90273	19/03/2017	0,74861	25/04/2017	0,57783	01/06/2017	0,63485	08/07/2017	0,59300
23/10/2016	0,67002	29/11/2016	0,76750	05/01/2017	0,94973	11/02/2017	0,91835	20/03/2017	1,09417	26/04/2017	0,57582	02/06/2017	0,62714	09/07/2017	0,60347
24/10/2016	0,67063	30/11/2016	0,95989	06/01/2017	0,93251	12/02/2017	0,92448	21/03/2017	0,91024	27/04/2017	0,57400	03/06/2017	0,62019	10/07/2017	0,61318
25/10/2016	0,64089	01/12/2016	0,90957	07/01/2017	0,89715	13/02/2017	0,90146	22/03/2017	1,14289	28/04/2017	0,57237	04/06/2017	0,61394	11/07/2017	0,60505
26/10/2016	0,64611	02/12/2016	0,87863	08/01/2017	0,86600	14/02/2017	0,88075	23/03/2017	0,93655	29/04/2017	0,59295	05/06/2017	0,60831	12/07/2017	0,60195
27/10/2016	0,59529	03/12/2016	0,82094	09/01/2017	0,88088	15/02/2017	0,86211	24/03/2017	0,91233	30/04/2017	0,65847	06/06/2017	0,60325	13/07/2017	0,59681
28/10/2016	0,57873	04/12/2016	0,84781	10/01/2017	0,83927	16/02/2017	0,84533	25/03/2017	0,89053	01/05/2017	0,61210	07/06/2017	0,59869	14/07/2017	0,59319
29/10/2016	0,56230	05/12/2016	0,95193	11/01/2017	0,95180	17/02/2017	0,83023	26/03/2017	0,87091	02/05/2017	0,60666	08/06/2017	0,59459	15/07/2017	0,61313
30/10/2016	0,65095	06/12/2016	0,98807	12/01/2017	0,94812	18/02/2017	0,81664	27/03/2017	0,85325	03/05/2017	0,60176	09/06/2017	0,59090	16/07/2017	0,63605
31/10/2016	0,64684	07/12/2016	0,87974	13/01/2017	0,91393	19/02/2017	0,80441	28/03/2017	0,83736	04/05/2017	0,59735	10/06/2017	0,58757	17/07/2017	0,62279
01/11/2016	0,60582	08/12/2016	0,83538	14/01/2017	0,92819	20/02/2017	0,79340	29/03/2017	1,27225	05/05/2017	0,59338	11/06/2017	0,58458	18/07/2017	0,64476
02/11/2016	0,58687	09/12/2016	0,85822	15/01/2017	1,19961	21/02/2017	0,78349	30/03/2017	1,00641	06/05/2017	0,58981	12/06/2017	0,62128	19/07/2017	0,66069
03/11/2016	0,62018	10/12/2016	0,99654	16/01/2017	1,15557	22/02/2017	0,77458	31/03/2017	0,97520	07/05/2017	0,58660	13/06/2017	0,63320	20/07/2017	0,63258
04/11/2016	0,61763	11/12/2016	1,19347	17/01/2017	1,02243	23/02/2017	0,76655	01/04/2017	0,81045	08/05/2017	0,58371	14/06/2017	0,88149	21/07/2017	0,64851
05/11/2016	0,64540	12/12/2016	1,22090	18/01/2017	0,93416	24/02/2017	0,83881	02/04/2017	0,78517	09/05/2017	0,58110	15/06/2017	0,74518	22/07/2017	0,61539
06/11/2016	0,63532	13/12/2016	1,31192	19/01/2017	0,92098	25/02/2017	0,77235	03/04/2017	0,76242	10/05/2017	0,57876	16/06/2017	0,74549	23/07/2017	0,63853

APÊNDICE – I: MONITORAMENTO FLUVIOMÉTRICO

24/07/2017	0,64032	02/08/2017	0,63163	11/08/2017	0,62514	20/08/2017	0,64127	29/08/2017	0,63522	07/09/2017	0,63465	16/09/2017	0,56465	25/09/2017	0,61992
25/07/2017	0,65479	03/08/2017	0,64341	12/08/2017	0,59123	21/08/2017	0,64048	30/08/2017	0,58990	08/09/2017	0,64406	17/09/2017	0,59201	26/09/2017	0,61045
26/07/2017	0,64280	04/08/2017	0,64129	13/08/2017	0,62815	22/08/2017	0,61365	31/08/2017	0,62659	09/09/2017	0,61804	18/09/2017	0,60097	27/09/2017	0,60339
27/07/2017	0,64426	05/08/2017	0,60213	14/08/2017	0,64073	23/08/2017	0,63897	01/09/2017	0,63388	10/09/2017	0,67423	19/09/2017	0,59459	28/09/2017	0,61041
28/07/2017	0,63801	06/08/2017	0,65361	15/08/2017	0,63166	24/08/2017	0,63497	02/09/2017	0,63225	11/09/2017	0,65747	20/09/2017	0,62033	29/09/2017	0,62297
29/07/2017	0,63316	07/08/2017	0,66455	16/08/2017	0,63951	25/08/2017	0,63507	03/09/2017	0,59961	12/09/2017	0,61804	21/09/2017	0,59742	30/09/2017	0,66852
30/07/2017	0,62513	08/08/2017	0,62943	17/08/2017	0,62091	26/08/2017	0,61083	04/09/2017	0,63964	13/09/2017	0,62759	22/09/2017	0,61591		
31/07/2017	0,65054	09/08/2017	0,61260	18/08/2017	0,63091	27/08/2017	0,63855	05/09/2017	0,63144	14/09/2017	0,63108	23/09/2017	0,57473		
01/08/2017	0,62045	10/08/2017	0,62094	19/08/2017	0,61419	28/08/2017	0,66382	06/09/2017	0,64472	15/09/2017	0,59763	24/09/2017	0,60298		

Vazão Média Diária Monitorada (m³/s) Córrego Flor

01/10/2016	03/11/2016	06/12/2016	08/01/2017	0,02943	10/02/2017	0,02957	15/03/2017	17/04/2017	20/05/2017	
02/10/2016	04/11/2016	07/12/2016	09/01/2017	0,02986	11/02/2017	0,02359	16/03/2017	18/04/2017	21/05/2017	
03/10/2016	05/11/2016	08/12/2016	10/01/2017	0,02963	12/02/2017		17/03/2017	19/04/2017	22/05/2017	
04/10/2016	06/11/2016	09/12/2016	11/01/2017	0,02977	13/02/2017		18/03/2017	20/04/2017	23/05/2017	
05/10/2016	07/11/2016	10/12/2016	12/01/2017	0,03212	14/02/2017		19/03/2017	21/04/2017	24/05/2017	
06/10/2016	08/11/2016	11/12/2016	13/01/2017	0,03215	15/02/2017		20/03/2017	22/04/2017	25/05/2017	
07/10/2016	09/11/2016	12/12/2016	14/01/2017	0,03343	16/02/2017		21/03/2017	23/04/2017	26/05/2017	
08/10/2016	10/11/2016	13/12/2016	15/01/2017	0,03729	17/02/2017		22/03/2017	24/04/2017	27/05/2017	0,00445
09/10/2016	11/11/2016	14/12/2016	16/01/2017	0,03556	18/02/2017		23/03/2017	25/04/2017	28/05/2017	0,00380
10/10/2016	12/11/2016	15/12/2016	17/01/2017	0,03022	19/02/2017		24/03/2017	26/04/2017	29/05/2017	0,00332
11/10/2016	13/11/2016	16/12/2016	18/01/2017	0,02951	20/02/2017		25/03/2017	27/04/2017	30/05/2017	0,00243
12/10/2016	14/11/2016	17/12/2016	19/01/2017	0,02914	21/02/2017		26/03/2017	28/04/2017	31/05/2017	0,00096
13/10/2016	15/11/2016	18/12/2016	20/01/2017	0,02886	22/02/2017		27/03/2017	29/04/2017	01/06/2017	0,00101
14/10/2016	16/11/2016	19/12/2016	21/01/2017	0,02871	23/02/2017		28/03/2017	30/04/2017	02/06/2017	0,00255
15/10/2016	17/11/2016	20/12/2016	22/01/2017	0,02859	24/02/2017		29/03/2017	01/05/2017	03/06/2017	0,00354
16/10/2016	18/11/2016	21/12/2016	23/01/2017	0,02825	25/02/2017		30/03/2017	02/05/2017	04/06/2017	0,00416
17/10/2016	19/11/2016	22/12/2016	24/01/2017	0,02813	26/02/2017		31/03/2017	03/05/2017	05/06/2017	0,00336
18/10/2016	20/11/2016	23/12/2016	25/01/2017	0,02823	27/02/2017		01/04/2017	04/05/2017	06/06/2017	0,00272
19/10/2016	21/11/2016	24/12/2016	26/01/2017	0,02833	28/02/2017		02/04/2017	05/05/2017	07/06/2017	0,00191
20/10/2016	22/11/2016	25/12/2016	27/01/2017	0,02824	01/03/2017		03/04/2017	06/05/2017	08/06/2017	0,00209
21/10/2016	23/11/2016	26/12/2016	28/01/2017	0,02816	02/03/2017		04/04/2017	07/05/2017	09/06/2017	0,00183
22/10/2016	24/11/2016	27/12/2016	29/01/2017	0,02800	03/03/2017		05/04/2017	08/05/2017	10/06/2017	0,00155
23/10/2016	25/11/2016	28/12/2016	30/01/2017	0,02860	04/03/2017		06/04/2017	09/05/2017	11/06/2017	
24/10/2016	26/11/2016	29/12/2016	31/01/2017	0,02864	05/03/2017		07/04/2017	10/05/2017	12/06/2017	
25/10/2016	27/11/2016	30/12/2016	01/02/2017	0,02874	06/03/2017		08/04/2017	11/05/2017	13/06/2017	0,00018
26/10/2016	28/11/2016	31/12/2016	02/02/2017	0,02877	07/03/2017		09/04/2017	12/05/2017	14/06/2017	0,00019
27/10/2016	29/11/2016	01/01/2017	03/02/2017	0,02901	08/03/2017		10/04/2017	13/05/2017	15/06/2017	0,00021
28/10/2016	30/11/2016	02/01/2017	04/02/2017	0,02917	09/03/2017		11/04/2017	14/05/2017	16/06/2017	
29/10/2016	01/12/2016	03/01/2017	05/02/2017	0,02973	10/03/2017		12/04/2017	15/05/2017	17/06/2017	
30/10/2016	02/12/2016	04/01/2017	06/02/2017	0,03358	11/03/2017		13/04/2017	16/05/2017	18/06/2017	
31/10/2016	03/12/2016	05/01/2017	07/02/2017	0,03764	12/03/2017		14/04/2017	17/05/2017	19/06/2017	
01/11/2016	04/12/2016	06/01/2017	08/02/2017	0,03144	13/03/2017		15/04/2017	18/05/2017	20/06/2017	
02/11/2016	05/12/2016	07/01/2017	09/02/2017	0,03011	14/03/2017		16/04/2017	19/05/2017	21/06/2017	

APÊNDICE – I: MONITORAMENTO FLUVIOMÉTRICO

22/06/2017	05/07/2017	0,00044	18/07/2017	0,00232	31/07/2017	0,00176	13/08/2017	0,00160	26/08/2017	0,00193	08/09/2017	0,00190	21/09/2017	0,00149	
23/06/2017	06/07/2017	0,00053	19/07/2017	0,00208	01/08/2017	0,00182	14/08/2017	0,00165	27/08/2017	0,00196	09/09/2017	0,00191	22/09/2017	0,00137	
24/06/2017	07/07/2017	0,00044	20/07/2017	0,00213	02/08/2017	0,00160	15/08/2017	0,00169	28/08/2017	0,00213	10/09/2017	0,00162	23/09/2017	0,00159	
25/06/2017	08/07/2017	0,00047	21/07/2017	0,00220	03/08/2017	0,00173	16/08/2017	0,00190	29/08/2017	0,00219	11/09/2017	0,00194	24/09/2017	0,00164	
26/06/2017	09/07/2017	0,00063	22/07/2017	0,00155	04/08/2017	0,00176	17/08/2017	0,00193	30/08/2017	0,00243	12/09/2017	0,00183	25/09/2017	0,00204	
27/06/2017	10/07/2017	0,00075	23/07/2017	0,00131	05/08/2017	0,00200	18/08/2017	0,00202	31/08/2017	0,00245	13/09/2017	0,00180	26/09/2017	0,00193	
28/06/2017	11/07/2017	0,00074	24/07/2017	0,00175	06/08/2017	0,00201	19/08/2017	0,00193	01/09/2017	0,00272	14/09/2017	0,00191	27/09/2017	0,00219	
29/06/2017	0,00024	12/07/2017	0,00073	25/07/2017	0,00225	07/08/2017	0,00198	20/08/2017	0,00178	02/09/2017	0,00267	15/09/2017	0,00141	28/09/2017	0,00218
30/06/2017	0,00031	13/07/2017	0,00070	26/07/2017	0,00238	08/08/2017	0,00199	21/08/2017	0,00197	03/09/2017	0,00248	16/09/2017	0,00159	29/09/2017	0,00218
01/07/2017	0,00039	14/07/2017		27/07/2017	0,00191	09/08/2017	0,00114	22/08/2017	0,00188	04/09/2017	0,00170	17/09/2017	0,00179	30/09/2017	0,00278
02/07/2017	0,00017	15/07/2017	0,00180	28/07/2017	0,00166	10/08/2017	0,00125	23/08/2017	0,00149	05/09/2017	0,00174	18/09/2017			0,00164
03/07/2017	0,00042	16/07/2017	0,00190	29/07/2017	0,00173	11/08/2017	0,00141	24/08/2017	0,00148	06/09/2017	0,00141	19/09/2017			0,00161
04/07/2017	0,00038	17/07/2017	0,00211	30/07/2017	0,00177	12/08/2017	0,00154	25/08/2017	0,00185	07/09/2017	0,00161	20/09/2017			0,00160

Vazão Média Diária Calculada (m³/s) Córrego Flor

01/10/2016	0,00811	30/10/2016	0,00766	28/11/2016	0,01216	27/12/2016	0,00989	25/01/2017	0,01641	23/02/2017	0,00995	24/03/2017	0,01574	22/04/2017	0,00081
02/10/2016	0,00811	31/10/2016	0,00760	29/11/2016	0,01165	28/12/2016	0,00961	26/01/2017	0,01640	24/02/2017	0,00967	25/03/2017	0,01487	23/04/2017	0,00070
03/10/2016	0,00811	01/11/2016	0,00755	30/11/2016	0,01120	29/12/2016	0,00936	27/01/2017	0,01630	25/02/2017	0,01225	26/03/2017	0,01409	24/04/2017	0,00060
04/10/2016	0,01039	02/11/2016	0,00750	01/12/2016	0,01079	30/12/2016	0,00913	28/01/2017	0,01621	26/02/2017	0,00987	27/03/2017	0,01339	25/04/2017	0,00051
05/10/2016	0,00887	03/11/2016	0,00746	02/12/2016	0,02317	31/12/2016	0,01087	29/01/2017	0,01609	27/02/2017	0,00960	28/03/2017	0,01276	26/04/2017	0,00043
06/10/2016	0,00869	04/11/2016	0,00742	03/12/2016	0,01577	01/01/2017	0,00913	30/01/2017	0,01635	28/02/2017	0,00934	29/03/2017	0,01220	27/04/2017	0,00036
07/10/2016	0,03253	05/11/2016	0,00739	04/12/2016	0,01490	02/01/2017	0,00892	31/01/2017	0,01634	01/03/2017	0,02335	30/03/2017	0,02773	28/04/2017	0,00030
08/10/2016	0,01675	06/11/2016	0,00835	05/12/2016	0,01412	03/01/2017	0,00874	01/02/2017	0,01635	02/03/2017	0,01591	31/03/2017	0,01823	29/04/2017	0,00024
09/10/2016	0,01230	07/11/2016	0,00777	06/12/2016	0,01342	04/01/2017	0,00858	02/02/2017	0,01634	03/03/2017	0,01153	01/04/2017	0,00974	30/04/2017	0,00097
10/10/2016	0,01178	08/11/2016	0,00770	07/12/2016	0,03403	05/01/2017	0,00843	03/02/2017	0,01643	04/03/2017	0,01261	02/04/2017	0,00874	01/05/2017	0,00331
11/10/2016	0,01131	09/11/2016	0,00769	08/12/2016	0,00805	06/01/2017	0,00829	04/02/2017	0,01649	05/03/2017	0,01007	03/04/2017	0,00784	02/05/2017	0,00166
12/10/2016	0,01089	10/11/2016	0,00847	09/12/2016	0,00761	07/01/2017	0,00817	05/02/2017	0,01815	06/03/2017	0,00977	04/04/2017	0,00703	03/05/2017	0,00146
13/10/2016	0,01051	11/11/2016	0,01147	10/12/2016	0,00755	08/01/2017	0,01690	06/02/2017	0,02416	07/03/2017	0,00950	05/04/2017	0,00629	04/05/2017	0,00129
14/10/2016	0,01017	12/11/2016	0,01855	11/12/2016	0,00751	09/01/2017	0,01707	07/02/2017	0,02076	08/03/2017	0,00926	06/04/2017	0,00564	05/05/2017	0,00113
15/10/2016	0,00986	13/11/2016	0,01328	12/12/2016	0,00747	10/01/2017	0,01691	08/02/2017	0,02210	09/03/2017	0,00904	07/04/2017	0,00504	06/05/2017	0,00099
16/10/2016	0,00958	14/11/2016	0,01195	13/12/2016	0,02449	11/01/2017	0,01694	09/02/2017	0,02720	10/03/2017	0,02641	08/04/2017	0,00451	07/05/2017	0,00086
17/10/2016	0,00933	15/11/2016	0,03037	14/12/2016	0,00835	12/01/2017	0,01808	10/02/2017	0,02212	11/03/2017	0,01543	09/04/2017	0,00403	08/05/2017	0,00075
18/10/2016	0,00911	16/11/2016	0,02107	15/12/2016	0,03409	13/01/2017	0,01806	11/02/2017	0,01857	12/03/2017	0,01159	10/04/2017	0,00360	09/05/2017	0,00064
19/10/2016	0,00891	17/11/2016	0,03349	16/12/2016	0,03877	14/01/2017	0,01907	12/02/2017	0,01622	13/03/2017	0,01114	11/04/2017	0,00321	10/05/2017	0,00055
20/10/2016	0,00872	18/11/2016	0,01885	17/12/2016	0,02221	15/01/2017	0,02070	13/02/2017	0,01531	14/03/2017	0,01074	12/04/2017	0,00286	11/05/2017	0,00047
21/10/2016	0,00856	19/11/2016	0,02431	18/12/2016	0,01915	16/01/2017	0,02407	14/02/2017	0,01449	15/03/2017	0,01037	13/04/2017	0,00255	12/05/2017	0,00039
22/10/2016	0,00841	20/11/2016	0,01639	19/12/2016	0,01360	17/01/2017	0,02881	15/02/2017	0,01375	16/03/2017	0,01004	14/04/2017	0,00226	13/05/2017	0,00032
23/10/2016	0,00828	21/11/2016	0,01885	20/12/2016	0,01295	18/01/2017	0,01853	16/02/2017	0,01308	17/03/2017	0,00975	15/04/2017	0,00201	14/05/2017	0,00026
24/10/2016	0,00816	22/11/2016	0,01344	21/12/2016	0,01236	19/01/2017	0,01739	17/02/2017	0,01248	18/03/2017	0,00948	16/04/2017	0,00178	15/05/2017	0,00021
25/10/2016	0,00805	23/11/2016	0,01280	22/12/2016	0,01183	20/01/2017	0,01714	18/02/2017	0,01194	19/03/2017	0,00924	17/04/2017	0,00157	16/05/2017	0,00016
26/10/2016	0,00796	24/11/2016	0,01223	23/12/2016	0,01136	21/01/2017	0,01696	19/02/2017	0,01146	20/03/2017	0,00903	18/04/2017	0,00139	17/05/2017	0,00011
27/10/2016	0,00787	25/11/2016	0,03985	24/12/2016	0,01093	22/01/2017	0,01681	20/02/2017	0,01102	21/03/2017	0,02137	19/04/2017	0,00122	18/05/2017	0,00007
28/10/2016	0,00779	26/11/2016	0,01753	25/12/2016	0,01055	23/01/2017	0,01656	21/02/2017	0,01063	22/03/2017	0,01480	20/04/2017	0,00107	19/05/2017	0,00001
29/10/2016	0,00772	27/11/2016	0,01273	26/12/2016	0,01020	24/01/2017	0,01643	22/02/2017	0,01027	23/03/2017	0,02311	21/04/2017	0,00093	20/05/2017	0,00000

APÊNDICE – I: MONITORAMENTO FLUVIOMÉTRICO

21/05/2017	0,00000	07/06/2017	0,00347	24/06/2017	0,00443	11/07/2017	0,00247	28/07/2017	0,00191	14/08/2017	0,00160	31/08/2017	0,00243	17/09/2017	0,00159
22/05/2017	0,01435	08/06/2017	0,00348	25/06/2017	0,00396	12/07/2017	0,00242	29/07/2017	0,00166	15/08/2017	0,00165	01/09/2017	0,00245	18/09/2017	0,00179
23/05/2017	0,00762	09/06/2017	0,00328	26/06/2017	0,00353	13/07/2017	0,00237	30/07/2017	0,00173	16/08/2017	0,00169	02/09/2017	0,00272	19/09/2017	0,00164
24/05/2017	0,00683	10/06/2017	0,00307	27/06/2017	0,00315	14/07/2017	0,00029	31/07/2017	0,00177	17/08/2017	0,00190	03/09/2017	0,00267	20/09/2017	0,00161
25/05/2017	0,00612	11/06/2017	0,00078	28/06/2017	0,00281	15/07/2017	0,00286	01/08/2017	0,00176	18/08/2017	0,00193	04/09/2017	0,00248	21/09/2017	0,00160
26/05/2017	0,00548	12/06/2017	0,00067	29/06/2017	0,00321	16/07/2017	0,00288	02/08/2017	0,00182	19/08/2017	0,00202	05/09/2017	0,00170	22/09/2017	0,00149
27/05/2017	0,00652	13/06/2017	0,00222	30/06/2017	0,00311	17/07/2017	0,00296	03/08/2017	0,00160	20/08/2017	0,00193	06/09/2017	0,00174	23/09/2017	0,00137
28/05/2017	0,00594	14/06/2017	0,00219	01/07/2017	0,00302	18/07/2017	0,00305	04/08/2017	0,00173	21/08/2017	0,00178	07/09/2017	0,00141	24/09/2017	0,00159
29/05/2017	0,00546	15/06/2017	0,01194	02/07/2017	0,00280	19/07/2017	0,00291	05/08/2017	0,00176	22/08/2017	0,00197	08/09/2017	0,00161	25/09/2017	0,00164
30/05/2017	0,00481	16/06/2017	0,01066	03/07/2017	0,00282	20/07/2017	0,00208	06/08/2017	0,00200	23/08/2017	0,00188	09/09/2017	0,00190	26/09/2017	0,00204
31/05/2017	0,00388	17/06/2017	0,00957	04/07/2017	0,00271	21/07/2017	0,00213	07/08/2017	0,00201	24/08/2017	0,00149	10/09/2017	0,00191	27/09/2017	0,00193
01/06/2017	0,00373	18/06/2017	0,00858	05/07/2017	0,00266	22/07/2017	0,00220	08/08/2017	0,00198	25/08/2017	0,00148	11/09/2017	0,00162	28/09/2017	0,00219
02/06/2017	0,00435	19/06/2017	0,00770	06/07/2017	0,00263	23/07/2017	0,00155	09/08/2017	0,00199	26/08/2017	0,00185	12/09/2017	0,00194	29/09/2017	0,00218
03/06/2017	0,00471	20/06/2017	0,00690	07/07/2017	0,00252	24/07/2017	0,00131	10/08/2017	0,00114	27/08/2017	0,00193	13/09/2017	0,00183	30/09/2017	0,00218
04/06/2017	0,00490	21/06/2017	0,00618	08/07/2017	0,00247	25/07/2017	0,00175	11/08/2017	0,00125	28/08/2017	0,00196	14/09/2017	0,00180		
05/06/2017	0,00439	22/06/2017	0,00553	09/07/2017	0,00250	26/07/2017	0,00225	12/08/2017	0,00141	29/08/2017	0,00213	15/09/2017	0,00191		
06/06/2017	0,00396	23/06/2017	0,00495	10/07/2017	0,00251	27/07/2017	0,00238	13/08/2017	0,00154	30/08/2017	0,00219	16/09/2017	0,00141		

Vazão Média Diária Monitorada (m³/s) Córrego Jaguará

01/10/2016	0,69187	26/10/2016	0,62938	20/11/2016	0,75316	15/12/2016	1,65861	09/01/2017	0,67072	03/02/2017	0,69347	28/02/2017	0,69941	25/03/2017	0,66465
02/10/2016	0,69318	27/10/2016	0,63343	21/11/2016	0,74002	16/12/2016	1,13136	10/01/2017	0,66816	04/02/2017	0,67318	01/03/2017	0,70543	26/03/2017	0,66224
03/10/2016	0,68751	28/10/2016	0,64707	22/11/2016	0,72680	17/12/2016	0,75546	11/01/2017	0,67537	05/02/2017	0,68571	02/03/2017	0,69108	27/03/2017	0,66596
04/10/2016	0,72085	29/10/2016	0,65111	23/11/2016	0,72766	18/12/2016	0,70806	12/01/2017	0,68814	06/02/2017	0,79189	03/03/2017	0,68261	28/03/2017	0,69712
05/10/2016	0,74578	30/10/2016	0,64123	24/11/2016	0,73985	19/12/2016	0,70826	13/01/2017	0,68402	07/02/2017	0,77803	04/03/2017	0,67529	29/03/2017	0,69530
06/10/2016	0,78503	31/10/2016	0,63834	25/11/2016	0,73239	20/12/2016	0,70715	14/01/2017	0,65450	08/02/2017	0,74895	05/03/2017	0,67438	30/03/2017	0,68942
07/10/2016	0,75471	01/11/2016	0,64146	26/11/2016	0,72408	21/12/2016	0,70696	15/01/2017	0,86165	09/02/2017	0,73326	06/03/2017	0,66992	31/03/2017	0,68197
08/10/2016	0,73468	02/11/2016	0,63885	27/11/2016	0,71464	22/12/2016	0,70508	16/01/2017	0,77426	10/02/2017	0,72987	07/03/2017	0,66617	01/04/2017	0,67316
09/10/2016	0,71502	03/11/2016	0,64307	28/11/2016	0,68860	23/12/2016	0,70378	17/01/2017	0,73354	11/02/2017	0,72132	08/03/2017	0,66668	02/04/2017	0,66449
10/10/2016	0,70920	04/11/2016	0,64589	29/11/2016	0,69910	24/12/2016	0,70404	18/01/2017	0,71876	12/02/2017	0,71723	09/03/2017	0,66781	03/04/2017	0,66245
11/10/2016	0,66783	05/11/2016	0,64313	30/11/2016	0,73958	25/12/2016	0,70433	19/01/2017	0,73009	13/02/2017	0,72158	10/03/2017	0,66874	04/04/2017	0,65979
12/10/2016	0,62542	06/11/2016	0,63509	01/12/2016	0,71118	26/12/2016	0,70471	20/01/2017	0,73777	14/02/2017	0,71893	11/03/2017	0,66435	05/04/2017	0,65652
13/10/2016	0,61801	07/11/2016	0,64043	02/12/2016	0,68895	27/12/2016	0,70287	21/01/2017	0,73036	15/02/2017	0,71160	12/03/2017	0,66146	06/04/2017	0,65084
14/10/2016	0,65498	08/11/2016	0,65021	03/12/2016	0,67715	28/12/2016	0,70684	22/01/2017	0,71169	16/02/2017	0,70271	13/03/2017	0,66034	07/04/2017	0,65204
15/10/2016	0,65799	09/11/2016	0,66097	04/12/2016	0,70250	29/12/2016	0,70459	23/01/2017	0,71433	17/02/2017	0,70258	14/03/2017	0,66128	08/04/2017	0,64740
16/10/2016	0,69329	10/11/2016	0,68233	05/12/2016	1,14523	30/12/2016	0,70521	24/01/2017	0,73693	18/02/2017	0,69999	15/03/2017	0,66274	09/04/2017	0,63471
17/10/2016	0,59029	11/11/2016	0,67152	06/12/2016	1,18498	31/12/2016	0,70468	25/01/2017	0,73578	19/02/2017	0,69649	16/03/2017	0,67587	10/04/2017	0,62673
18/10/2016	0,59589	12/11/2016	0,68333	07/12/2016	0,70824	01/01/2017	0,70364	26/01/2017	0,71280	20/02/2017	0,69083	17/03/2017	0,67830	11/04/2017	0,63803
19/10/2016	0,59513	13/11/2016	0,71336	08/12/2016	0,70246	02/01/2017	0,70365	27/01/2017	0,71557	21/02/2017	0,67877	18/03/2017	0,67901	12/04/2017	0,65247
20/10/2016	0,61339	14/11/2016	0,77355	09/12/2016	0,69037	03/01/2017	0,70351	28/01/2017	0,73097	22/02/2017	0,68132	19/03/2017	0,70727	13/04/2017	0,64788
21/10/2016	0,63037	15/11/2016	0,80444	10/12/2016	0,72159	04/01/2017	0,70376	29/01/2017	0,72583	23/02/2017	0,67186	20/03/2017	0,69750	14/04/2017	0,64100
22/10/2016	0,63745	16/11/2016	0,79136	11/12/2016	0,78050	05/01/2017	0,70286	30/01/2017	0,70590	24/02/2017	0,65390	21/03/2017	0,68771	15/04/2017	0,63186
23/10/2016	0,62835	17/11/2016	0,79261	12/12/2016	0,73024	06/01/2017	0,70172	31/01/2017	0,68851	25/02/2017	0,67482	22/03/2017	0,67862	16/04/2017	0,55136
24/10/2016	0,62208	18/11/2016	0,79033	13/12/2016	1,06529	07/01/2017	0,70318	01/02/2017	0,68605	26/02/2017	0,67656	23/03/2017	0,68934	17/04/2017	0,64172
25/10/2016	0,62945	19/11/2016	0,77724	14/12/2016	1,75807	08/01/2017	0,67572	02/02/2017	0,67713	27/02/2017	0,67470	24/03/2017	0,67021	18/04/2017	0,63995

APÊNDICE – I: MONITORAMENTO FLUVIOMÉTRICO

19/04/2017	0,63266	10/05/2017	0,61009	31/05/2017	0,55383	21/06/2017	0,54897	12/07/2017	0,53482	02/08/2017		23/08/2017		13/09/2017
20/04/2017	0,62754	11/05/2017	0,59946	01/06/2017	0,54672	22/06/2017	0,55930	13/07/2017	0,53283	03/08/2017		24/08/2017		14/09/2017
21/04/2017	0,62494	12/05/2017	0,59366	02/06/2017	0,56107	23/06/2017	0,53908	14/07/2017	0,53338	04/08/2017		25/08/2017		15/09/2017 0,55641
22/04/2017	0,62372	13/05/2017	0,53250	03/06/2017	0,54737	24/06/2017	0,53087	15/07/2017	0,55223	05/08/2017		26/08/2017		16/09/2017 0,54818
23/04/2017	0,62190	14/05/2017	0,55846	04/06/2017	0,54435	25/06/2017	0,53174	16/07/2017	0,58259	06/08/2017		27/08/2017		17/09/2017 0,55010
24/04/2017	0,61852	15/05/2017	0,57999	05/06/2017	0,54293	26/06/2017	0,53757	17/07/2017		07/08/2017		28/08/2017		18/09/2017 0,55160
25/04/2017	0,61640	16/05/2017	0,58061	06/06/2017	0,55744	27/06/2017	0,53597	18/07/2017		08/08/2017		29/08/2017		19/09/2017 0,55180
26/04/2017	0,60841	17/05/2017	0,58801	07/06/2017	0,57082	28/06/2017	0,53583	19/07/2017		09/08/2017		30/08/2017		20/09/2017 0,55171
27/04/2017	0,61231	18/05/2017	0,58492	08/06/2017	0,54571	29/06/2017	0,53384	20/07/2017		10/08/2017		31/08/2017		21/09/2017 0,54684
28/04/2017	0,62450	19/05/2017	0,60139	09/06/2017	0,54846	30/06/2017	0,53409	21/07/2017		11/08/2017		01/09/2017		22/09/2017 0,54825
29/04/2017	0,62698	20/05/2017	0,63534	10/06/2017	0,53453	01/07/2017	0,53197	22/07/2017		12/08/2017		02/09/2017		23/09/2017 0,55036
30/04/2017	0,62353	21/05/2017	0,62172	11/06/2017	0,52409	02/07/2017	0,53222	23/07/2017		13/08/2017		03/09/2017		24/09/2017 0,55258
01/05/2017	0,61722	22/05/2017	0,62041	12/06/2017	0,54447	03/07/2017	0,53193	24/07/2017		14/08/2017		04/09/2017		25/09/2017 0,55846
02/05/2017	0,61826	23/05/2017	0,60811	13/06/2017	0,55290	04/07/2017	0,52778	25/07/2017		15/08/2017		05/09/2017		26/09/2017 0,55951
03/05/2017	0,61498	24/05/2017	0,60432	14/06/2017	0,54287	05/07/2017	0,53314	26/07/2017		16/08/2017		06/09/2017		27/09/2017 0,55998
04/05/2017	0,61427	25/05/2017	0,58054	15/06/2017	0,54262	06/07/2017	0,53608	27/07/2017		17/08/2017		07/09/2017		28/09/2017 0,56179
05/05/2017	0,61052	26/05/2017	0,58527	16/06/2017	0,55416	07/07/2017	0,53891	28/07/2017		18/08/2017		08/09/2017		29/09/2017 0,56440
06/05/2017	0,61165	27/05/2017	0,58180	17/06/2017	0,53915	08/07/2017	0,53723	29/07/2017		19/08/2017		09/09/2017		30/09/2017 0,59154
07/05/2017	0,61258	28/05/2017	0,56266	18/06/2017	0,53008	09/07/2017	0,53593	30/07/2017		20/08/2017		10/09/2017		
08/05/2017	0,61289	29/05/2017	0,55403	19/06/2017	0,56064	10/07/2017	0,53835	31/07/2017		21/08/2017		11/09/2017		
09/05/2017	0,61128	30/05/2017	0,55439	20/06/2017	0,56592	11/07/2017	0,53651	01/08/2017		22/08/2017		12/09/2017		

Vazão Média Diária Calculada (m³/s) Córrego Jaguará

01/10/2016	0,69187	21/10/2016	0,63037	10/11/2016	0,68233	30/11/2016	0,73958	20/12/2016	0,70715	09/01/2017	0,67072	29/01/2017	0,72583	18/02/2017	0,69999
02/10/2016	0,69318	22/10/2016	0,63745	11/11/2016	0,67152	01/12/2016	0,71118	21/12/2016	0,70696	10/01/2017	0,66816	30/01/2017	0,70590	19/02/2017	0,69649
03/10/2016	0,68751	23/10/2016	0,62835	12/11/2016	0,68333	02/12/2016	0,68895	22/12/2016	0,70508	11/01/2017	0,67537	31/01/2017	0,68851	20/02/2017	0,69083
04/10/2016	0,72085	24/10/2016	0,62208	13/11/2016	0,71336	03/12/2016	0,67715	23/12/2016	0,70378	12/01/2017	0,68814	01/02/2017	0,68605	21/02/2017	0,67877
05/10/2016	0,74578	25/10/2016	0,62945	14/11/2016	0,77355	04/12/2016	0,70250	24/12/2016	0,70404	13/01/2017	0,68402	02/02/2017	0,67713	22/02/2017	0,68132
06/10/2016	0,78503	26/10/2016	0,62938	15/11/2016	0,80444	05/12/2016	1,14523	25/12/2016	0,70433	14/01/2017	0,65450	03/02/2017	0,69347	23/02/2017	0,67186
07/10/2016	0,75471	27/10/2016	0,63343	16/11/2016	0,79136	06/12/2016	1,18498	26/12/2016	0,70471	15/01/2017	0,86165	04/02/2017	0,67318	24/02/2017	0,65390
08/10/2016	0,73468	28/10/2016	0,64707	17/11/2016	0,79261	07/12/2016	0,70824	27/12/2016	0,70287	16/01/2017	0,77426	05/02/2017	0,68571	25/02/2017	0,67482
09/10/2016	0,71502	29/10/2016	0,65111	18/11/2016	0,79033	08/12/2016	0,70246	28/12/2016	0,70684	17/01/2017	0,73354	06/02/2017	0,79189	26/02/2017	0,67656
10/10/2016	0,70920	30/10/2016	0,64123	19/11/2016	0,77724	09/12/2016	0,69037	29/12/2016	0,70459	18/01/2017	0,71876	07/02/2017	0,77803	27/02/2017	0,67470
11/10/2016	0,66783	31/10/2016	0,63834	20/11/2016	0,75316	10/12/2016	0,72159	30/12/2016	0,70521	19/01/2017	0,73009	08/02/2017	0,74895	28/02/2017	0,69941
12/10/2016	0,62542	01/11/2016	0,64146	21/11/2016	0,74002	11/12/2016	0,78050	31/12/2016	0,70468	20/01/2017	0,73777	09/02/2017	0,73326	01/03/2017	0,70543
13/10/2016	0,61801	02/11/2016	0,63885	22/11/2016	0,72680	12/12/2016	0,73024	01/01/2017	0,70364	21/01/2017	0,73036	10/02/2017	0,72987	02/03/2017	0,69108
14/10/2016	0,65498	03/11/2016	0,64307	23/11/2016	0,72766	13/12/2016	1,06529	02/01/2017	0,70365	22/01/2017	0,71169	11/02/2017	0,72132	03/03/2017	0,68261
15/10/2016	0,65799	04/11/2016	0,64589	24/11/2016	0,73985	14/12/2016	1,75807	03/01/2017	0,70351	23/01/2017	0,71433	12/02/2017	0,71723	04/03/2017	0,67529
16/10/2016	0,69329	05/11/2016	0,64313	25/11/2016	0,73239	15/12/2016	1,65861	04/01/2017	0,70376	24/01/2017	0,73693	13/02/2017	0,72158	05/03/2017	0,67438
17/10/2016	0,59029	06/11/2016	0,63509	26/11/2016	0,72408	16/12/2016	1,13136	05/01/2017	0,70286	25/01/2017	0,73578	14/02/2017	0,71893	06/03/2017	0,66992
18/10/2016	0,59589	07/11/2016	0,64043	27/11/2016	0,71464	17/12/2016	0,75546	06/01/2017	0,70172	26/01/2017	0,71280	15/02/2017	0,71160	07/03/2017	0,66617
19/10/2016	0,59513	08/11/2016	0,65021	28/11/2016	0,68860	18/12/2016	0,70806	07/01/2017	0,70318	27/01/2017	0,71557	16/02/2017	0,70271	08/03/2017	0,66668
20/10/2016	0,61339	09/11/2016	0,66097	29/11/2016	0,69910	19/12/2016	0,70826	08/01/2017	0,67572	28/01/2017	0,73097	17/02/2017	0,70258	09/03/2017	0,66781

APÊNDICE – I: MONITORAMENTO FLUVIOMÉTRICO

10/03/2017	0,66874	05/04/2017	0,65652	01/05/2017	0,61722	27/05/2017	0,58180	22/06/2017	0,55930	18/07/2017	0,50908	13/08/2017	0,49533	08/09/2017	0,49444
11/03/2017	0,66435	06/04/2017	0,65084	02/05/2017	0,61826	28/05/2017	0,56266	23/06/2017	0,53908	19/07/2017	0,50761	14/08/2017	0,49524	09/09/2017	0,49444
12/03/2017	0,66146	07/04/2017	0,65204	03/05/2017	0,61498	29/05/2017	0,55403	24/06/2017	0,53087	20/07/2017	0,50629	15/08/2017	0,49515	10/09/2017	0,49443
13/03/2017	0,66034	08/04/2017	0,64740	04/05/2017	0,61427	30/05/2017	0,55439	25/06/2017	0,53174	21/07/2017	0,50510	16/08/2017	0,49507	11/09/2017	0,49443
14/03/2017	0,66128	09/04/2017	0,63471	05/05/2017	0,61052	31/05/2017	0,55383	26/06/2017	0,53757	22/07/2017	0,50403	17/08/2017	0,49501	12/09/2017	0,49442
15/03/2017	0,66274	10/04/2017	0,62673	06/05/2017	0,61165	01/06/2017	0,54672	27/06/2017	0,53597	23/07/2017	0,50306	18/08/2017	0,49494	13/09/2017	0,49442
16/03/2017	0,67587	11/04/2017	0,63803	07/05/2017	0,61258	02/06/2017	0,56107	28/06/2017	0,53583	24/07/2017	0,50219	19/08/2017	0,49489	14/09/2017	0,49441
17/03/2017	0,67830	12/04/2017	0,65247	08/05/2017	0,61289	03/06/2017	0,54737	29/06/2017	0,53384	25/07/2017	0,50141	20/08/2017	0,49484	15/09/2017	0,55584
18/03/2017	0,67901	13/04/2017	0,64788	09/05/2017	0,61128	04/06/2017	0,54435	30/06/2017	0,53409	26/07/2017	0,50071	21/08/2017	0,49479	16/09/2017	0,54818
19/03/2017	0,70727	14/04/2017	0,64100	10/05/2017	0,61009	05/06/2017	0,54293	01/07/2017	0,53197	27/07/2017	0,50008	22/08/2017	0,49475	17/09/2017	0,55010
20/03/2017	0,69750	15/04/2017	0,63186	11/05/2017	0,59946	06/06/2017	0,55744	02/07/2017	0,53222	28/07/2017	0,49951	23/08/2017	0,49471	18/09/2017	0,55160
21/03/2017	0,68771	16/04/2017	0,55136	12/05/2017	0,59366	07/06/2017	0,57082	03/07/2017	0,53193	29/07/2017	0,49899	24/08/2017	0,49468	19/09/2017	0,55180
22/03/2017	0,67862	17/04/2017	0,64172	13/05/2017	0,53250	08/06/2017	0,54571	04/07/2017	0,52778	30/07/2017	0,49853	25/08/2017	0,49465	20/09/2017	0,55171
23/03/2017	0,68934	18/04/2017	0,63995	14/05/2017	0,55846	09/06/2017	0,54846	05/07/2017	0,53314	31/07/2017	0,49812	26/08/2017	0,49462	21/09/2017	0,54684
24/03/2017	0,67021	19/04/2017	0,63266	15/05/2017	0,57999	10/06/2017	0,53453	06/07/2017	0,53608	01/08/2017	0,49774	27/08/2017	0,49460	22/09/2017	0,54825
25/03/2017	0,66465	20/04/2017	0,62754	16/05/2017	0,58061	11/06/2017	0,52409	07/07/2017	0,53891	02/08/2017	0,49741	28/08/2017	0,49458	23/09/2017	0,55036
26/03/2017	0,66224	21/04/2017	0,62494	17/05/2017	0,58801	12/06/2017	0,54447	08/07/2017	0,53723	03/08/2017	0,49711	29/08/2017	0,49456	24/09/2017	0,55258
27/03/2017	0,66596	22/04/2017	0,62372	18/05/2017	0,58492	13/06/2017	0,55290	09/07/2017	0,53593	04/08/2017	0,49683	30/08/2017	0,49454	25/09/2017	0,55846
28/03/2017	0,69712	23/04/2017	0,62190	19/05/2017	0,60139	14/06/2017	0,54287	10/07/2017	0,53835	05/08/2017	0,49659	31/08/2017	0,49452	26/09/2017	0,55951
29/03/2017	0,69530	24/04/2017	0,61852	20/05/2017	0,63534	15/06/2017	0,54262	11/07/2017	0,53651	06/08/2017	0,49637	01/09/2017	0,49451	27/09/2017	0,55998
30/03/2017	0,68942	25/04/2017	0,61640	21/05/2017	0,62172	16/06/2017	0,55416	12/07/2017	0,53482	07/08/2017	0,49617	02/09/2017	0,49450	28/09/2017	0,56179
31/03/2017	0,68197	26/04/2017	0,60841	22/05/2017	0,62041	17/06/2017	0,53915	13/07/2017	0,53283	08/08/2017	0,49599	03/09/2017	0,49449	29/09/2017	0,56440
01/04/2017	0,67316	27/04/2017	0,61231	23/05/2017	0,60811	18/06/2017	0,53008	14/07/2017	0,53338	09/08/2017	0,49583	04/09/2017	0,49448	30/09/2017	0,59154
02/04/2017	0,66449	28/04/2017	0,62450	24/05/2017	0,60432	19/06/2017	0,56064	15/07/2017	0,55223	10/08/2017	0,49568	05/09/2017	0,49447		
03/04/2017	0,66245	29/04/2017	0,62698	25/05/2017	0,58054	20/06/2017	0,56592	16/07/2017	0,56993	11/08/2017	0,49555	06/09/2017	0,49446		
04/04/2017	0,65979	30/04/2017	0,62353	26/05/2017	0,58527	21/06/2017	0,54897	17/07/2017	0,51072	12/08/2017	0,49544	07/09/2017	0,49445		

Vazão Média Diária Monitorada (m³/s) Córrego Jaque

01/10/2016	0,16344	17/10/2016	0,16928	02/11/2016	0,12135	18/11/2016	0,59104	04/12/2016	0,58793	20/12/2016	0,29099	05/01/2017	0,15778	21/01/2017	0,15910
02/10/2016	0,19166	18/10/2016	0,16612	03/11/2016	0,13694	19/11/2016	0,42064	05/12/2016	0,74904	21/12/2016	0,24236	06/01/2017	0,12604	22/01/2017	0,14934
03/10/2016	0,18188	19/10/2016	0,15730	04/11/2016	0,15006	20/11/2016	0,30205	06/12/2016	0,57782	22/12/2016	0,23880	07/01/2017	0,14213	23/01/2017	0,14592
04/10/2016	0,29457	20/10/2016	0,14557	05/11/2016	0,14396	21/11/2016	0,25030	07/12/2016	0,39252	23/12/2016	0,23293	08/01/2017	0,14524	24/01/2017	0,14489
05/10/2016	0,37332	21/10/2016	0,13989	06/11/2016	0,13232	22/11/2016	0,21895	08/12/2016	0,28067	24/12/2016	0,20918	09/01/2017	0,13886	25/01/2017	0,15078
06/10/2016	0,67031	22/10/2016	0,10865	07/11/2016	0,12938	23/11/2016	0,61694	09/12/2016	0,23701	25/12/2016	0,18368	10/01/2017	0,13848	26/01/2017	0,14856
07/10/2016	0,46046	23/10/2016	0,14160	08/11/2016	0,16807	24/11/2016	0,42227	10/12/2016	0,46405	26/12/2016	0,19897	11/01/2017	0,14335	27/01/2017	0,14021
08/10/2016	0,33398	24/10/2016	0,13424	09/11/2016	0,20385	25/11/2016	0,30156	11/12/2016	0,56354	27/12/2016	0,23586	12/01/2017	0,28538	28/01/2017	0,13660
09/10/2016	0,27104	25/10/2016	0,12255	10/11/2016	0,21744	26/11/2016	0,24088	12/12/2016	0,50892	28/12/2016	0,35247	13/01/2017	0,20017	29/01/2017	0,13454
10/10/2016	0,24996	26/10/2016	0,12475	11/11/2016	0,21475	27/11/2016	0,20600	13/12/2016	1,11099	29/12/2016	0,23595	14/01/2017	0,29832	30/01/2017	0,12818
11/10/2016	0,23002	27/10/2016	0,12049	12/11/2016	0,46016	28/11/2016	0,17777	14/12/2016	1,29726	30/12/2016	0,19930	15/01/2017	0,64883	31/01/2017	0,12414
12/10/2016	0,21671	28/10/2016	0,12175	13/11/2016	0,55340	29/11/2016	0,17533	15/12/2016	1,07880	31/12/2016	0,19421	16/01/2017	0,42272	01/02/2017	0,12046
13/10/2016	0,20291	29/10/2016	0,11787	14/11/2016	0,59339	30/11/2016	0,58820	16/12/2016	0,77889	01/01/2017	0,19609	17/01/2017	0,29978	02/02/2017	0,12981
14/10/2016	0,19073	30/10/2016	0,11497	15/11/2016	0,82905	01/12/2016	0,40147	17/12/2016	0,50850	02/01/2017	0,16372	18/01/2017	0,23241	03/02/2017	0,44452
15/10/2016	0,18033	31/10/2016	0,10901	16/11/2016	0,75640	02/12/2016	0,31320	18/12/2016	0,40163	03/01/2017	0,13710	19/01/2017	0,19216	04/02/2017	0,36010
16/10/2016	0,17492	01/11/2016	0,10767	17/11/2016	0,83274	03/12/2016	0,23736	19/12/2016	0,33035	04/01/2017	0,14313	20/01/2017	0,17218	05/02/2017	0,55670

APÊNDICE – I: MONITORAMENTO FLUVIOMÉTRICO

06/02/2017	1,02809	08/03/2017	0,17062	07/04/2017	0,12499	07/05/2017	0,11188	06/06/2017	0,07824	06/07/2017	0,07780	05/08/2017	0,05251	04/09/2017	0,03374
07/02/2017	1,35486	09/03/2017	0,18839	08/04/2017	0,12380	08/05/2017	0,10460	07/06/2017	0,07570	07/07/2017	0,07795	06/08/2017	0,05999	05/09/2017	0,02288
08/02/2017	0,57311	10/03/2017	0,16721	09/04/2017	0,12314	09/05/2017	0,09932	08/06/2017	0,07083	08/07/2017	0,08089	07/08/2017	0,05686	06/09/2017	0,03665
09/02/2017	0,37712	11/03/2017	0,16034	10/04/2017	0,12252	10/05/2017	0,09366	09/06/2017	0,06846	09/07/2017	0,08523	08/08/2017	0,05215	07/09/2017	0,03625
10/02/2017	0,25442	12/03/2017	0,15176	11/04/2017	0,12258	11/05/2017	0,09325	10/06/2017	0,07208	10/07/2017	0,08047	09/08/2017	0,05127	08/09/2017	0,03331
11/02/2017	0,24791	13/03/2017	0,14744	12/04/2017	0,12273	12/05/2017	0,09239	11/06/2017	0,06767	11/07/2017	0,07092	10/08/2017	0,05164	09/09/2017	0,03159
12/02/2017	0,24356	14/03/2017	0,14250	13/04/2017	0,12425	13/05/2017	0,08538	12/06/2017	0,07743	12/07/2017	0,07747	11/08/2017	0,04828	10/09/2017	0,02831
13/02/2017	0,20657	15/03/2017	0,13810	14/04/2017	0,11781	14/05/2017	0,08438	13/06/2017	0,23747	13/07/2017	0,06850	12/08/2017	0,04956	11/09/2017	0,01635
14/02/2017	0,19085	16/03/2017	0,13132	15/04/2017	0,11525	15/05/2017	0,08538	14/06/2017	0,13929	14/07/2017	0,07437	13/08/2017	0,06069	12/09/2017	0,02462
15/02/2017	0,18185	17/03/2017	0,12522	16/04/2017	0,11284	16/05/2017	0,09267	15/06/2017	0,12620	15/07/2017	0,06610	14/08/2017	0,06236	13/09/2017	0,02415
16/02/2017	0,17196	18/03/2017	0,12665	17/04/2017	0,11090	17/05/2017	0,19685	16/06/2017	0,12671	16/07/2017	0,07078	15/08/2017	0,06335	14/09/2017	0,02637
17/02/2017	0,16539	19/03/2017	0,28163	18/04/2017	0,10967	18/05/2017	0,10631	17/06/2017	0,11327	17/07/2017	0,06302	16/08/2017	0,07205	15/09/2017	0,01964
18/02/2017	0,15755	20/03/2017	0,29321	19/04/2017	0,10988	19/05/2017	0,10177	18/06/2017	0,10462	18/07/2017	0,07543	17/08/2017	0,06729	16/09/2017	0,01864
19/02/2017	0,15094	21/03/2017	0,22541	20/04/2017	0,10601	20/05/2017	0,28554	19/06/2017	0,09607	19/07/2017	0,06962	18/08/2017	0,08033	17/09/2017	0,01359
20/02/2017	0,14287	22/03/2017	0,18138	21/04/2017	0,10627	21/05/2017	0,19312	20/06/2017	0,09266	20/07/2017	0,07260	19/08/2017	0,08226	18/09/2017	
21/02/2017	0,14196	23/03/2017	0,16174	22/04/2017	0,10170	22/05/2017	0,15272	21/06/2017	0,08311	21/07/2017	0,05987	20/08/2017	0,08792	19/09/2017	
22/02/2017	0,13671	24/03/2017	0,14999	23/04/2017	0,10887	23/05/2017	0,13690	22/06/2017	0,07382	22/07/2017	0,07179	21/08/2017	0,07735	20/09/2017	
23/02/2017	0,14065	25/03/2017	0,14185	24/04/2017	0,10448	24/05/2017	0,12897	23/06/2017	0,07115	23/07/2017	0,05099	22/08/2017	0,07720	21/09/2017	
24/02/2017	0,13441	26/03/2017	0,13481	25/04/2017	0,10760	25/05/2017	0,11807	24/06/2017	0,07909	24/07/2017	0,05274	23/08/2017	0,07500	22/09/2017	
25/02/2017	0,12712	27/03/2017	0,12810	26/04/2017	0,10042	26/05/2017	0,11007	25/06/2017	0,08120	25/07/2017	0,05282	24/08/2017	0,07592	23/09/2017	
26/02/2017	0,12641	28/03/2017	0,43579	27/04/2017	0,10435	27/05/2017	0,09822	26/06/2017	0,08038	26/07/2017	0,06021	25/08/2017	0,07629	24/09/2017	
27/02/2017	0,21711	29/03/2017	0,36369	28/04/2017	0,11320	28/05/2017	0,08818	27/06/2017	0,07255	27/07/2017	0,05985	26/08/2017	0,07361	25/09/2017	
28/02/2017	0,78113	30/03/2017	0,23459	29/04/2017	0,11386	29/05/2017	0,08708	28/06/2017	0,08000	28/07/2017	0,05785	27/08/2017	0,08288	26/09/2017	
01/03/2017	0,49159	31/03/2017	0,17940	30/04/2017	0,11436	30/05/2017	0,08747	29/06/2017	0,08018	29/07/2017	0,04594	28/08/2017	0,06775	27/09/2017	
02/03/2017	0,31068	01/04/2017	0,15893	01/05/2017	0,10451	31/05/2017	0,08446	30/06/2017	0,08105	30/07/2017	0,05602	29/08/2017	0,05636	28/09/2017	
03/03/2017	0,23226	02/04/2017	0,14679	02/05/2017	0,10633	01/06/2017	0,08309	01/07/2017	0,08441	31/07/2017	0,04995	30/08/2017	0,06614	29/09/2017	
04/03/2017	0,20018	03/04/2017	0,13997	03/05/2017	0,10360	02/06/2017	0,07520	02/07/2017	0,06886	01/08/2017	0,05187	31/08/2017	0,04004	30/09/2017	
05/03/2017	0,18761	04/04/2017	0,13429	04/05/2017	0,09826	03/06/2017	0,07878	03/07/2017	0,07503	02/08/2017	0,05179	01/09/2017	0,05065		
06/03/2017	0,17987	05/04/2017	0,13253	05/05/2017	0,10057	04/06/2017	0,07435	04/07/2017	0,07618	03/08/2017	0,05816	02/09/2017	0,03262		
07/03/2017	0,17323	06/04/2017	0,12747	06/05/2017	0,09589	05/06/2017	0,07901	05/07/2017	0,07524	04/08/2017	0,04286	03/09/2017	0,03995		

Vazão Média Diária Calculada (m³/s) Córrego Jaque

01/10/2016	0,16344	13/10/2016	0,20291	25/10/2016	0,12255	06/11/2016	0,13232	18/11/2016	0,59104	30/11/2016	0,58820	12/12/2016	0,50892	24/12/2016	0,20918
02/10/2016	0,19166	14/10/2016	0,19073	26/10/2016	0,12475	07/11/2016	0,12938	19/11/2016	0,42064	01/12/2016	0,40147	13/12/2016	1,11099	25/12/2016	0,18368
03/10/2016	0,18188	15/10/2016	0,18033	27/10/2016	0,12049	08/11/2016	0,16807	20/11/2016	0,30205	02/12/2016	0,31320	14/12/2016	1,29726	26/12/2016	0,19897
04/10/2016	0,29457	16/10/2016	0,17492	28/10/2016	0,12175	09/11/2016	0,20385	21/11/2016	0,25030	03/12/2016	0,23736	15/12/2016	1,07880	27/12/2016	0,23586
05/10/2016	0,37332	17/10/2016	0,16928	29/10/2016	0,11787	10/11/2016	0,21744	22/11/2016	0,21895	04/12/2016	0,58793	16/12/2016	0,77889	28/12/2016	0,35247
06/10/2016	0,67031	18/10/2016	0,16612	30/10/2016	0,11497	11/11/2016	0,21475	23/11/2016	0,61694	05/12/2016	0,74904	17/12/2016	0,50850	29/12/2016	0,23595
07/10/2016	0,46046	19/10/2016	0,15730	31/10/2016	0,10901	12/11/2016	0,46016	24/11/2016	0,42227	06/12/2016	0,57782	18/12/2016	0,40163	30/12/2016	0,19930
08/10/2016	0,33398	20/10/2016	0,14557	01/11/2016	0,10767	13/11/2016	0,55340	25/11/2016	0,30156	07/12/2016	0,39252	19/12/2016	0,33035	31/12/2016	0,19421
09/10/2016	0,27104	21/10/2016	0,13989	02/11/2016	0,12135	14/11/2016	0,59339	26/11/2016	0,24088	08/12/2016	0,28067	20/12/2016	0,29099	01/01/2017	0,19609
10/10/2016	0,24996	22/10/2016	0,10865	03/11/2016	0,13694	15/11/2016	0,82905	27/11/2016	0,20600	09/12/2016	0,23701	21/12/2016	0,24236	02/01/2017	0,16372
11/10/2016	0,23002	23/10/2016	0,14160	04/11/2016	0,15006	16/11/2016	0,75640	28/11/2016	0,17777	10/12/2016	0,46405	22/12/2016	0,23880	03/01/2017	0,13710
12/10/2016	0,21671	24/10/2016	0,13424	05/11/2016	0,14396	17/11/2016	0,83274	29/11/2016	0,17533	11/12/2016	0,56354	23/12/2016	0,23293	04/01/2017	0,14313

APÊNDICE – I: MONITORAMENTO FLUVIOMÉTRICO

05/01/2017	0,15778	08/02/2017	0,57311	14/03/2017	0,14250	17/04/2017	0,11090	21/05/2017	0,19312	24/06/2017	0,07909	28/07/2017	0,05785	31/08/2017	0,04004
06/01/2017	0,12604	09/02/2017	0,37712	15/03/2017	0,13810	18/04/2017	0,10967	22/05/2017	0,15272	25/06/2017	0,08120	29/07/2017	0,04594	01/09/2017	0,05065
07/01/2017	0,14213	10/02/2017	0,25442	16/03/2017	0,13132	19/04/2017	0,10988	23/05/2017	0,13690	26/06/2017	0,08038	30/07/2017	0,05602	02/09/2017	0,03262
08/01/2017	0,14524	11/02/2017	0,24791	17/03/2017	0,12522	20/04/2017	0,10601	24/05/2017	0,12897	27/06/2017	0,07255	31/07/2017	0,04995	03/09/2017	0,03995
09/01/2017	0,13886	12/02/2017	0,24356	18/03/2017	0,12665	21/04/2017	0,10627	25/05/2017	0,11807	28/06/2017	0,08000	01/08/2017	0,05187	04/09/2017	0,03374
10/01/2017	0,13848	13/02/2017	0,20657	19/03/2017	0,28163	22/04/2017	0,10170	26/05/2017	0,11007	29/06/2017	0,08018	02/08/2017	0,05179	05/09/2017	0,02288
11/01/2017	0,14335	14/02/2017	0,19085	20/03/2017	0,29321	23/04/2017	0,10887	27/05/2017	0,09822	30/06/2017	0,08105	03/08/2017	0,05816	06/09/2017	0,03665
12/01/2017	0,28538	15/02/2017	0,18185	21/03/2017	0,22541	24/04/2017	0,10448	28/05/2017	0,08818	01/07/2017	0,08441	04/08/2017	0,04286	07/09/2017	0,03625
13/01/2017	0,20017	16/02/2017	0,17196	22/03/2017	0,18138	25/04/2017	0,10760	29/05/2017	0,08708	02/07/2017	0,06886	05/08/2017	0,05251	08/09/2017	0,03331
14/01/2017	0,29832	17/02/2017	0,16539	23/03/2017	0,16174	26/04/2017	0,10042	30/05/2017	0,08747	03/07/2017	0,07503	06/08/2017	0,05999	09/09/2017	0,03159
15/01/2017	0,64883	18/02/2017	0,15755	24/03/2017	0,14999	27/04/2017	0,10435	31/05/2017	0,08446	04/07/2017	0,07618	07/08/2017	0,05686	10/09/2017	0,02831
16/01/2017	0,42272	19/02/2017	0,15094	25/03/2017	0,14185	28/04/2017	0,11320	01/06/2017	0,08309	05/07/2017	0,07524	08/08/2017	0,05215	11/09/2017	0,01635
17/01/2017	0,29978	20/02/2017	0,14287	26/03/2017	0,13481	29/04/2017	0,11386	02/06/2017	0,07520	06/07/2017	0,07780	09/08/2017	0,05127	12/09/2017	0,02462
18/01/2017	0,23241	21/02/2017	0,14196	27/03/2017	0,12810	30/04/2017	0,11436	03/06/2017	0,07878	07/07/2017	0,07795	10/08/2017	0,05164	13/09/2017	0,02415
19/01/2017	0,19216	22/02/2017	0,13671	28/03/2017	0,43579	01/05/2017	0,10451	04/06/2017	0,07435	08/07/2017	0,08089	11/08/2017	0,04828	14/09/2017	0,02637
20/01/2017	0,17218	23/02/2017	0,14065	29/03/2017	0,36369	02/05/2017	0,10633	05/06/2017	0,07901	09/07/2017	0,08523	12/08/2017	0,04956	15/09/2017	0,01964
21/01/2017	0,15910	24/02/2017	0,13441	30/03/2017	0,23459	03/05/2017	0,10360	06/06/2017	0,07824	10/07/2017	0,08047	13/08/2017	0,06069	16/09/2017	0,01864
22/01/2017	0,14934	25/02/2017	0,12712	31/03/2017	0,17940	04/05/2017	0,09826	07/06/2017	0,07570	11/07/2017	0,07092	14/08/2017	0,06236	17/09/2017	0,01359
23/01/2017	0,14592	26/02/2017	0,12641	01/04/2017	0,15893	05/05/2017	0,10057	08/06/2017	0,07083	12/07/2017	0,07747	15/08/2017	0,06335	18/09/2017	0,02359
24/01/2017	0,14489	27/02/2017	0,21711	02/04/2017	0,14679	06/05/2017	0,09589	09/06/2017	0,06846	13/07/2017	0,06850	16/08/2017	0,07205	19/09/2017	0,02359
25/01/2017	0,15078	28/02/2017	0,78113	03/04/2017	0,13997	07/05/2017	0,11188	10/06/2017	0,07208	14/07/2017	0,07437	17/08/2017	0,06729	20/09/2017	0,02358
26/01/2017	0,14856	01/03/2017	0,49159	04/04/2017	0,13429	08/05/2017	0,10460	11/06/2017	0,06767	15/07/2017	0,06610	18/08/2017	0,08033	21/09/2017	0,02358
27/01/2017	0,14021	02/03/2017	0,31068	05/04/2017	0,13253	09/05/2017	0,09932	12/06/2017	0,07743	16/07/2017	0,07078	19/08/2017	0,08226	22/09/2017	0,02358
28/01/2017	0,13660	03/03/2017	0,23226	06/04/2017	0,12747	10/05/2017	0,09366	13/06/2017	0,23747	17/07/2017	0,06302	20/08/2017	0,08792	23/09/2017	0,02358
29/01/2017	0,13454	04/03/2017	0,20018	07/04/2017	0,12499	11/05/2017	0,09325	14/06/2017	0,13929	18/07/2017	0,07543	21/08/2017	0,07735	24/09/2017	0,02358
30/01/2017	0,12818	05/03/2017	0,18761	08/04/2017	0,12380	12/05/2017	0,09239	15/06/2017	0,12620	19/07/2017	0,06962	22/08/2017	0,07720	25/09/2017	0,02358
31/01/2017	0,12414	06/03/2017	0,17987	09/04/2017	0,12314	13/05/2017	0,08538	16/06/2017	0,12671	20/07/2017	0,07260	23/08/2017	0,07500	26/09/2017	0,02358
01/02/2017	0,12046	07/03/2017	0,17323	10/04/2017	0,12252	14/05/2017	0,08438	17/06/2017	0,11327	21/07/2017	0,05987	24/08/2017	0,07592	27/09/2017	0,02358
02/02/2017	0,12981	08/03/2017	0,17062	11/04/2017	0,12258	15/05/2017	0,08538	18/06/2017	0,10462	22/07/2017	0,07179	25/08/2017	0,07629	28/09/2017	0,02358
03/02/2017	0,44452	09/03/2017	0,18839	12/04/2017	0,12273	16/05/2017	0,09267	19/06/2017	0,09607	23/07/2017	0,05099	26/08/2017	0,07361	29/09/2017	0,02358
04/02/2017	0,36010	10/03/2017	0,16721	13/04/2017	0,12425	17/05/2017	0,19685	20/06/2017	0,09266	24/07/2017	0,05274	27/08/2017	0,08288	30/09/2017	0,02358
05/02/2017	0,55670	11/03/2017	0,16034	14/04/2017	0,11781	18/05/2017	0,10631	21/06/2017	0,08311	25/07/2017	0,05282	28/08/2017	0,06775		
06/02/2017	1,02809	12/03/2017	0,15176	15/04/2017	0,11525	19/05/2017	0,10177	22/06/2017	0,07382	26/07/2017	0,06021	29/08/2017	0,05636		
07/02/2017	1,35486	13/03/2017	0,14744	16/04/2017	0,11284	20/05/2017	0,28554	23/06/2017	0,07115	27/07/2017	0,05985	30/08/2017	0,06614		

Vazão Média Diária Monitorada (m³/s) Córrego Palmeiras

01/10/2016	0,00533	09/10/2016		17/10/2016		25/10/2016		02/11/2016		10/11/2016		18/11/2016	0,00373	26/11/2016	
02/10/2016	0,00373	10/10/2016		18/10/2016		26/10/2016		03/11/2016		11/11/2016	0,00519	19/11/2016	0,00367	27/11/2016	
03/10/2016	0,00264	11/10/2016		19/10/2016		27/10/2016		04/11/2016		12/11/2016		20/11/2016		28/11/2016	0,00168
04/10/2016	0,00483	12/10/2016	0,00661	20/10/2016		28/10/2016		05/11/2016		13/11/2016	0,00526	21/11/2016	0,00103	29/11/2016	0,00496
05/10/2016	0,00464	13/10/2016		21/10/2016		29/10/2016		06/11/2016		14/11/2016	0,00499	22/11/2016		30/11/2016	0,00255
06/10/2016	0,00673	14/10/2016		22/10/2016		30/10/2016		07/11/2016		15/11/2016	0,00385	23/11/2016	0,00352	01/12/2016	0,00338
07/10/2016		15/10/2016		23/10/2016		31/10/2016		08/11/2016		16/11/2016	0,00448	24/11/2016	0,00216	02/12/2016	0,00285
08/10/2016		16/10/2016		24/10/2016		01/11/2016		09/11/2016		17/11/2016	0,00370	25/11/2016	0,00131	03/12/2016	0,00298

APÊNDICE – I: MONITORAMENTO FLUVIOMÉTRICO

04/12/2016	0,00417	11/01/2017	0,01350	18/02/2017	0,02084	28/03/2017	0,02329	05/05/2017	0,01888	12/06/2017	0,01687	20/07/2017	27/08/2017	
05/12/2016	0,00345	12/01/2017	0,01300	19/02/2017	0,02049	29/03/2017	0,02290	06/05/2017	0,01834	13/06/2017	0,01704	21/07/2017	28/08/2017	
06/12/2016	0,00285	13/01/2017	0,01183	20/02/2017	0,02023	30/03/2017	0,02184	07/05/2017	0,01911	14/06/2017	0,01665	22/07/2017	29/08/2017	
07/12/2016	0,00327	14/01/2017	0,01008	21/02/2017	0,02009	31/03/2017	0,02121	08/05/2017	0,01884	15/06/2017	0,01681	23/07/2017	30/08/2017	
08/12/2016	0,00321	15/01/2017	0,02489	22/02/2017	0,01997	01/04/2017	0,02109	09/05/2017	0,01832	16/06/2017	0,01748	24/07/2017	31/08/2017	
09/12/2016	0,00297	16/01/2017	0,02198	23/02/2017	0,01988	02/04/2017	0,02081	10/05/2017	0,01856	17/06/2017	0,01724	25/07/2017	01/09/2017	
10/12/2016	0,00437	17/01/2017	0,01859	24/02/2017	0,01995	03/04/2017	0,02056	11/05/2017	0,01823	18/06/2017	0,01785	26/07/2017	02/09/2017	
11/12/2016	0,00538	18/01/2017	0,01678	25/02/2017	0,01789	04/04/2017	0,02058	12/05/2017	0,01825	19/06/2017	0,01748	27/07/2017	03/09/2017	
12/12/2016	0,00503	19/01/2017	0,01769	26/02/2017	0,01855	05/04/2017	0,01991	13/05/2017	0,01791	20/06/2017	0,01764	28/07/2017	04/09/2017	
13/12/2016	0,02525	20/01/2017	0,01931	27/02/2017	0,02199	06/04/2017	0,01997	14/05/2017	0,01784	21/06/2017	0,01726	29/07/2017	05/09/2017	
14/12/2016	0,03105	21/01/2017	0,01386	28/02/2017	0,02150	07/04/2017	0,02003	15/05/2017	0,01819	22/06/2017	0,01759	30/07/2017	06/09/2017	
15/12/2016	0,02796	22/01/2017	0,01352	01/03/2017	0,02283	08/04/2017	0,02046	16/05/2017	0,01856	23/06/2017	0,01772	31/07/2017	07/09/2017	
16/12/2016	0,02623	23/01/2017	0,01631	02/03/2017	0,02231	09/04/2017	0,02053	17/05/2017	0,01763	24/06/2017	0,01672	01/08/2017	08/09/2017	
17/12/2016	0,02996	24/01/2017	0,02001	03/03/2017	0,02117	10/04/2017	0,02063	18/05/2017	0,01770	25/06/2017	0,01693	02/08/2017	09/09/2017	
18/12/2016	0,03265	25/01/2017	0,01930	04/03/2017	0,02068	11/04/2017	0,01988	19/05/2017	0,01795	26/06/2017	0,01739	03/08/2017	10/09/2017	
19/12/2016	0,03190	26/01/2017	0,01645	05/03/2017	0,02065	12/04/2017	0,02042	20/05/2017	0,01931	27/06/2017	0,01647	04/08/2017	11/09/2017	
20/12/2016	0,03115	27/01/2017	0,01734	06/03/2017	0,02050	13/04/2017	0,01977	21/05/2017	0,01852	28/06/2017	0,01628	05/08/2017	12/09/2017	
21/12/2016	0,03040	28/01/2017	0,01936	07/03/2017	0,01997	14/04/2017	0,02015	22/05/2017	0,01882	29/06/2017	0,01622	06/08/2017	13/09/2017	
22/12/2016	0,02982	29/01/2017	0,01775	08/03/2017	0,02098	15/04/2017	0,01996	23/05/2017	0,01867	30/06/2017	0,01710	07/08/2017	14/09/2017	
23/12/2016	0,02960	30/01/2017	0,01727	09/03/2017	0,02240	16/04/2017	0,02022	24/05/2017	0,01846	01/07/2017	0,01627	08/08/2017	15/09/2017	
24/12/2016	0,02943	31/01/2017	0,01524	10/03/2017	0,02148	17/04/2017	0,01999	25/05/2017	0,01805	02/07/2017	0,01602	09/08/2017	16/09/2017	0,01232
25/12/2016	0,02936	01/02/2017	0,01421	11/03/2017	0,02120	18/04/2017	0,01987	26/05/2017	0,01816	03/07/2017	0,01565	10/08/2017	17/09/2017	0,01114
26/12/2016	0,03118	02/02/2017	0,01319	12/03/2017	0,02062	19/04/2017	0,01949	27/05/2017	0,01844	04/07/2017	0,01571	11/08/2017	18/09/2017	0,01220
27/12/2016	0,03409	03/02/2017	0,01667	13/03/2017	0,02051	20/04/2017	0,01989	28/05/2017	0,01607	05/07/2017	0,01605	12/08/2017	19/09/2017	0,01302
28/12/2016	0,03246	04/02/2017	0,01737	14/03/2017	0,02028	21/04/2017	0,01961	29/05/2017	0,01580	06/07/2017	0,01579	13/08/2017	20/09/2017	0,01228
29/12/2016	0,03042	05/02/2017	0,01810	15/03/2017	0,02027	22/04/2017	0,01921	30/05/2017	0,01601	07/07/2017	0,01573	14/08/2017	21/09/2017	0,01166
30/12/2016	0,02977	06/02/2017	0,02534	16/03/2017	0,01996	23/04/2017	0,01913	31/05/2017	0,01561	08/07/2017	0,01649	15/08/2017	22/09/2017	0,01173
31/12/2016	0,02942	07/02/2017	0,02272	17/03/2017	0,02002	24/04/2017	0,01961	01/06/2017	0,01603	09/07/2017	0,01671	16/08/2017	23/09/2017	0,01201
01/01/2017	0,02916	08/02/2017	0,01794	18/03/2017	0,01996	25/04/2017	0,01939	02/06/2017	0,01590	10/07/2017	0,01636	17/08/2017	24/09/2017	0,01116
02/01/2017	0,02896	09/02/2017	0,01778	19/03/2017	0,02316	26/04/2017	0,01893	03/06/2017	0,01513	11/07/2017	0,01565	18/08/2017	25/09/2017	0,01109
03/01/2017	0,02882	10/02/2017	0,01831	20/03/2017	0,02332	27/04/2017	0,01948	04/06/2017	0,01495	12/07/2017	0,01567	19/08/2017	26/09/2017	0,01168
04/01/2017	0,02953	11/02/2017	0,01718	21/03/2017	0,02244	28/04/2017	0,01951	05/06/2017	0,01511	13/07/2017	0,01646	20/08/2017	27/09/2017	0,01167
05/01/2017	0,03034	12/02/2017	0,01985	22/03/2017	0,02145	29/04/2017	0,01945	06/06/2017	0,01497	14/07/2017	0,01647	21/08/2017	28/09/2017	0,01168
06/01/2017	0,02966	13/02/2017	0,02193	23/03/2017	0,02130	30/04/2017	0,01969	07/06/2017	0,01519	15/07/2017	0,01803	22/08/2017	29/09/2017	0,01286
07/01/2017	0,02936	14/02/2017	0,02162	24/03/2017	0,02116	01/05/2017	0,01922	08/06/2017	0,01526	16/07/2017	0,01890	23/08/2017	30/09/2017	
08/01/2017	0,01834	15/02/2017	0,02143	25/03/2017	0,02104	02/05/2017	0,01931	09/06/2017	0,01506	17/07/2017		24/08/2017		
09/01/2017	0,01377	16/02/2017	0,02127	26/03/2017	0,02096	03/05/2017	0,01897	10/06/2017	0,01531	18/07/2017		25/08/2017		
10/01/2017	0,01243	17/02/2017	0,02109	27/03/2017	0,02124	04/05/2017	0,01930	11/06/2017	0,01570	19/07/2017		26/08/2017		

Vazão Média Diária Calculada (m³/s) Córrego Palmeiras

01/10/2016	0,01054	04/10/2016	0,01036	07/10/2016	0,01818	10/10/2016	0,01293	13/10/2016	0,01286	16/10/2016	0,01281	19/10/2016	0,01282	22/10/2016	0,01346
02/10/2016	0,01099	05/10/2016	0,02258	08/10/2016	0,01318	11/10/2016	0,01290	14/10/2016	0,01284	17/10/2016	0,01280	20/10/2016	0,01428	23/10/2016	0,01338
03/10/2016	0,01149	06/10/2016	0,01539	09/10/2016	0,01295	12/10/2016	0,00944	15/10/2016	0,01283	18/10/2016	0,01293	21/10/2016	0,01355	24/10/2016	0,01331

APÊNDICE – I: MONITORAMENTO FLUVIOMÉTRICO

25/10/2016	0,01325	07/12/2016	0,01584	19/01/2017	0,01447	03/03/2017	0,02117	15/04/2017	0,00348	28/05/2017	0,01035	10/07/2017	0,00525	22/08/2017	0,00392
26/10/2016	0,01319	08/12/2016	0,01356	20/01/2017	0,01460	04/03/2017	0,02068	16/04/2017	0,00325	29/05/2017	0,00990	11/07/2017	0,00551	23/08/2017	0,00392
27/10/2016	0,01314	09/12/2016	0,01341	21/01/2017	0,01180	05/03/2017	0,02065	17/04/2017	0,00328	30/05/2017	0,00926	12/07/2017	0,00541	24/08/2017	0,00392
28/10/2016	0,01310	10/12/2016	0,01304	22/01/2017	0,01155	06/03/2017	0,02050	18/04/2017	0,00325	31/05/2017	0,00898	13/07/2017	0,00493	25/08/2017	0,00392
29/10/2016	0,01306	11/12/2016	0,01426	23/01/2017	0,01289	07/03/2017	0,01997	19/04/2017	0,00337	01/06/2017	0,00833	14/07/2017	0,00486	26/08/2017	0,00392
30/10/2016	0,01302	12/12/2016	0,01624	24/01/2017	0,01468	08/03/2017	0,02098	20/04/2017	0,00310	02/06/2017	0,00801	15/07/2017	0,00402	27/08/2017	0,00392
31/10/2016	0,01299	13/12/2016	0,01717	25/01/2017	0,01427	09/03/2017	0,02240	21/04/2017	0,00318	03/06/2017	0,00804	16/07/2017	0,00352	28/08/2017	0,00392
01/11/2016	0,01296	14/12/2016	0,02967	26/01/2017	0,02050	10/03/2017	0,02148	22/04/2017	0,00333	04/06/2017	0,00782	17/07/2017	0,00423	29/08/2017	0,00392
02/11/2016	0,01293	15/12/2016	0,02802	27/01/2017	0,01575	11/03/2017	0,02120	23/04/2017	0,00332	05/06/2017	0,00745	18/07/2017	0,00420	30/08/2017	0,00392
03/11/2016	0,01290	16/12/2016	0,01981	28/01/2017	0,01646	12/03/2017	0,02062	24/04/2017	0,00304	06/06/2017	0,00727	19/07/2017	0,00417	31/08/2017	0,00392
04/11/2016	0,01283	17/12/2016	0,02528	29/01/2017	0,01540	13/03/2017	0,02051	25/04/2017	0,00311	07/06/2017	0,00693	20/07/2017	0,00414	01/09/2017	0,00392
05/11/2016	0,01913	18/12/2016	0,02380	30/01/2017	0,01492	14/03/2017	0,02028	26/04/2017	0,00330	08/06/2017	0,00669	21/07/2017	0,00412	02/09/2017	0,00392
06/11/2016	0,01963	19/12/2016	0,02345	31/01/2017	0,01369	15/03/2017	0,02027	27/04/2017	0,00300	09/06/2017	0,00660	22/07/2017	0,00410	03/09/2017	0,00392
07/11/2016	0,01644	20/12/2016	0,02153	01/02/2017	0,01299	16/03/2017	0,01996	28/04/2017	0,01259	10/06/2017	0,00630	23/07/2017	0,00408	04/09/2017	0,00392
08/11/2016	0,01283	21/12/2016	0,02098	02/02/2017	0,01230	17/03/2017	0,02002	29/04/2017	0,00807	11/06/2017	0,00596	24/07/2017	0,00406	05/09/2017	0,00392
09/11/2016	0,01628	22/12/2016	0,02052	03/02/2017	0,01388	18/03/2017	0,01996	30/04/2017	0,00568	12/06/2017	0,00524	25/07/2017	0,00405	06/09/2017	0,00392
10/11/2016	0,01293	23/12/2016	0,02027	04/02/2017	0,01416	19/03/2017	0,02316	01/05/2017	0,00450	13/06/2017	0,00925	26/07/2017	0,00404	07/09/2017	0,00392
11/11/2016	0,01728	24/12/2016	0,02005	05/02/2017	0,01793	20/03/2017	0,02332	02/05/2017	0,00429	14/06/2017	0,02090	27/07/2017	0,00402	08/09/2017	0,00392
12/11/2016	0,01536	25/12/2016	0,01990	06/02/2017	0,01702	21/03/2017	0,02244	03/05/2017	0,00431	15/06/2017	0,01711	28/07/2017	0,00401	09/09/2017	0,00392
13/11/2016	0,01785	26/12/2016	0,02070	07/02/2017	0,01941	22/03/2017	0,02145	04/05/2017	0,00401	16/06/2017	0,01599	29/07/2017	0,00400	10/09/2017	0,00392
14/11/2016	0,03958	27/12/2016	0,02149	08/02/2017	0,02958	23/03/2017	0,02130	05/05/2017	0,00410	17/06/2017	0,01488	30/07/2017	0,00399	11/09/2017	0,00392
15/11/2016	0,02913	28/12/2016	0,02054	09/02/2017	0,01774	24/03/2017	0,02116	06/05/2017	0,00426	18/06/2017	0,01347	31/07/2017	0,00399	12/09/2017	0,00392
16/11/2016	0,03991	29/12/2016	0,01950	10/02/2017	0,01753	25/03/2017	0,02104	07/05/2017	0,00378	19/06/2017	0,01266	01/08/2017	0,00398	13/09/2017	0,00392
17/11/2016	0,02357	30/12/2016	0,01917	11/02/2017	0,01655	26/03/2017	0,02096	08/05/2017	0,00656	20/06/2017	0,01169	02/08/2017	0,00397	14/09/2017	0,00392
18/11/2016	0,04253	31/12/2016	0,01898	12/02/2017	0,01750	27/03/2017	0,02124	09/05/2017	0,00519	21/06/2017	0,01107	03/08/2017	0,00397	15/09/2017	0,00392
19/11/2016	0,01257	01/01/2017	0,01884	13/02/2017	0,02193	28/03/2017	0,02329	10/05/2017	0,00488	22/06/2017	0,01018	04/08/2017	0,00396	16/09/2017	0,00629
20/11/2016	0,01523	02/01/2017	0,01873	14/02/2017	0,02162	29/03/2017	0,02290	11/05/2017	0,00488	23/06/2017	0,00947	05/08/2017	0,00396	17/09/2017	0,00688
21/11/2016	0,01400	03/01/2017	0,01864	15/02/2017	0,02143	30/03/2017	0,02184	12/05/2017	0,00471	24/06/2017	0,00938	06/08/2017	0,00395	18/09/2017	0,00635
22/11/2016	0,01392	04/01/2017	0,01899	16/02/2017	0,02127	31/03/2017	0,02121	13/05/2017	0,00475	25/06/2017	0,00874	07/08/2017	0,00395	19/09/2017	0,00594
23/11/2016	0,01236	05/01/2017	0,01939	17/02/2017	0,02109	01/04/2017	0,00453	14/05/2017	0,00465	26/06/2017	0,00804	08/08/2017	0,00395	20/09/2017	0,00631
24/11/2016	0,02352	06/01/2017	0,01904	18/02/2017	0,02084	02/04/2017	0,00441	15/05/2017	0,00437	27/06/2017	0,00807	09/08/2017	0,00394	21/09/2017	0,00662
25/11/2016	0,02065	07/01/2017	0,01888	19/02/2017	0,02049	03/04/2017	0,00430	16/05/2017	0,00408	28/06/2017	0,00778	10/08/2017	0,00394	22/09/2017	0,00659
26/11/2016	0,01443	08/01/2017	0,01337	20/02/2017	0,02023	04/04/2017	0,00407	17/05/2017	0,00445	29/06/2017	0,00746	11/08/2017	0,00394	23/09/2017	0,00645
27/11/2016	0,01363	09/01/2017	0,01108	21/02/2017	0,02009	05/04/2017	0,00422	18/05/2017	0,01215	30/06/2017	0,00671	12/08/2017	0,00394	24/09/2017	0,00687
28/11/2016	0,01289	10/01/2017	0,01041	22/02/2017	0,01997	06/04/2017	0,00401	19/05/2017	0,00809	01/07/2017	0,00684	13/08/2017	0,00393	25/09/2017	0,00691
29/11/2016	0,01112	11/01/2017	0,01094	23/02/2017	0,01988	07/04/2017	0,00383	20/05/2017	0,00695	02/07/2017	0,00672	14/08/2017	0,00393	26/09/2017	0,00661
30/11/2016	0,01221	12/01/2017	0,01068	24/02/2017	0,01995	08/04/2017	0,00348	21/05/2017	0,02031	03/07/2017	0,00667	15/08/2017	0,00393	27/09/2017	0,00661
01/12/2016	0,04294	13/01/2017	0,01569	25/02/2017	0,01789	09/04/2017	0,00331	22/05/2017	0,01422	04/07/2017	0,00644	16/08/2017	0,00393	28/09/2017	0,00661
02/12/2016	0,01200	14/01/2017	0,00956	26/02/2017	0,01855	10/04/2017	0,00315	23/05/2017	0,01318	05/07/2017	0,00608	17/08/2017	0,00393	29/09/2017	0,00602
03/12/2016	0,01306	15/01/2017	0,02094	27/02/2017	0,02199	11/04/2017	0,00342	24/05/2017	0,01227	06/07/2017	0,00605	18/08/2017	0,00393	30/09/2017	0,00392
04/12/2016	0,01150	16/01/2017	0,03844	28/02/2017	0,02150	12/04/2017	0,00306	25/05/2017	0,01157	07/07/2017	0,00593	19/08/2017	0,00392		
05/12/2016	0,02483	17/01/2017	0,01420	01/03/2017	0,02283	13/04/2017	0,00330	26/05/2017	0,01071	08/07/2017	0,00541	20/08/2017	0,00392		
06/12/2016	0,02715	18/01/2017	0,01295	02/03/2017	0,02231	14/04/2017	0,00425	27/05/2017	0,00983	09/07/2017	0,00518	21/08/2017	0,00392		

APÊNDICE – I: MONITORAMENTO FLUVIOMÉTRICO

Vazão Média Diária Monitorada (m³/s) Córrego Samambaia

01/10/2016	0,17886	13/11/2016	0,17906	26/12/2016	0,16918	07/02/2017	0,18795	22/03/2017	0,16616	04/05/2017	0,16151	16/06/2017	0,16299	29/07/2017
02/10/2016	0,17880	14/11/2016	0,17925	27/12/2016	0,17664	08/02/2017	0,17652	23/03/2017	0,16569	05/05/2017	0,16052	17/06/2017	0,16136	30/07/2017
03/10/2016	0,17891	15/11/2016	0,17933	28/12/2016	0,17956	09/02/2017	0,17215	24/03/2017	0,16547	06/05/2017	0,16039	18/06/2017	0,16054	31/07/2017
04/10/2016	0,17901	16/11/2016	0,17922	29/12/2016	0,17497	10/02/2017	0,17020	25/03/2017	0,16667	07/05/2017	0,16144	19/06/2017	0,16027	01/08/2017
05/10/2016	0,17910	17/11/2016	0,17912	30/12/2016	0,17196	11/02/2017	0,16955	26/03/2017	0,16737	08/05/2017	0,16003	20/06/2017	0,15990	02/08/2017
06/10/2016	0,17928	18/11/2016	0,17919	31/12/2016	0,17274	12/02/2017	0,17234	27/03/2017	0,16770	09/05/2017	0,15976	21/06/2017	0,16017	03/08/2017
07/10/2016	0,17913	19/11/2016	0,17906	01/01/2017	0,17503	13/02/2017	0,17249	28/03/2017	0,17782	10/05/2017	0,16004	22/06/2017	0,16077	04/08/2017
08/10/2016	0,17901	20/11/2016	0,17899	02/01/2017	0,17049	14/02/2017	0,17064	29/03/2017	0,17586	11/05/2017	0,15960	23/06/2017	0,16139	05/08/2017
09/10/2016	0,17892	21/11/2016	0,17894	03/01/2017	0,16480	15/02/2017	0,17022	30/03/2017	0,17100	12/05/2017	0,16133	24/06/2017	0,16059	06/08/2017
10/10/2016	0,17882	22/11/2016	0,17903	04/01/2017	0,16450	16/02/2017	0,16960	31/03/2017	0,16793	13/05/2017	0,15659	25/06/2017	0,15737	07/08/2017
11/10/2016	0,17885	23/11/2016	0,17903	05/01/2017	0,16588	17/02/2017	0,16893	01/04/2017	0,16626	14/05/2017	0,15328	26/06/2017	0,15965	08/08/2017
12/10/2016	0,17886	24/11/2016	0,17898	06/01/2017	0,16354	18/02/2017	0,16800	02/04/2017	0,16509	15/05/2017	0,15419	27/06/2017	0,15887	09/08/2017
13/10/2016	0,17883	25/11/2016	0,17892	07/01/2017	0,16108	19/02/2017	0,16780	03/04/2017	0,16459	16/05/2017	0,15591	28/06/2017	0,15830	10/08/2017
14/10/2016	0,17879	26/11/2016	0,17893	08/01/2017	0,15337	20/02/2017	0,16829	04/04/2017	0,16379	17/05/2017	0,15939	29/06/2017	0,15667	11/08/2017
15/10/2016	0,17888	27/11/2016	0,17895	09/01/2017	0,15179	21/02/2017	0,16715	05/04/2017	0,16277	18/05/2017	0,16023	30/06/2017	0,15577	12/08/2017
16/10/2016	0,17895	28/11/2016	0,17899	10/01/2017	0,15219	22/02/2017	0,16605	06/04/2017	0,16244	19/05/2017	0,16057	01/07/2017	0,15541	13/08/2017
17/10/2016	0,17899	29/11/2016	0,17908	11/01/2017	0,15606	23/02/2017	0,16487	07/04/2017	0,16253	20/05/2017	0,16571	02/07/2017	0,15440	14/08/2017
18/10/2016	0,17901	30/11/2016	0,17897	12/01/2017	0,15851	24/02/2017	0,16535	08/04/2017	0,16168	21/05/2017	0,16568	03/07/2017	0,15486	15/08/2017
19/10/2016	0,17909	01/12/2016	0,17882	13/01/2017	0,15661	25/02/2017	0,16555	09/04/2017	0,16151	22/05/2017	0,16493	04/07/2017	0,15519	16/08/2017
20/10/2016	0,17914	02/12/2016	0,17886	14/01/2017	0,16243	26/02/2017	0,16863	10/04/2017	0,16344	23/05/2017	0,16452	05/07/2017	0,15557	17/08/2017
21/10/2016	0,17911	03/12/2016	0,17905	15/01/2017	0,17879	27/02/2017	0,17859	11/04/2017	0,16305	24/05/2017	0,16312	06/07/2017	0,15596	18/08/2017
22/10/2016	0,17895	04/12/2016	0,17916	16/01/2017	0,16946	28/02/2017	0,17605	12/04/2017	0,16231	25/05/2017	0,16210	07/07/2017	0,15398	19/08/2017
23/10/2016	0,17887	05/12/2016	0,17914	17/01/2017	0,16438	01/03/2017	0,17534	13/04/2017	0,16207	26/05/2017	0,16038	08/07/2017	0,15453	20/08/2017
24/10/2016	0,17896	06/12/2016	0,17908	18/01/2017	0,16082	02/03/2017	0,17367	14/04/2017	0,16177	27/05/2017	0,15778	09/07/2017	0,15408	21/08/2017
25/10/2016	0,17902	07/12/2016	0,17910	19/01/2017	0,15806	03/03/2017	0,17206	15/04/2017	0,16197	28/05/2017	0,15400	10/07/2017	0,15406	22/08/2017
26/10/2016	0,17910	08/12/2016	0,17908	20/01/2017	0,15673	04/03/2017	0,17163	16/04/2017	0,16156	29/05/2017	0,15426	11/07/2017	0,15338	23/08/2017
27/10/2016	0,17921	09/12/2016	0,17911	21/01/2017	0,15581	05/03/2017	0,17090	17/04/2017	0,16272	30/05/2017	0,15435	12/07/2017	0,15308	24/08/2017
28/10/2016	0,17908	10/12/2016	0,17909	22/01/2017	0,15503	06/03/2017	0,17123	18/04/2017	0,16155	31/05/2017	0,15400	13/07/2017	0,15243	25/08/2017
29/10/2016	0,17884	11/12/2016	0,17912	23/01/2017	0,15324	07/03/2017	0,17060	19/04/2017	0,16073	01/06/2017	0,15411	14/07/2017	0,15224	26/08/2017
30/10/2016	0,17878	12/12/2016	0,17917	24/01/2017	0,15314	08/03/2017	0,16896	20/04/2017	0,15884	02/06/2017	0,15556	15/07/2017	0,15144	27/08/2017
31/10/2016	0,17888	13/12/2016	0,17912	25/01/2017	0,15380	09/03/2017	0,17028	21/04/2017	0,15792	03/06/2017	0,15724	16/07/2017		28/08/2017
01/11/2016	0,17889	14/12/2016	0,17904	26/01/2017	0,15228	10/03/2017	0,16803	22/04/2017	0,15818	04/06/2017	0,15636	17/07/2017		29/08/2017
02/11/2016	0,17889	15/12/2016	0,17887	27/01/2017	0,15060	11/03/2017	0,16615	23/04/2017	0,15861	05/06/2017	0,15933	18/07/2017		30/08/2017
03/11/2016	0,17887	16/12/2016	0,17872	28/01/2017	0,14885	12/03/2017	0,16551	24/04/2017	0,15871	06/06/2017	0,15310	19/07/2017		31/08/2017
04/11/2016	0,17876	17/12/2016	0,18467	29/01/2017	0,15007	13/03/2017	0,16549	25/04/2017	0,15869	07/06/2017	0,15252	20/07/2017		01/09/2017
05/11/2016	0,17876	18/12/2016	0,18393	30/01/2017	0,15019	14/03/2017	0,16528	26/04/2017	0,15859	08/06/2017	0,15958	21/07/2017		02/09/2017
06/11/2016	0,17882	19/12/2016	0,18419	31/01/2017	0,14965	15/03/2017	0,16534	27/04/2017	0,16170	09/06/2017	0,16580	22/07/2017		03/09/2017
07/11/2016	0,17889	20/12/2016	0,18807	01/02/2017	0,14975	16/03/2017	0,16549	28/04/2017	0,16289	10/06/2017	0,16113	23/07/2017		04/09/2017
08/11/2016	0,17895	21/12/2016	0,17794	02/02/2017	0,16108	17/03/2017	0,16459	29/04/2017	0,16443	11/06/2017	0,15896	24/07/2017		05/09/2017
09/11/2016	0,17898	22/12/2016	0,17896	03/02/2017	0,18572	18/03/2017	0,16421	30/04/2017	0,16339	12/06/2017	0,15618	25/07/2017		06/09/2017
10/11/2016	0,17896	23/12/2016	0,18008	04/02/2017	0,17216	19/03/2017	0,17074	01/05/2017	0,16213	13/06/2017	0,16952	26/07/2017		07/09/2017
11/11/2016	0,17908	24/12/2016	0,17770	05/02/2017	0,16661	20/03/2017	0,17157	02/05/2017	0,17206	14/06/2017	0,17036	27/07/2017		08/09/2017
12/11/2016	0,17908	25/12/2016	0,17291	06/02/2017	0,18646	21/03/2017	0,16779	03/05/2017	0,16698	15/06/2017	0,16509	28/07/2017		09/09/2017

APÊNDICE – I: MONITORAMENTO FLUVIOMÉTRICO

10/09/2017	13/09/2017	16/09/2017		19/09/2017	0,14571	22/09/2017	0,14515	25/09/2017	0,14444	28/09/2017	0,14573
11/09/2017	14/09/2017	17/09/2017	0,14602	20/09/2017	0,14547	23/09/2017	0,14500	26/09/2017	0,14340	29/09/2017	0,14531
12/09/2017	15/09/2017	18/09/2017	0,14520	21/09/2017	0,14524	24/09/2017	0,14404	27/09/2017	0,14316	30/09/2017	0,14675

Vazão Média Diária Calculada (m³/s) Córrego Samambaia

01/10/2016	0,16684	07/11/2016	0,16665	14/12/2016	0,18168	20/01/2017	0,15617	26/02/2017	0,16863	04/04/2017	0,16379	11/05/2017	0,15960	17/06/2017	0,16136
02/10/2016	0,16681	08/11/2016	0,16668	15/12/2016	0,18879	21/01/2017	0,15562	27/02/2017	0,17859	05/04/2017	0,16277	12/05/2017	0,16133	18/06/2017	0,16054
03/10/2016	0,16800	09/11/2016	0,16708	16/12/2016	0,17382	22/01/2017	0,15539	28/02/2017	0,17605	06/04/2017	0,16244	13/05/2017	0,15659	19/06/2017	0,16027
04/10/2016	0,16730	10/11/2016	0,16857	17/12/2016	0,17526	23/01/2017	0,15606	01/03/2017	0,17534	07/04/2017	0,16253	14/05/2017	0,15328	20/06/2017	0,15990
05/10/2016	0,16725	11/11/2016	0,17217	18/12/2016	0,17212	24/01/2017	0,15591	02/03/2017	0,17367	08/04/2017	0,16168	15/05/2017	0,15419	21/06/2017	0,16017
06/10/2016	0,17926	12/11/2016	0,16953	19/12/2016	0,17192	25/01/2017	0,15540	03/03/2017	0,17206	09/04/2017	0,16151	16/05/2017	0,15591	22/06/2017	0,16077
07/10/2016	0,17130	13/11/2016	0,16886	20/12/2016	0,17357	26/01/2017	0,15600	04/03/2017	0,17163	10/04/2017	0,16344	17/05/2017	0,15939	23/06/2017	0,16139
08/10/2016	0,16901	14/11/2016	0,17817	21/12/2016	0,16825	27/01/2017	0,15670	05/03/2017	0,17090	11/04/2017	0,16305	18/05/2017	0,16023	24/06/2017	0,16059
09/10/2016	0,16871	15/11/2016	0,17355	22/12/2016	0,16851	28/01/2017	0,15744	06/03/2017	0,17123	12/04/2017	0,16231	19/05/2017	0,16057	25/06/2017	0,15737
10/10/2016	0,16842	16/11/2016	0,18069	23/12/2016	0,16887	29/01/2017	0,15672	07/03/2017	0,17060	13/04/2017	0,16207	20/05/2017	0,16571	26/06/2017	0,15965
11/10/2016	0,16823	17/11/2016	0,17234	24/12/2016	0,16748	30/01/2017	0,15655	08/03/2017	0,16896	14/04/2017	0,16177	21/05/2017	0,16568	27/06/2017	0,15887
12/10/2016	0,16804	18/11/2016	0,17511	25/12/2016	0,16491	31/01/2017	0,15673	09/03/2017	0,17028	15/04/2017	0,16197	22/05/2017	0,16493	28/06/2017	0,15830
13/10/2016	0,16785	19/11/2016	0,17108	26/12/2016	0,16289	01/02/2017	0,15659	10/03/2017	0,16803	16/04/2017	0,16156	23/05/2017	0,16452	29/06/2017	0,15667
14/10/2016	0,16768	20/11/2016	0,17228	27/12/2016	0,16648	02/02/2017	0,16108	11/03/2017	0,16615	17/04/2017	0,16272	24/05/2017	0,16312	30/06/2017	0,15577
15/10/2016	0,16759	21/11/2016	0,16955	28/12/2016	0,16782	03/02/2017	0,18572	12/03/2017	0,16551	18/04/2017	0,16155	25/05/2017	0,16210	01/07/2017	0,15541
16/10/2016	0,16750	22/11/2016	0,16927	29/12/2016	0,16541	04/02/2017	0,17216	13/03/2017	0,16549	19/04/2017	0,16073	26/05/2017	0,16038	02/07/2017	0,15440
17/10/2016	0,16740	23/11/2016	0,16899	30/12/2016	0,16477	05/02/2017	0,16661	14/03/2017	0,16528	20/04/2017	0,15884	27/05/2017	0,15778	03/07/2017	0,15486
18/10/2016	0,16731	24/11/2016	0,19035	31/12/2016	0,16429	06/02/2017	0,18646	15/03/2017	0,16534	21/04/2017	0,15792	28/05/2017	0,15400	04/07/2017	0,15519
19/10/2016	0,16726	25/11/2016	0,17158	01/01/2017	0,16534	07/02/2017	0,18795	16/03/2017	0,16549	22/04/2017	0,15818	29/05/2017	0,15426	05/07/2017	0,15557
20/10/2016	0,16721	26/11/2016	0,16919	02/01/2017	0,16297	08/02/2017	0,17652	17/03/2017	0,16459	23/04/2017	0,15861	30/05/2017	0,15435	06/07/2017	0,15596
21/10/2016	0,16712	27/11/2016	0,16891	03/01/2017	0,16004	09/02/2017	0,17215	18/03/2017	0,16421	24/04/2017	0,15871	31/05/2017	0,15400	07/07/2017	0,15398
22/10/2016	0,16697	28/11/2016	0,16868	04/01/2017	0,15982	10/02/2017	0,17020	19/03/2017	0,17074	25/04/2017	0,15869	01/06/2017	0,15411	08/07/2017	0,15453
23/10/2016	0,16687	29/11/2016	0,16849	05/01/2017	0,16044	11/02/2017	0,16955	20/03/2017	0,17157	26/04/2017	0,15859	02/06/2017	0,15556	09/07/2017	0,15408
24/10/2016	0,16686	30/11/2016	0,16824	06/01/2017	0,15921	12/02/2017	0,17234	21/03/2017	0,16779	27/04/2017	0,16170	03/06/2017	0,15724	10/07/2017	0,15406
25/10/2016	0,16684	01/12/2016	0,17435	07/01/2017	0,15793	13/02/2017	0,17249	22/03/2017	0,16616	28/04/2017	0,16289	04/06/2017	0,15636	11/07/2017	0,15338
26/10/2016	0,16684	02/12/2016	0,17067	08/01/2017	0,15533	14/02/2017	0,17064	23/03/2017	0,16569	29/04/2017	0,16443	05/06/2017	0,15933	12/07/2017	0,15308
27/10/2016	0,16686	03/12/2016	0,17033	09/01/2017	0,15599	15/02/2017	0,17022	24/03/2017	0,16547	30/04/2017	0,16339	06/06/2017	0,15310	13/07/2017	0,15243
28/10/2016	0,16676	04/12/2016	0,17000	10/01/2017	0,15567	16/02/2017	0,16960	25/03/2017	0,16667	01/05/2017	0,16213	07/06/2017	0,15252	14/07/2017	0,15224
29/10/2016	0,16660	05/12/2016	0,16963	11/01/2017	0,15525	17/02/2017	0,16893	26/03/2017	0,16737	02/05/2017	0,17206	08/06/2017	0,15958	15/07/2017	0,15144
30/10/2016	0,16655	06/12/2016	0,18157	12/01/2017	0,15644	18/02/2017	0,16800	27/03/2017	0,16770	03/05/2017	0,16698	09/06/2017	0,16580	16/07/2017	0,14914
31/10/2016	0,16657	07/12/2016	0,16693	13/01/2017	0,15586	19/02/2017	0,16780	28/03/2017	0,17782	04/05/2017	0,16151	10/06/2017	0,16113	17/07/2017	0,14910
01/11/2016	0,16655	08/12/2016	0,16670	14/01/2017	0,15847	20/02/2017	0,16829	29/03/2017	0,17586	05/05/2017	0,16052	11/06/2017	0,15896	18/07/2017	0,14906
02/11/2016	0,16653	09/12/2016	0,16669	15/01/2017	0,17088	21/02/2017	0,16715	30/03/2017	0,17100	06/05/2017	0,16039	12/06/2017	0,15618	19/07/2017	0,14902
03/11/2016	0,16650	10/12/2016	0,16666	16/01/2017	0,18197	22/02/2017	0,16605	31/03/2017	0,16793	07/05/2017	0,16144	13/06/2017	0,16952	20/07/2017	0,14899
04/11/2016	0,16643	11/12/2016	0,16665	17/01/2017	0,16116	23/02/2017	0,16487	01/04/2017	0,16626	08/05/2017	0,16003	14/06/2017	0,17036	21/07/2017	0,14897
05/11/2016	0,16691	12/12/2016	0,17519	18/01/2017	0,15843	24/02/2017	0,16535	02/04/2017	0,16509	09/05/2017	0,15976	15/06/2017	0,16509	22/07/2017	0,14894
06/11/2016	0,16665	13/12/2016	0,16709	19/01/2017	0,15693	25/02/2017	0,16555	03/04/2017	0,16459	10/05/2017	0,16004	16/06/2017	0,16299	23/07/2017	0,14892

APÊNDICE – I: MONITORAMENTO FLUVIOMÉTRICO

24/07/2017	0,14890	02/08/2017	0,14879	11/08/2017	0,14875	20/08/2017	0,14873	29/08/2017	0,14872	07/09/2017	0,14872	16/09/2017	0,14872	25/09/2017	0,14444
25/07/2017	0,14888	03/08/2017	0,14878	12/08/2017	0,14874	21/08/2017	0,14873	30/08/2017	0,14872	08/09/2017	0,14872	17/09/2017	0,14602	26/09/2017	0,14340
26/07/2017	0,14887	04/08/2017	0,14878	13/08/2017	0,14874	22/08/2017	0,14873	31/08/2017	0,14872	09/09/2017	0,14872	18/09/2017	0,14520	27/09/2017	0,14316
27/07/2017	0,14885	05/08/2017	0,14877	14/08/2017	0,14874	23/08/2017	0,14873	01/09/2017	0,14872	10/09/2017	0,14872	19/09/2017	0,14571	28/09/2017	0,14573
28/07/2017	0,14884	06/08/2017	0,14877	15/08/2017	0,14874	24/08/2017	0,14873	02/09/2017	0,14872	11/09/2017	0,14872	20/09/2017	0,14547	29/09/2017	0,14531
29/07/2017	0,14883	07/08/2017	0,14876	16/08/2017	0,14874	25/08/2017	0,14873	03/09/2017	0,14872	12/09/2017	0,14872	21/09/2017	0,14524	30/09/2017	0,14675
30/07/2017	0,14882	08/08/2017	0,14876	17/08/2017	0,14873	26/08/2017	0,14873	04/09/2017	0,14872	13/09/2017	0,14872	22/09/2017	0,14515		
31/07/2017	0,14881	09/08/2017	0,14875	18/08/2017	0,14873	27/08/2017	0,14873	05/09/2017	0,14872	14/09/2017	0,14872	23/09/2017	0,14500		
01/08/2017	0,14880	10/08/2017	0,14875	19/08/2017	0,14873	28/08/2017	0,14872	06/09/2017	0,14872	15/09/2017	0,14872	24/09/2017	0,14404		

Vazão Média Diária Monitorada (m³/s) Rio Velhas

01/10/2016	44,9495	03/11/2016	43,2933	06/12/2016	86,8224	08/01/2017	52,5569	10/02/2017	56,5785	15/03/2017	12,1058	17/04/2017	20,6149	20/05/2017	20,1618
02/10/2016	45,0434	04/11/2016	43,7402	07/12/2016	68,5058	09/01/2017	51,0007	11/02/2017	54,2567	16/03/2017	9,7912	18/04/2017	20,2498	21/05/2017	26,7692
03/10/2016	44,5125	05/11/2016	46,1459	08/12/2016	58,9313	10/01/2017	50,4375	12/02/2017	53,2547	17/03/2017	6,2498	19/04/2017	20,1322	22/05/2017	25,3751
04/10/2016	44,5749	06/11/2016	51,2468	09/12/2016	57,1535	11/01/2017	50,2890	13/02/2017	52,4108	18/03/2017	14,4380	20/04/2017	19,7559	23/05/2017	22,3560
05/10/2016	48,8046	07/11/2016	46,0681	10/12/2016	61,6648	12/01/2017	51,9463	14/02/2017	51,7547	19/03/2017	23,1926	21/04/2017	19,7640	24/05/2017	26,2226
06/10/2016	49,0995	08/11/2016	44,3278	11/12/2016	64,0949	13/01/2017	57,3739	15/02/2017	51,4648	20/03/2017	47,0101	22/04/2017	19,9311	25/05/2017	21,7100
07/10/2016	55,0760	09/11/2016	46,2139	12/12/2016	71,2755	14/01/2017	63,6224	16/02/2017	51,1929	21/03/2017	35,1244	23/04/2017	19,8434	26/05/2017	20,4123
08/10/2016	50,3905	10/11/2016	47,8399	13/12/2016	69,8958	15/01/2017	66,9705	17/02/2017	50,9819	22/03/2017	28,6605	24/04/2017	19,7815	27/05/2017	20,3820
09/10/2016	47,8524	11/11/2016	45,7357	14/12/2016	94,9554	16/01/2017	73,5201	18/02/2017	50,5524	23/03/2017	26,1382	25/04/2017	20,0298	28/05/2017	20,4706
10/10/2016	46,4753	12/11/2016	46,0735	15/12/2016	101,7606	17/01/2017	67,8513	19/02/2017	50,1818	24/03/2017	24,3227	26/04/2017	19,7886	29/05/2017	20,0881
11/10/2016	45,2798	13/11/2016	47,9225	16/12/2016	87,3931	18/01/2017	59,1258	20/02/2017	49,7217	25/03/2017	23,3932	27/04/2017	19,4277	30/05/2017	19,7207
12/10/2016	44,5010	14/11/2016	50,6103	17/12/2016	76,0020	19/01/2017	55,7308	21/02/2017	49,5170	26/03/2017	22,9387	28/04/2017	22,5167	31/05/2017	20,0406
13/10/2016	43,7203	15/11/2016	60,8875	18/12/2016	68,4029	20/01/2017	54,1465	22/02/2017	49,7295	27/03/2017	22,4316	29/04/2017	26,4666	01/06/2017	19,9492
14/10/2016	43,7511	16/11/2016	65,9057	19/12/2016	64,4294	21/01/2017	53,0625	23/02/2017	49,4932	28/03/2017	27,2888	30/04/2017	26,6951	02/06/2017	20,6518
15/10/2016	43,7304	17/11/2016	65,1039	20/12/2016	61,8564	22/01/2017	52,0663	24/02/2017	49,2046	29/03/2017	42,2026	01/05/2017	22,5357	03/06/2017	19,8630
16/10/2016	43,6799	18/11/2016	62,2399	21/12/2016	59,8915	23/01/2017	51,2930	25/02/2017	49,0105	30/03/2017	32,4673	02/05/2017	21,5964	04/06/2017	19,4432
17/10/2016	46,0815	19/11/2016	58,0246	22/12/2016	58,5391	24/01/2017	50,4880	26/02/2017	50,3593	31/03/2017	27,4734	03/05/2017	20,7601	05/06/2017	19,3681
18/10/2016	44,7959	20/11/2016	56,2712	23/12/2016	57,5402	25/01/2017	50,5744	27/02/2017	53,7476	01/04/2017	25,1505	04/05/2017	20,0794	06/06/2017	19,1937
19/10/2016	43,9877	21/11/2016	51,3210	24/12/2016	56,2070	26/01/2017	51,2044	28/02/2017	58,5126	02/04/2017	23,7696	05/05/2017	19,4433	07/06/2017	19,4769
20/10/2016	43,0564	22/11/2016	49,3146	25/12/2016	55,1924	27/01/2017	50,6216	01/03/2017	54,5890	03/04/2017	22,9421	06/05/2017	19,1275	08/06/2017	19,4433
21/10/2016	42,8966	23/11/2016	53,6759	26/12/2016	55,9548	28/01/2017	50,1375	02/03/2017	53,0655	04/04/2017	22,5387	07/05/2017	18,9825	09/06/2017	19,7109
22/10/2016	44,0147	24/11/2016	65,0552	27/12/2016	57,1082	29/01/2017	50,1170	03/03/2017	51,7560	05/04/2017	22,1225	08/05/2017	20,4366	10/06/2017	20,8639
23/10/2016	44,3646	25/11/2016	58,5579	28/12/2016	56,9746	30/01/2017	49,2843	04/03/2017	50,2096	06/04/2017	21,9216	09/05/2017	19,4892	11/06/2017	20,8282
24/10/2016	43,4975	26/11/2016	53,0585	29/12/2016	57,8938	31/01/2017	49,0007	05/03/2017	49,4937	07/04/2017	21,3891	10/05/2017	18,9115	12/06/2017	20,7384
25/10/2016	43,3204	27/11/2016	50,5397	30/12/2016	58,9844	01/02/2017	48,9675	06/03/2017	48,9139	08/04/2017	20,6666	11/05/2017	18,4528	13/06/2017	24,8680
26/10/2016	43,1572	28/11/2016	49,3031	31/12/2016	54,8231	02/02/2017	48,9509	07/03/2017	37,6431	09/04/2017	23,9217	12/05/2017	18,2118	14/06/2017	30,5280
27/10/2016	42,9914	29/11/2016	48,0794	01/01/2017	53,2010	03/02/2017	49,9754	08/03/2017	25,2594	10/04/2017	22,2473	13/05/2017	18,1310	15/06/2017	27,4569
28/10/2016	43,1689	30/11/2016	54,7879	02/01/2017	52,3151	04/02/2017	56,3557	09/03/2017	17,4933	11/04/2017	21,5623	14/05/2017	17,8260	16/06/2017	24,4130
29/10/2016	43,7056	01/12/2016	65,4649	03/01/2017	51,6692	05/02/2017	56,9358	10/03/2017	25,2093	12/04/2017	21,3006	15/05/2017	18,1503	17/06/2017	23,0690
30/10/2016	43,7670	02/12/2016	57,6076	04/01/2017	52,6827	06/02/2017	67,4025	11/03/2017	21,5787	13/04/2017	22,4822	16/05/2017	18,0764	18/06/2017	21,8829
31/10/2016	43,3389	03/12/2016	52,1923	05/01/2017	51,6034	07/02/2017	74,9582	12/03/2017	15,4747	14/04/2017	24,4919	17/05/2017	18,6824	19/06/2017	21,6228
01/11/2016	43,1315	04/12/2016	50,0182	06/01/2017	51,3385	08/02/2017	69,8839	13/03/2017	12,9280	15/04/2017	21,5167	18/05/2017	20,1686	20/06/2017	21,4313
02/11/2016	43,3897	05/12/2016	65,7992	07/01/2017	51,8807	09/02/2017	60,6418	14/03/2017	12,6139	16/04/2017	20,6137	19/05/2017	20,0532	21/06/2017	21,6622

APÊNDICE – I: MONITORAMENTO FLUVIOMÉTRICO

22/06/2017	21,0336	05/07/2017	18,6969	18/07/2017	18,4519	31/07/2017	17,6810	13/08/2017	17,2963	26/08/2017	16,2944	08/09/2017	16,1425	21/09/2017	16,3850
23/06/2017	20,1763	06/07/2017	18,7597	19/07/2017	18,7068	01/08/2017	17,5791	14/08/2017	17,3663	27/08/2017	16,5305	09/09/2017	15,8138	22/09/2017	16,2811
24/06/2017	20,3958	07/07/2017	18,6903	20/07/2017	18,7964	02/08/2017	17,9048	15/08/2017	16,9556	28/08/2017	16,2496	10/09/2017	16,0520	23/09/2017	16,4415
25/06/2017	20,2856	08/07/2017	18,6849	21/07/2017	18,6988	03/08/2017	17,9642	16/08/2017	17,1635	29/08/2017	16,3610	11/09/2017	15,8784	24/09/2017	16,4629
26/06/2017	19,9378	09/07/2017	18,8259	22/07/2017	18,4425	04/08/2017	17,7080	17/08/2017	17,1113	30/08/2017	17,1218	12/09/2017	15,4593	25/09/2017	16,2807
27/06/2017	19,8587	10/07/2017	18,8152	23/07/2017	18,2606	05/08/2017	17,8957	18/08/2017	17,1235	31/08/2017	16,7242	13/09/2017	15,8892	26/09/2017	15,9099
28/06/2017	20,2211	11/07/2017	18,5562	24/07/2017	18,0808	06/08/2017	17,8033	19/08/2017	17,0588	01/09/2017	16,5658	14/09/2017	16,0574	27/09/2017	16,0443
29/06/2017	19,7784	12/07/2017	18,8562	25/07/2017	17,8333	07/08/2017	17,6321	20/08/2017	16,9495	02/09/2017	16,4219	15/09/2017	16,1259	28/09/2017	16,1342
30/06/2017	19,5531	13/07/2017	18,7944	26/07/2017	18,1364	08/08/2017	17,2057	21/08/2017	16,8517	03/09/2017	16,5280	16/09/2017	16,3933	29/09/2017	16,1231
01/07/2017	19,3084	14/07/2017	18,8320	27/07/2017	18,0570	09/08/2017	17,5745	22/08/2017	16,5170	04/09/2017	16,6354	17/09/2017	16,4106	30/09/2017	25,1315
02/07/2017	19,4086	15/07/2017	18,8939	28/07/2017	17,9847	10/08/2017	17,4593	23/08/2017	16,6359	05/09/2017	16,0317	18/09/2017	16,3109		
03/07/2017	19,1173	16/07/2017	18,9151	29/07/2017	17,8581	11/08/2017	17,4889	24/08/2017	16,3832	06/09/2017	16,4861	19/09/2017	16,0521		
04/07/2017	18,5906	17/07/2017	18,6939	30/07/2017	17,9403	12/08/2017	17,3942	25/08/2017	16,2764	07/09/2017	16,3594	20/09/2017	16,2295		

Vazão Média Diária Calculada (m³/s) Rio Velhas

01/10/2016	44,9495	30/10/2016	43,7670	28/11/2016	49,3031	27/12/2016	57,1082	25/01/2017	50,5744	23/02/2017	49,4932	24/03/2017	42,2686	22/04/2017	19,9311
02/10/2016	45,0434	31/10/2016	43,3389	29/11/2016	48,0794	28/12/2016	56,9746	26/01/2017	51,2044	24/02/2017	49,2046	25/03/2017	30,2149	23/04/2017	19,8434
03/10/2016	44,5125	01/11/2016	43,1315	30/11/2016	54,7879	29/12/2016	57,8938	27/01/2017	50,6216	25/02/2017	49,0105	26/03/2017	28,9726	24/04/2017	19,7815
04/10/2016	44,5749	02/11/2016	43,3897	01/12/2016	65,4649	30/12/2016	58,9844	28/01/2017	50,1375	26/02/2017	50,3593	27/03/2017	27,9036	25/04/2017	20,0298
05/10/2016	48,8046	03/11/2016	43,2933	02/12/2016	57,6076	31/12/2016	54,8231	29/01/2017	50,1170	27/02/2017	53,7476	28/03/2017	26,2874	26/04/2017	19,7886
06/10/2016	49,0995	04/11/2016	43,7402	03/12/2016	52,1923	01/01/2017	53,2010	30/01/2017	49,2843	28/02/2017	58,5126	29/03/2017	33,3872	27/04/2017	19,4277
07/10/2016	55,0760	05/11/2016	46,1459	04/12/2016	50,0182	02/01/2017	52,3151	31/01/2017	49,0007	01/03/2017	54,5890	30/03/2017	28,1982	28/04/2017	22,5167
08/10/2016	50,3905	06/11/2016	51,2468	05/12/2016	65,7992	03/01/2017	51,6692	01/02/2017	48,9675	02/03/2017	53,0655	31/03/2017	27,4734	29/04/2017	26,4666
09/10/2016	47,8524	07/11/2016	46,0681	06/12/2016	86,8224	04/01/2017	52,6827	02/02/2017	48,9509	03/03/2017	51,7560	01/04/2017	25,1505	30/04/2017	26,6951
10/10/2016	46,4753	08/11/2016	44,3278	07/12/2016	68,5058	05/01/2017	51,6034	03/02/2017	49,9754	04/03/2017	50,2096	02/04/2017	23,7696	01/05/2017	22,5357
11/10/2016	45,2798	09/11/2016	46,2139	08/12/2016	58,9313	06/01/2017	51,3385	04/02/2017	56,3557	05/03/2017	49,4937	03/04/2017	22,9421	02/05/2017	21,5964
12/10/2016	44,5010	10/11/2016	47,8399	09/12/2016	57,1535	07/01/2017	51,8807	05/02/2017	56,9358	06/03/2017	35,4370	04/04/2017	22,5387	03/05/2017	20,7601
13/10/2016	43,7203	11/11/2016	45,7357	10/12/2016	61,6648	08/01/2017	52,5569	06/02/2017	67,4025	07/03/2017	29,6108	05/04/2017	22,1225	04/05/2017	20,0794
14/10/2016	43,7511	12/11/2016	46,0735	11/12/2016	64,0949	09/01/2017	51,0007	07/02/2017	74,9582	08/03/2017	23,2472	06/04/2017	21,9216	05/05/2017	19,4433
15/10/2016	43,7304	13/11/2016	47,9225	12/12/2016	71,2755	10/01/2017	50,4375	08/02/2017	69,8839	09/03/2017	22,6422	07/04/2017	21,3891	06/05/2017	19,1275
16/10/2016	43,6799	14/11/2016	50,6103	13/12/2016	69,8958	11/01/2017	50,2890	09/02/2017	60,6418	10/03/2017	22,9285	08/04/2017	20,6666	07/05/2017	18,9825
17/10/2016	46,0815	15/11/2016	60,8875	14/12/2016	94,9554	12/01/2017	51,9463	10/02/2017	56,5785	11/03/2017	49,2465	09/04/2017	23,9217	08/05/2017	20,4366
18/10/2016	44,7959	16/11/2016	65,9057	15/12/2016	101,7606	13/01/2017	57,3739	11/02/2017	54,2567	12/03/2017	49,3427	10/04/2017	22,2473	09/05/2017	19,4892
19/10/2016	43,9877	17/11/2016	65,1039	16/12/2016	87,3931	14/01/2017	63,6224	12/02/2017	53,2547	13/03/2017	36,8786	11/04/2017	21,5623	10/05/2017	18,9115
20/10/2016	43,0564	18/11/2016	62,2399	17/12/2016	76,0020	15/01/2017	66,9705	13/02/2017	52,4108	14/03/2017	35,4230	12/04/2017	21,3006	11/05/2017	18,4528
21/10/2016	42,8966	19/11/2016	58,0246	18/12/2016	68,4029	16/01/2017	73,5201	14/02/2017	51,7547	15/03/2017	34,2256	13/04/2017	22,4822	12/05/2017	18,2118
22/10/2016	44,0147	20/11/2016	56,2712	19/12/2016	64,4294	17/01/2017	67,8513	15/02/2017	51,4648	16/03/2017	34,0766	14/04/2017	24,4919	13/05/2017	18,1310
23/10/2016	44,3646	21/11/2016	51,3210	20/12/2016	61,8564	18/01/2017	59,1258	16/02/2017	51,1929	17/03/2017	34,6718	15/04/2017	21,5167	14/05/2017	17,8260
24/10/2016	43,4975	22/11/2016	49,3146	21/12/2016	59,8915	19/01/2017	55,7308	17/02/2017	50,9819	18/03/2017	29,5196	16/04/2017	20,6137	15/05/2017	18,1503
25/10/2016	43,3204	23/11/2016	53,6759	22/12/2016	58,5391	20/01/2017	54,1465	18/02/2017	50,5524	19/03/2017	24,1900	17/04/2017	20,6149	16/05/2017	18,0764
26/10/2016	43,1572	24/11/2016	65,0552	23/12/2016	57,5402	21/01/2017	53,0625	19/02/2017	50,1818	20/03/2017	35,1481	18/04/2017	20,2498	17/05/2017	18,6824
27/10/2016	42,9914	25/11/2016	58,5579	24/12/2016	56,2070	22/01/2017	52,0663	20/02/2017	49,7217	21/03/2017	28,9482	19/04/2017	20,1322	18/05/2017	20,1686
28/10/2016	43,1689	26/11/2016	53,0585	25/12/2016	55,1924	23/01/2017	51,2930	21/02/2017	49,5170	22/03/2017	69,2503	20/04/2017	19,7559	19/05/2017	20,0532
29/10/2016	43,7056	27/11/2016	50,5397	26/12/2016	55,9548	24/01/2017	50,4880	22/02/2017	49,7295	23/03/2017	22,4129	21/04/2017	19,7640	20/05/2017	20,1618

APÊNDICE – I: MONITORAMENTO FLUVIOMÉTRICO

21/05/2017	26,7692	07/06/2017	19,4769	24/06/2017	20,3958	11/07/2017	18,5562	28/07/2017	17,9847	14/08/2017	17,3663	31/08/2017	16,7242	17/09/2017	16,4106
22/05/2017	25,3751	08/06/2017	19,4433	25/06/2017	20,2856	12/07/2017	18,8562	29/07/2017	17,8581	15/08/2017	16,9556	01/09/2017	16,5658	18/09/2017	16,3109
23/05/2017	22,3560	09/06/2017	19,7109	26/06/2017	19,9378	13/07/2017	18,7944	30/07/2017	17,9403	16/08/2017	17,1635	02/09/2017	16,4219	19/09/2017	16,0521
24/05/2017	26,2226	10/06/2017	20,8639	27/06/2017	19,8587	14/07/2017	18,8320	31/07/2017	17,6810	17/08/2017	17,1113	03/09/2017	16,5280	20/09/2017	16,2295
25/05/2017	21,7100	11/06/2017	20,8282	28/06/2017	20,2211	15/07/2017	18,8939	01/08/2017	17,5791	18/08/2017	17,1235	04/09/2017	16,6354	21/09/2017	16,3850
26/05/2017	20,4123	12/06/2017	20,7384	29/06/2017	19,7784	16/07/2017	18,9151	02/08/2017	17,9048	19/08/2017	17,0588	05/09/2017	16,0317	22/09/2017	16,2811
27/05/2017	20,3820	13/06/2017	24,8680	30/06/2017	19,5531	17/07/2017	18,6939	03/08/2017	17,9642	20/08/2017	16,9495	06/09/2017	16,4861	23/09/2017	16,4415
28/05/2017	20,4706	14/06/2017	30,5280	01/07/2017	19,3084	18/07/2017	18,4519	04/08/2017	17,7080	21/08/2017	16,8517	07/09/2017	16,3594	24/09/2017	16,4629
29/05/2017	20,0881	15/06/2017	27,4569	02/07/2017	19,4086	19/07/2017	18,7068	05/08/2017	17,8957	22/08/2017	16,5170	08/09/2017	16,1425	25/09/2017	16,2807
30/05/2017	19,7207	16/06/2017	24,4130	03/07/2017	19,1173	20/07/2017	18,7964	06/08/2017	17,8033	23/08/2017	16,6359	09/09/2017	15,8138	26/09/2017	15,9099
31/05/2017	20,0406	17/06/2017	23,0690	04/07/2017	18,5906	21/07/2017	18,6988	07/08/2017	17,6321	24/08/2017	16,3832	10/09/2017	16,0520	27/09/2017	16,0443
01/06/2017	19,9492	18/06/2017	21,8829	05/07/2017	18,6969	22/07/2017	18,4425	08/08/2017	17,2057	25/08/2017	16,2764	11/09/2017	15,8784	28/09/2017	16,1342
02/06/2017	20,6518	19/06/2017	21,6228	06/07/2017	18,7597	23/07/2017	18,2606	09/08/2017	17,5745	26/08/2017	16,2944	12/09/2017	15,4593	29/09/2017	16,1231
03/06/2017	19,8630	20/06/2017	21,4313	07/07/2017	18,6903	24/07/2017	18,0808	10/08/2017	17,4593	27/08/2017	16,5305	13/09/2017	15,8892	30/09/2017	25,1315
04/06/2017	19,4432	21/06/2017	21,6622	08/07/2017	18,6849	25/07/2017	17,8333	11/08/2017	17,4889	28/08/2017	16,2496	14/09/2017	16,0574		
05/06/2017	19,3681	22/06/2017	21,0336	09/07/2017	18,8259	26/07/2017	18,1364	12/08/2017	17,3942	29/08/2017	16,3610	15/09/2017	16,1259		
06/06/2017	19,1937	23/06/2017	20,1763	10/07/2017	18,8152	27/07/2017	18,0570	13/08/2017	17,2963	30/08/2017	17,1218	16/09/2017	16,3933		

APÊNDICE II

GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

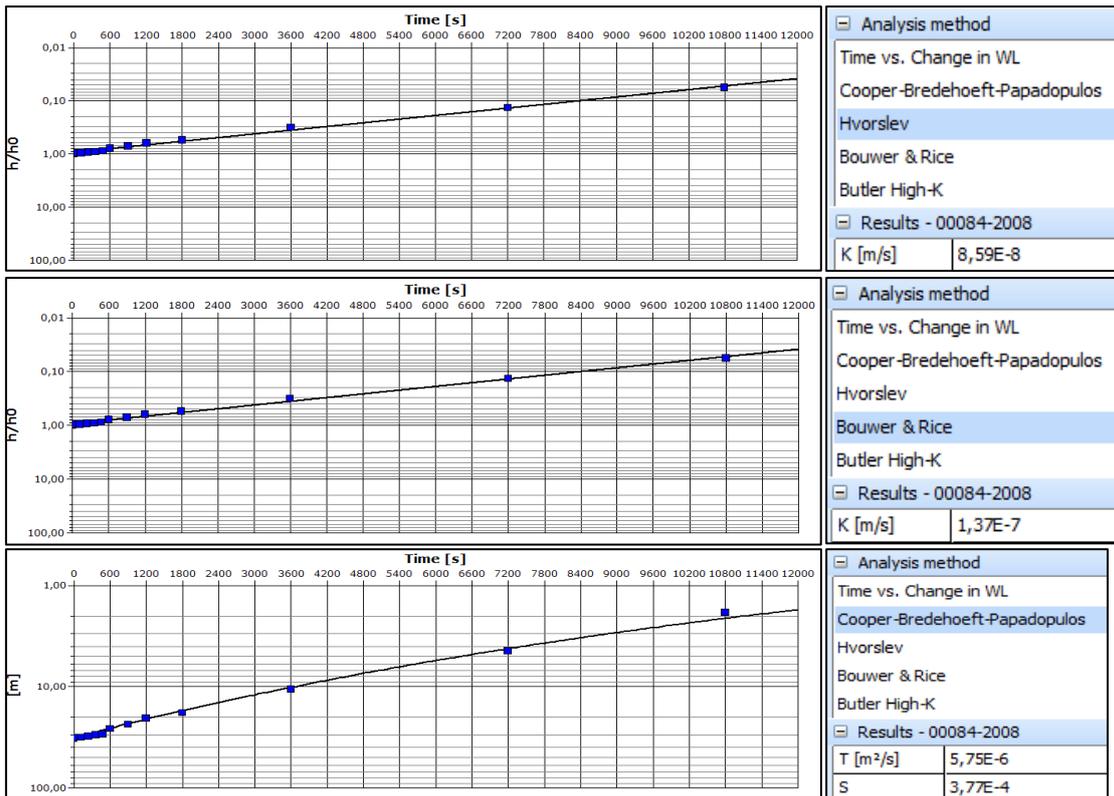
Sumário

Interpretação pelo Método de Hvorslev

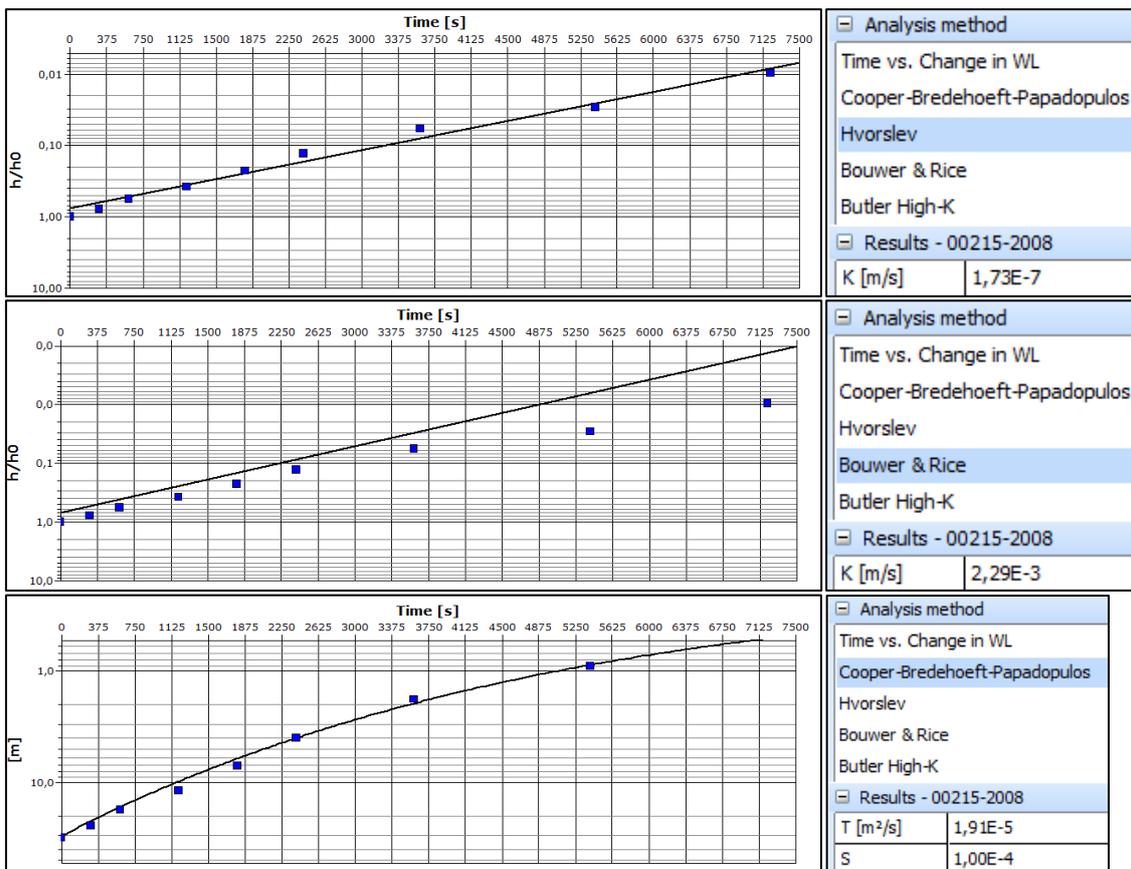
Interpretação pelo Método de Bouwer & Rice

Interpretação pelo Método de Cooper-Bredehoeft-Papadopulos

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

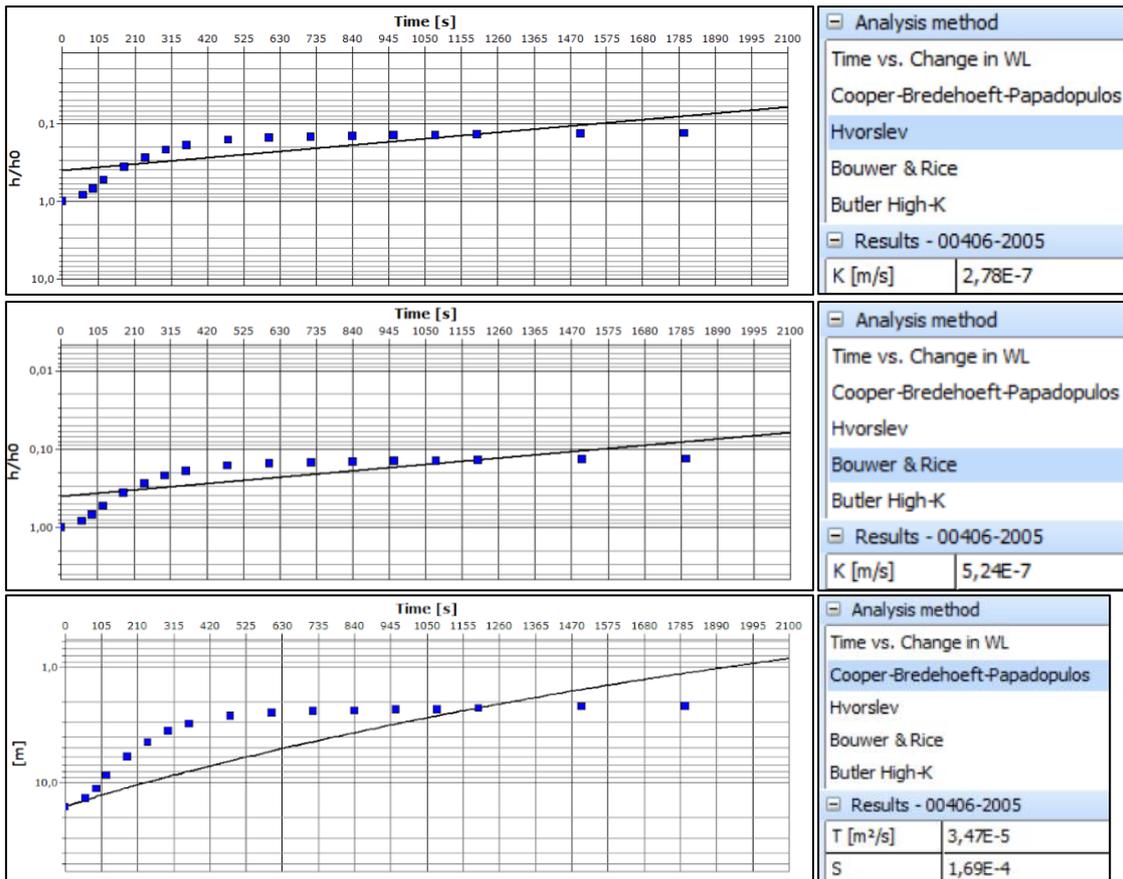


POÇO – 00084 -2008

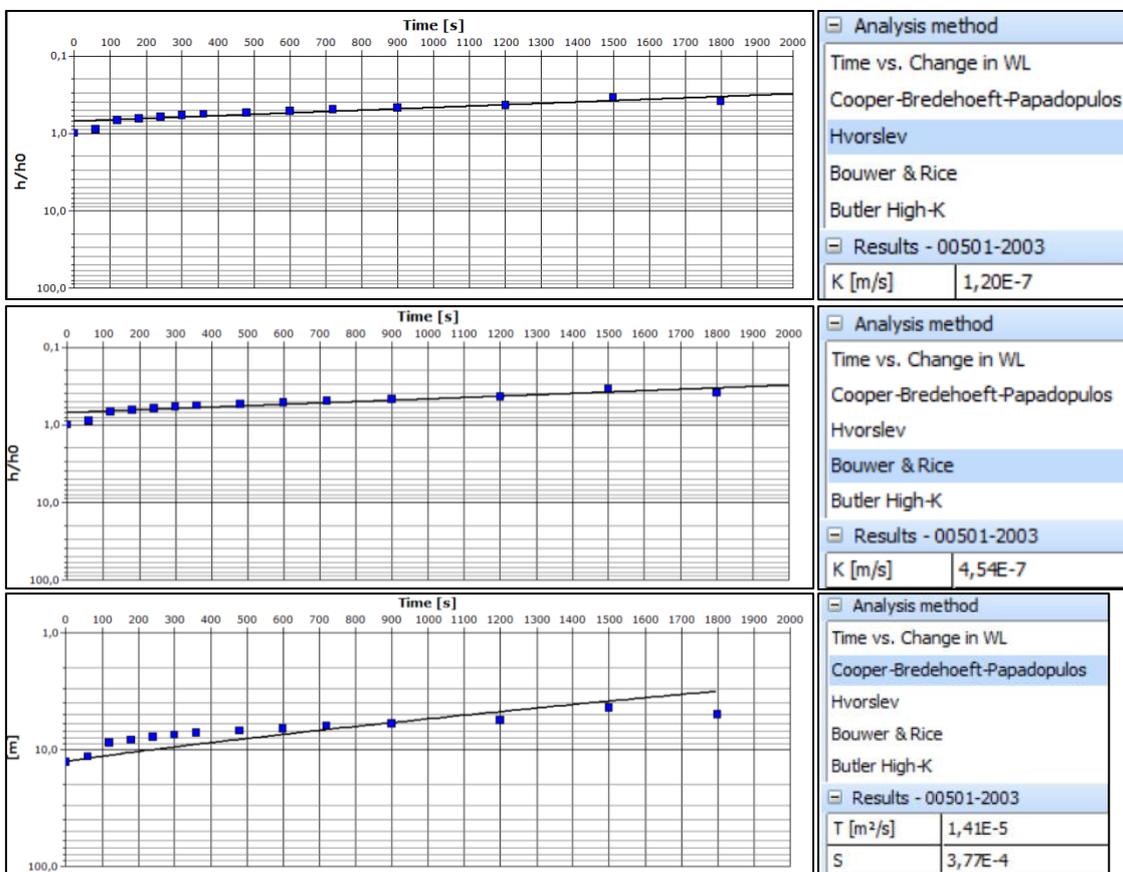


POÇO – 00215 -2008

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

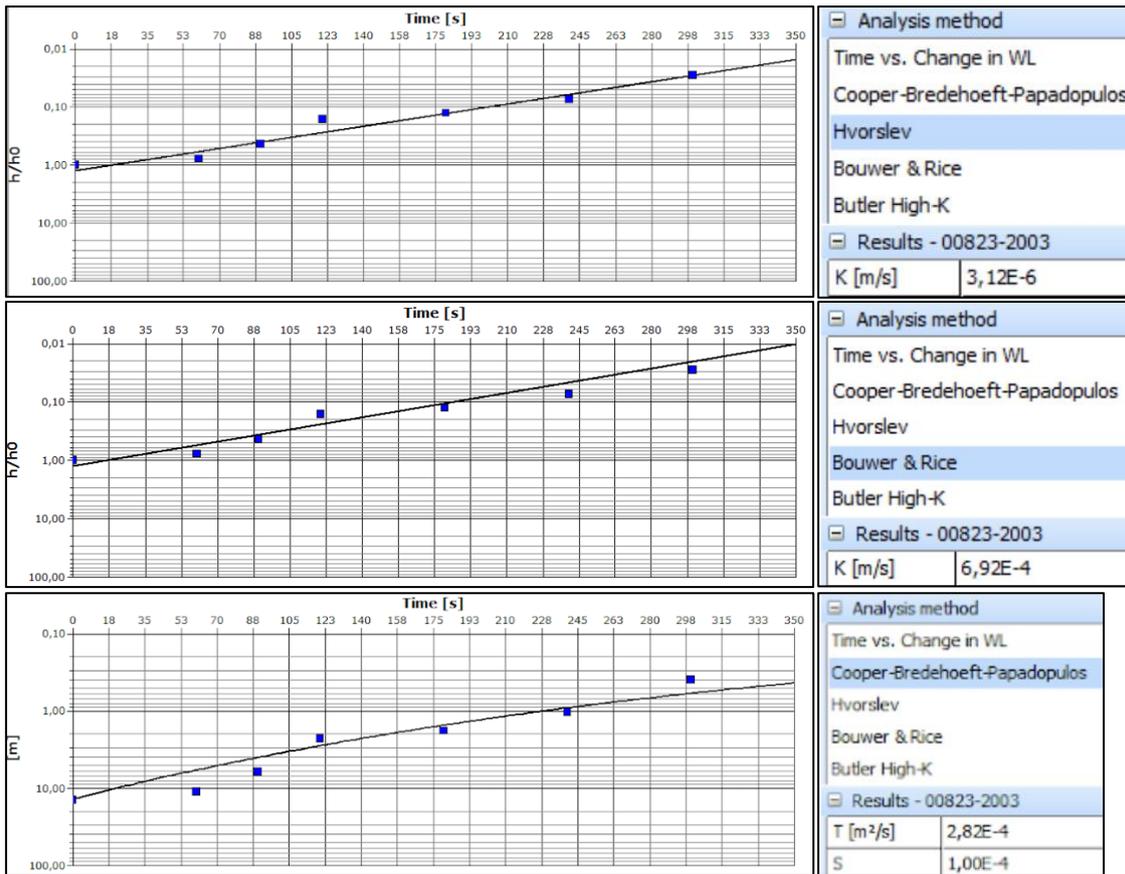


POÇO – 00406 - 2005

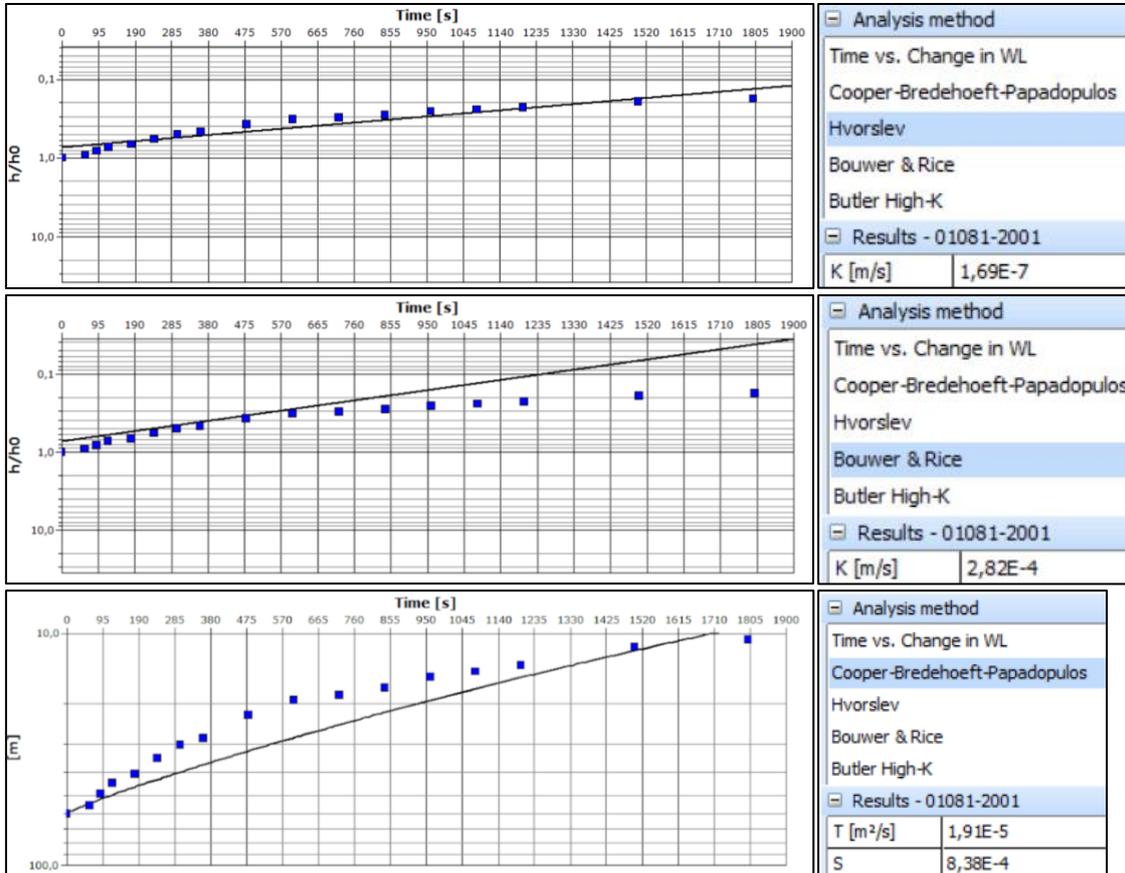


POÇO – 00501 - 2003

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

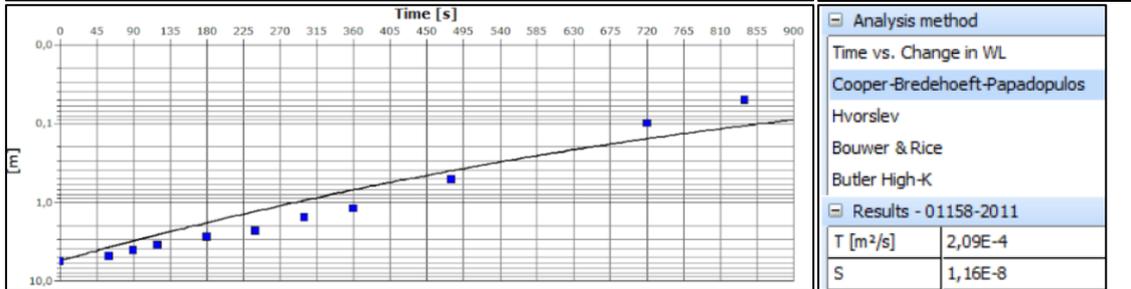
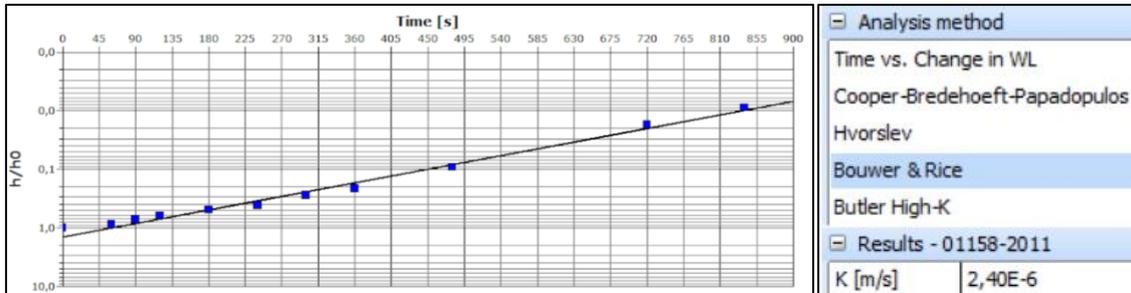
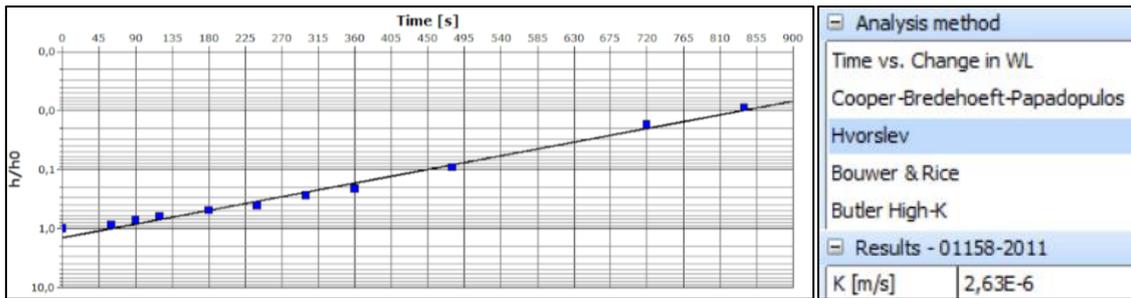


POÇO – 00823 - 2003

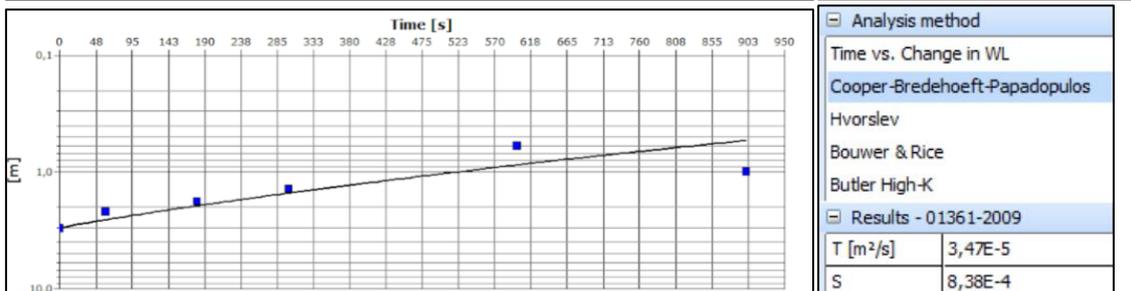
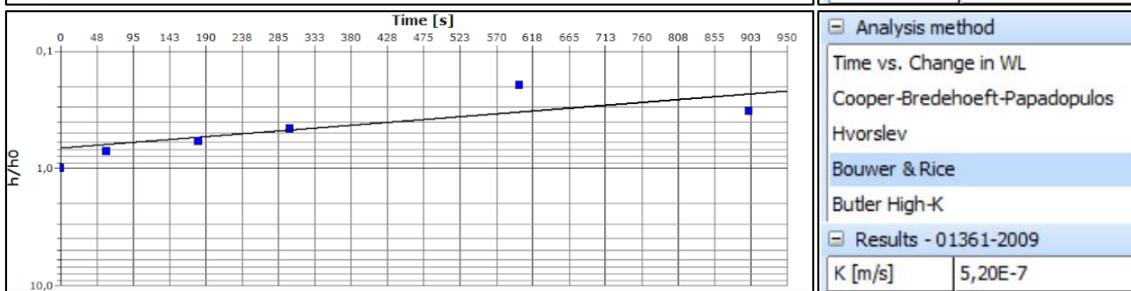
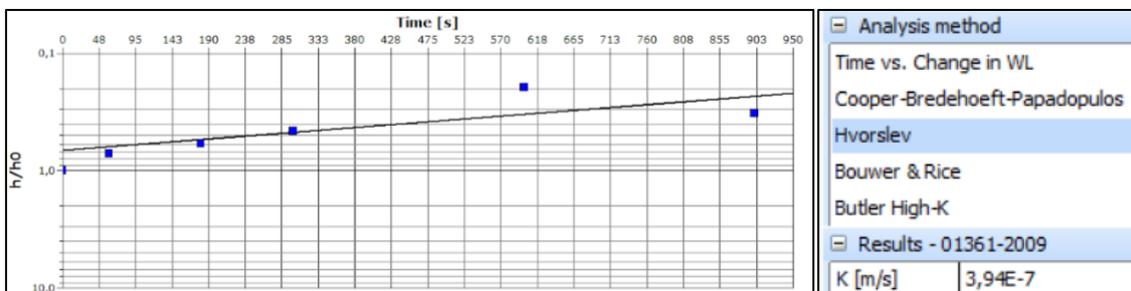


POÇO – 01081 - 2001

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

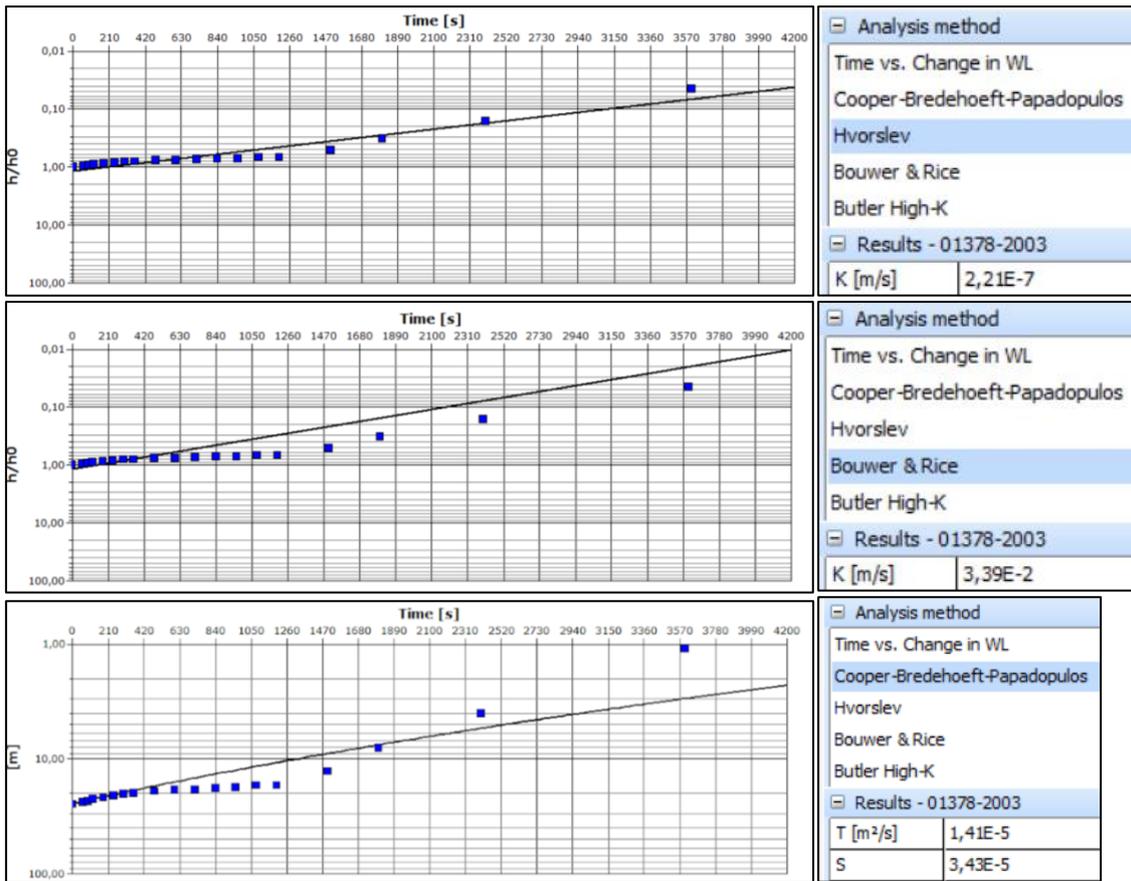


POÇO – 01158 -2011

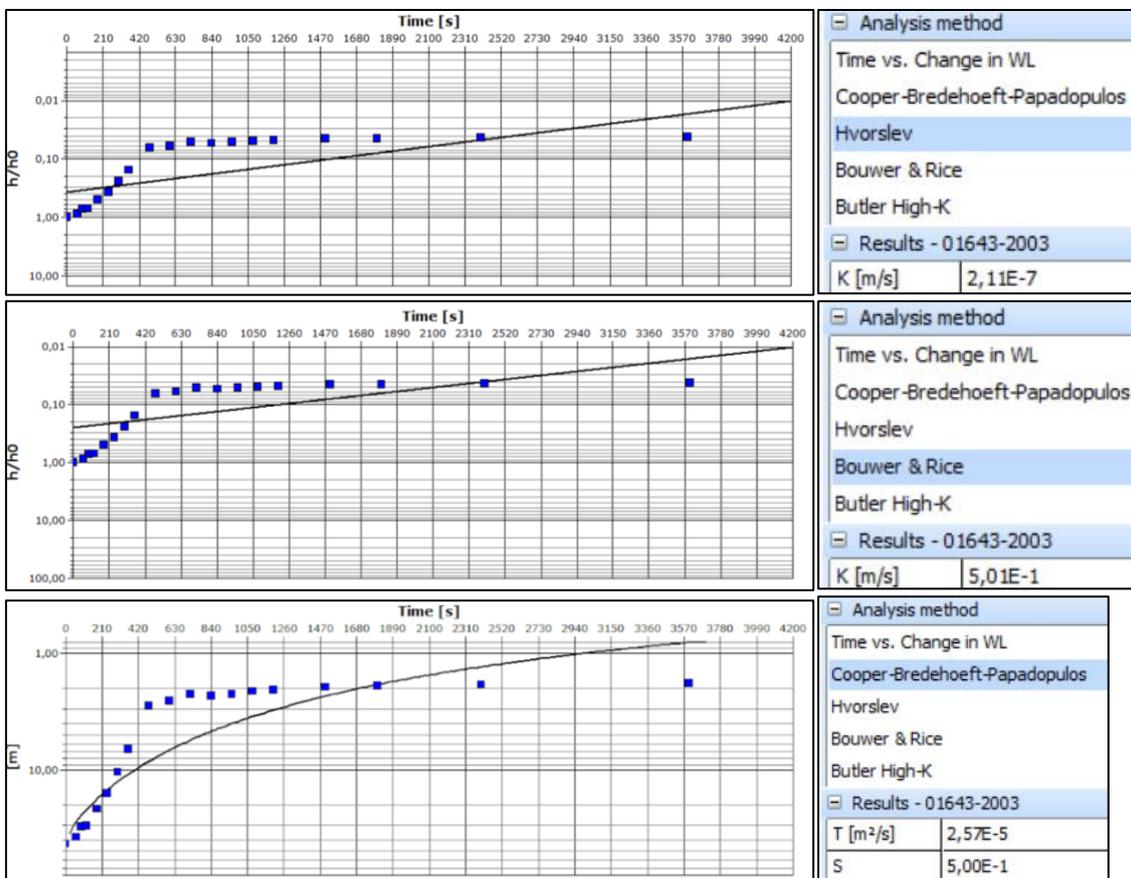


POÇO – 01361 -2009

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

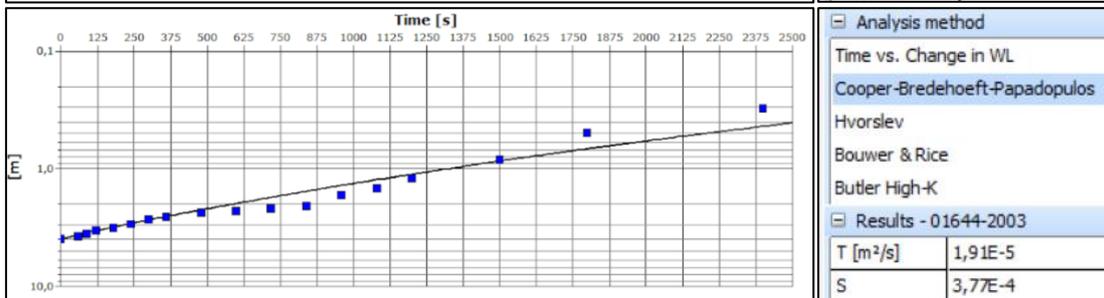
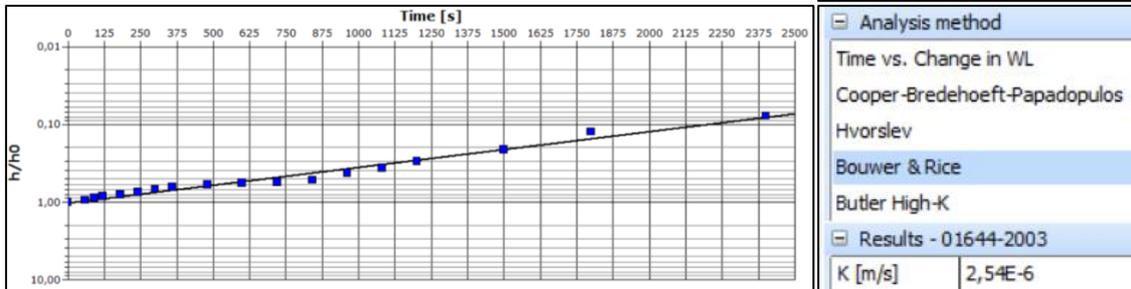
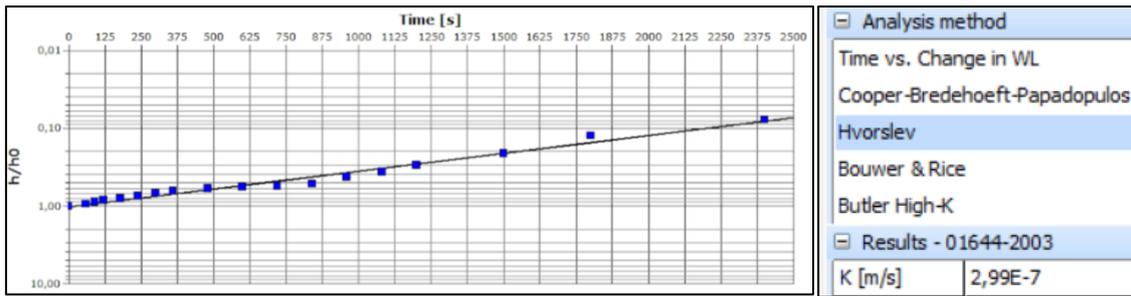


POÇO – 01378 -2003

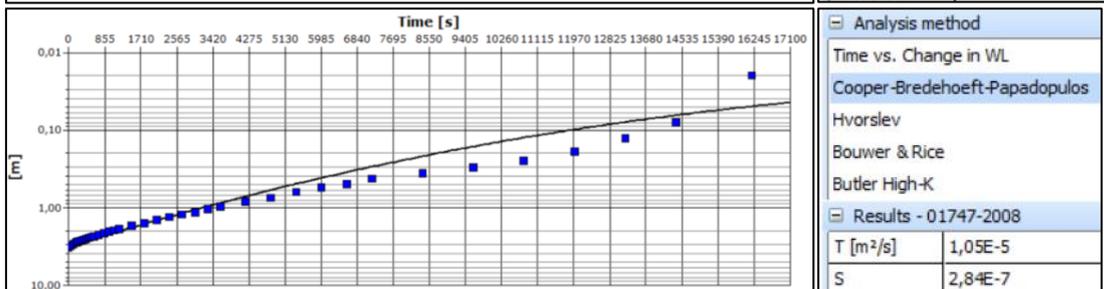
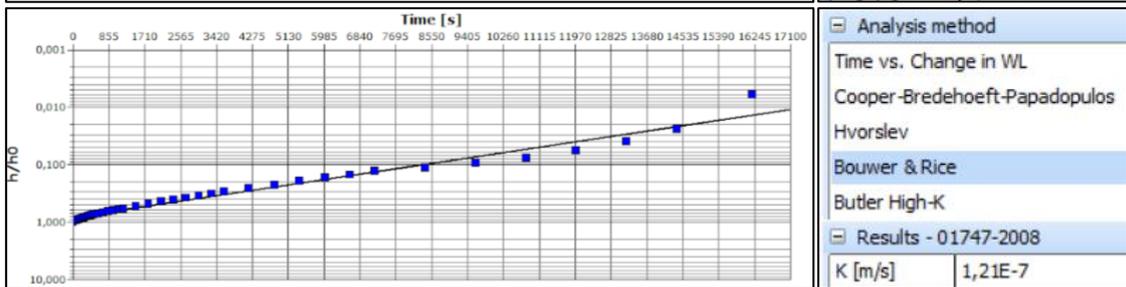
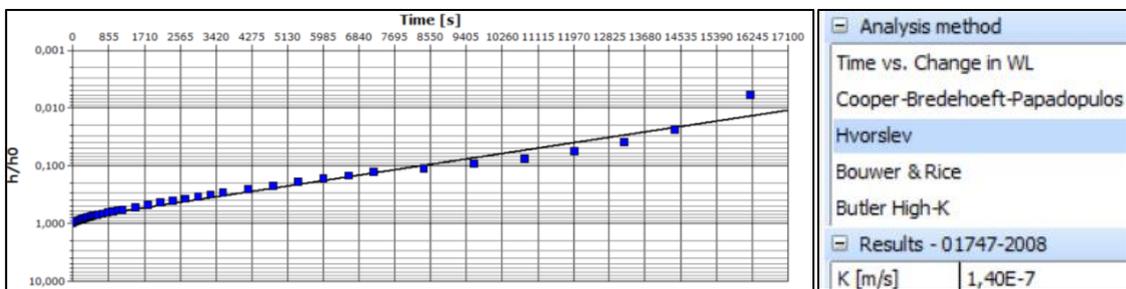


POÇO – 01643 -2003

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

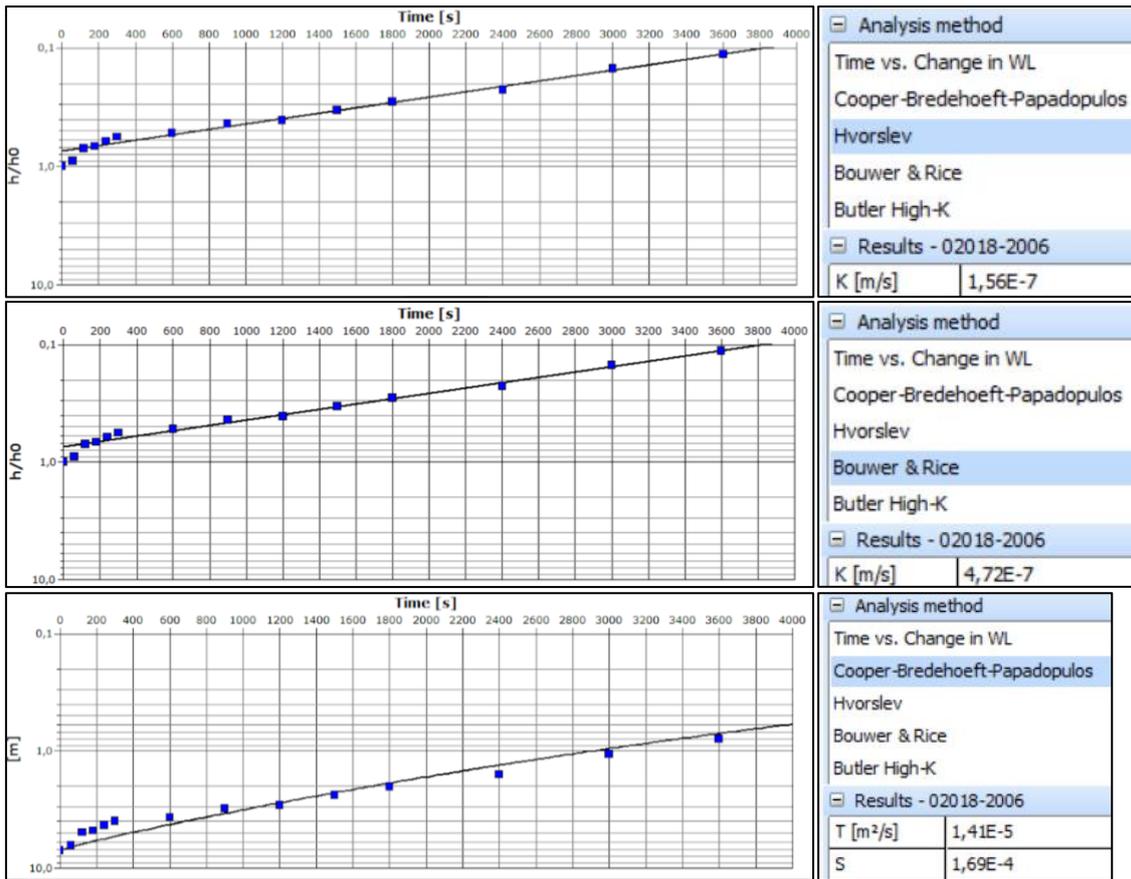


POÇO – 01644 -2003

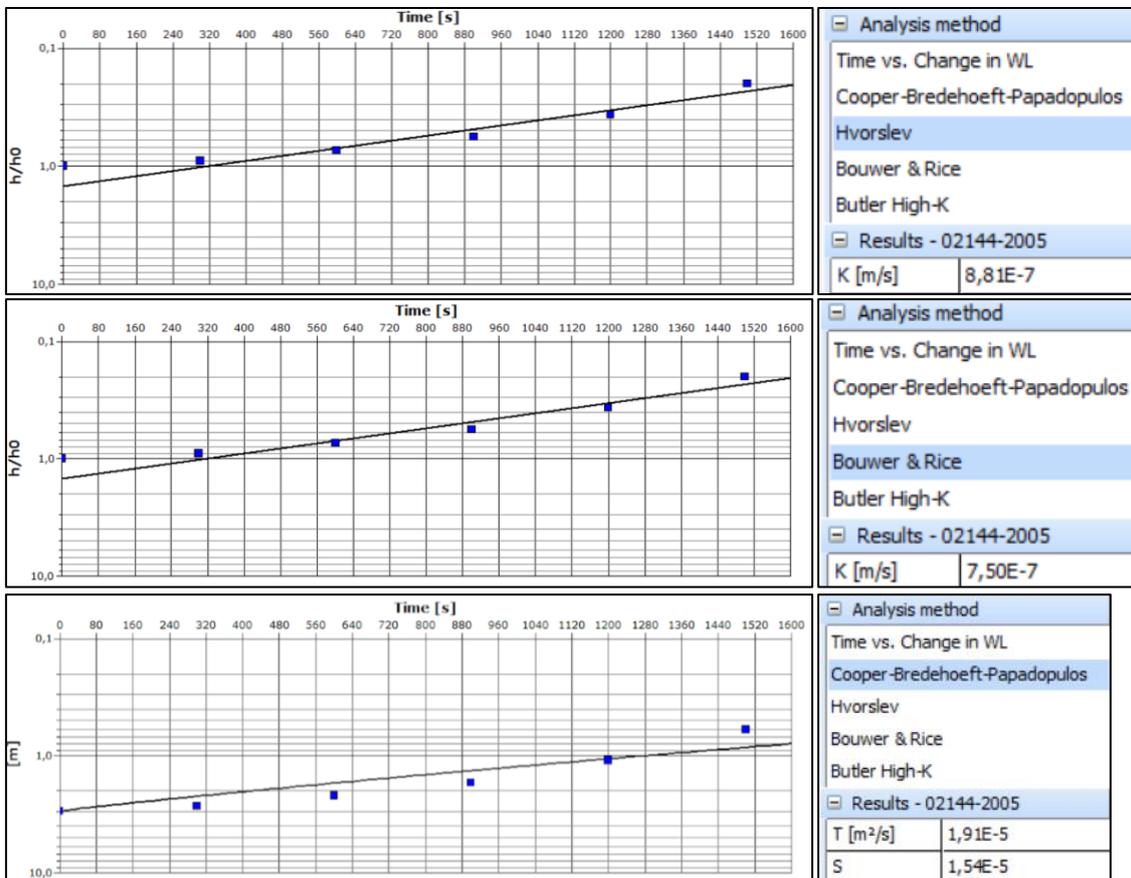


POÇO – 01747 -2008

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

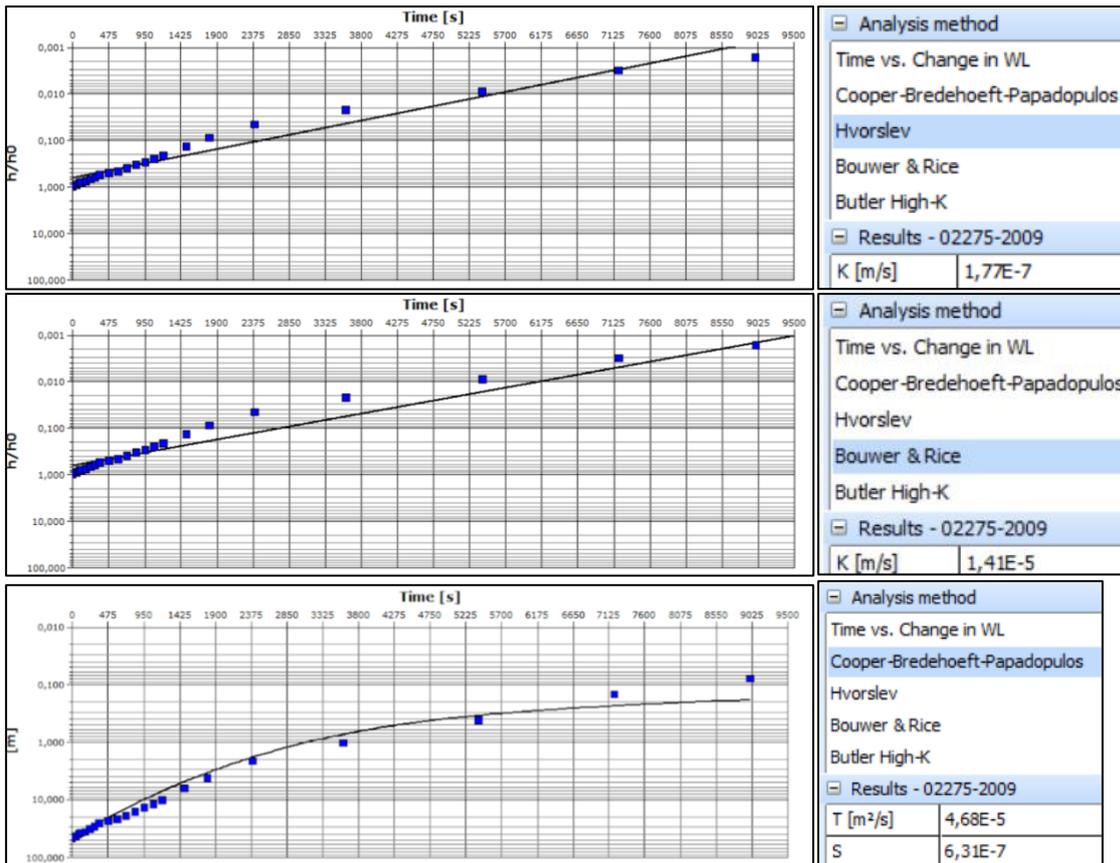


POÇO – 02018 -2006

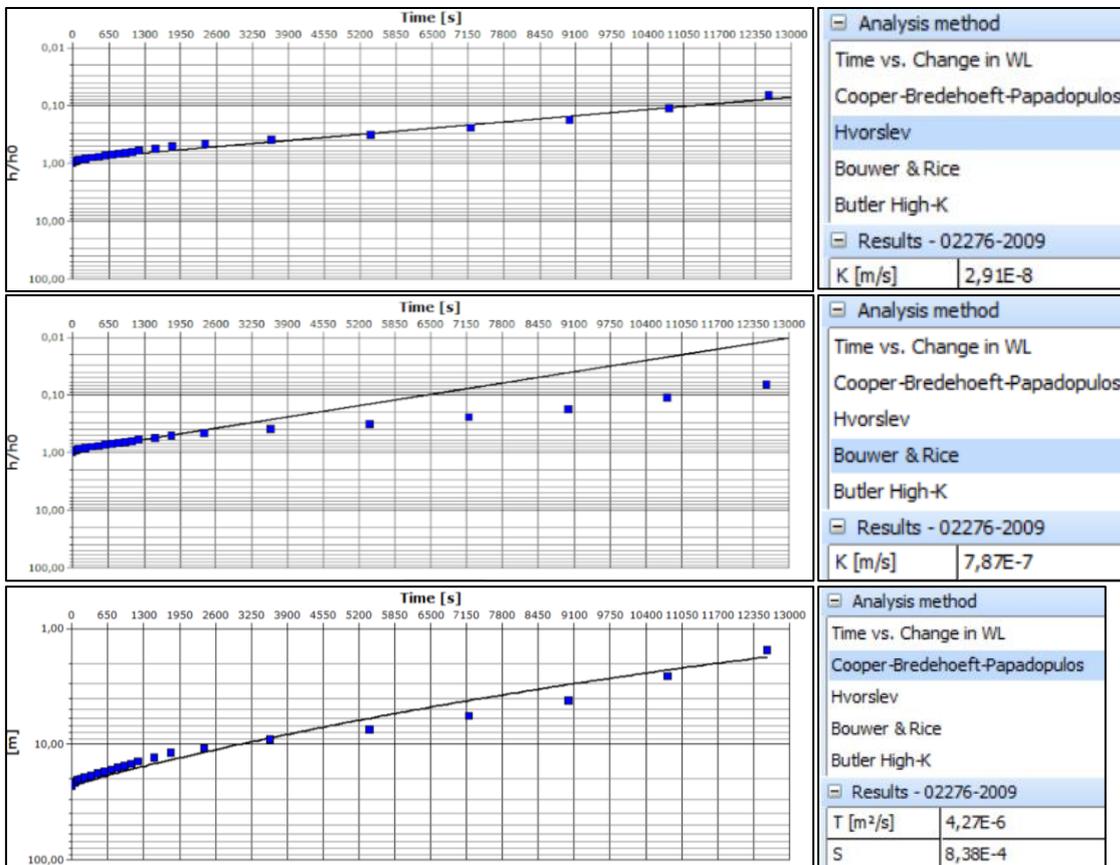


POÇO – 02144 -2005

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

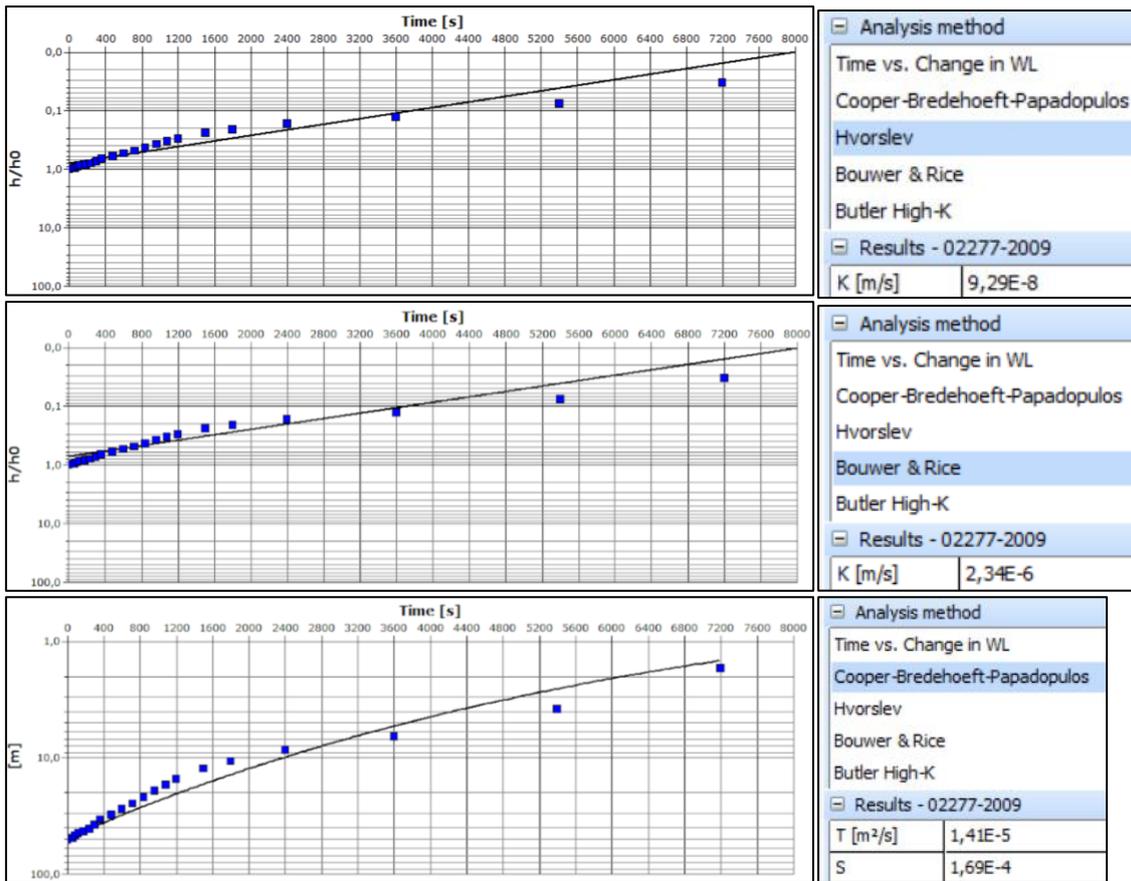


POÇO – 02275 -2009

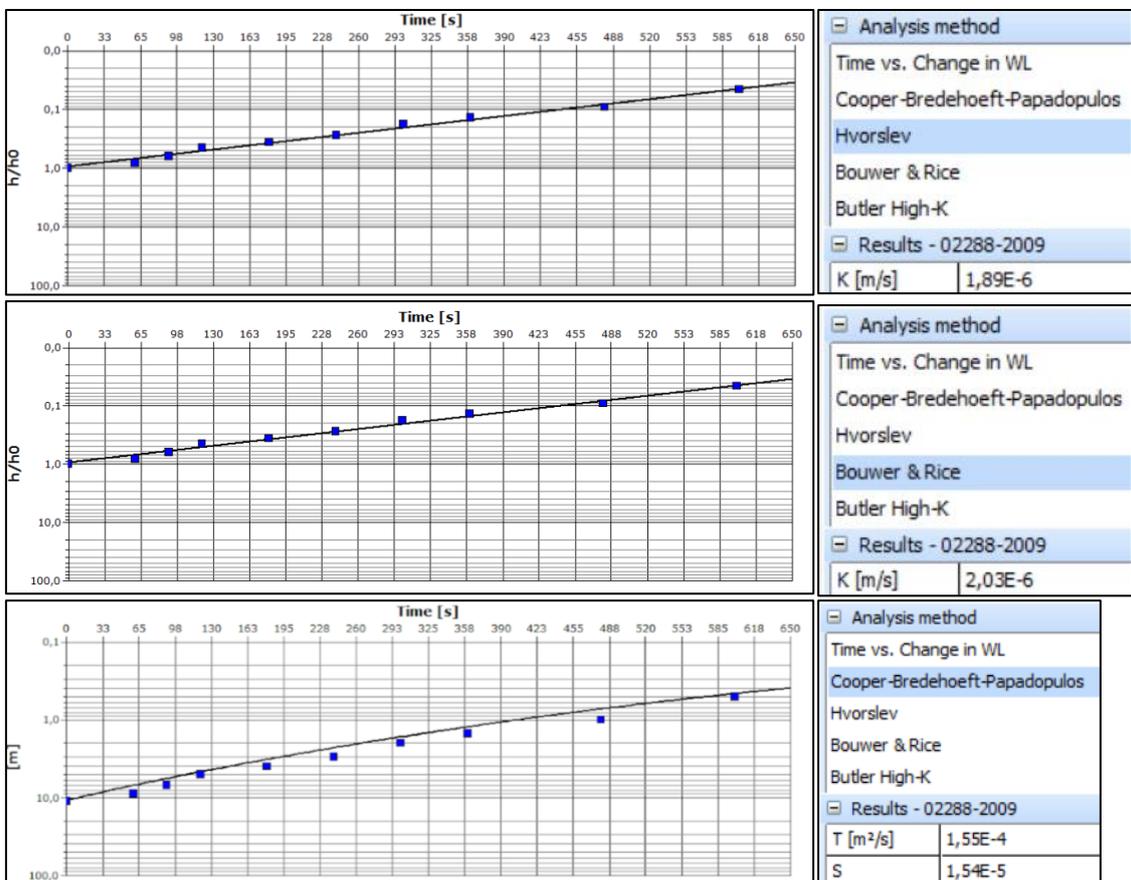


POÇO – 02276 -2009

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

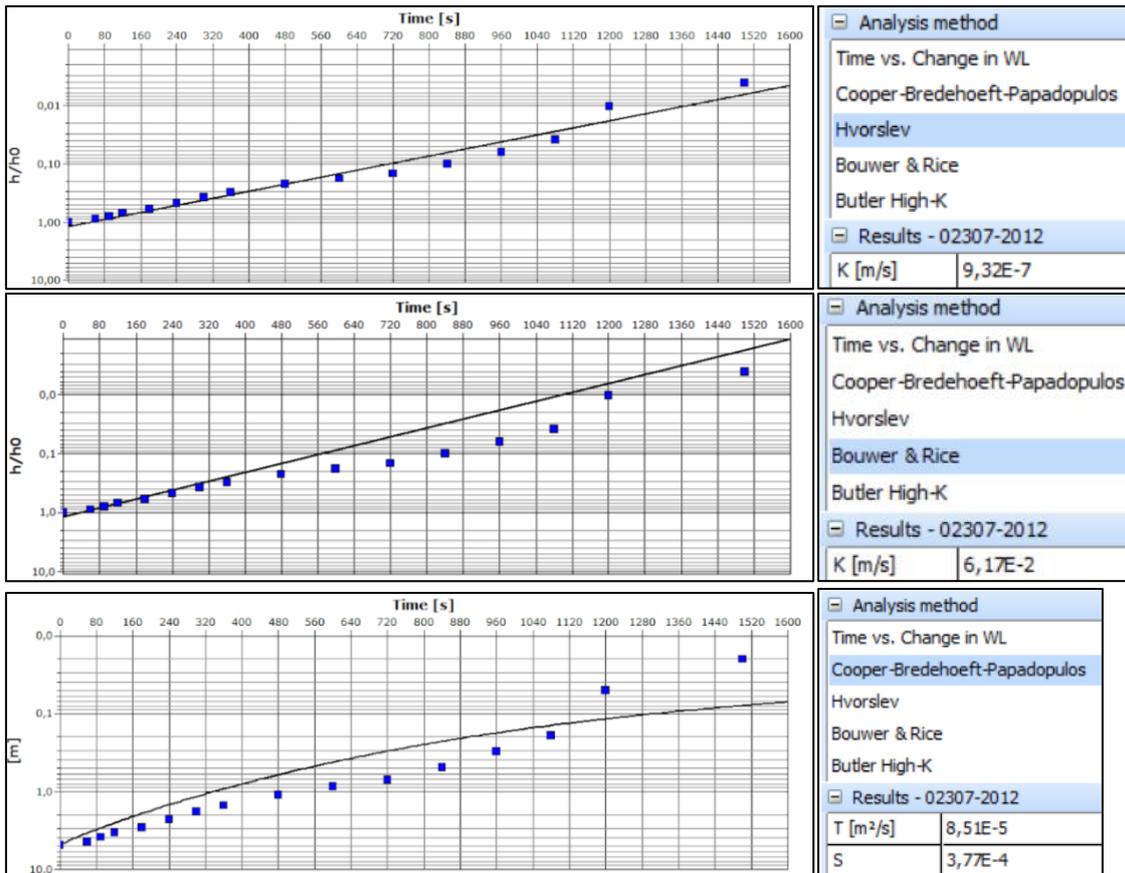


POÇO – 02277 - 2009

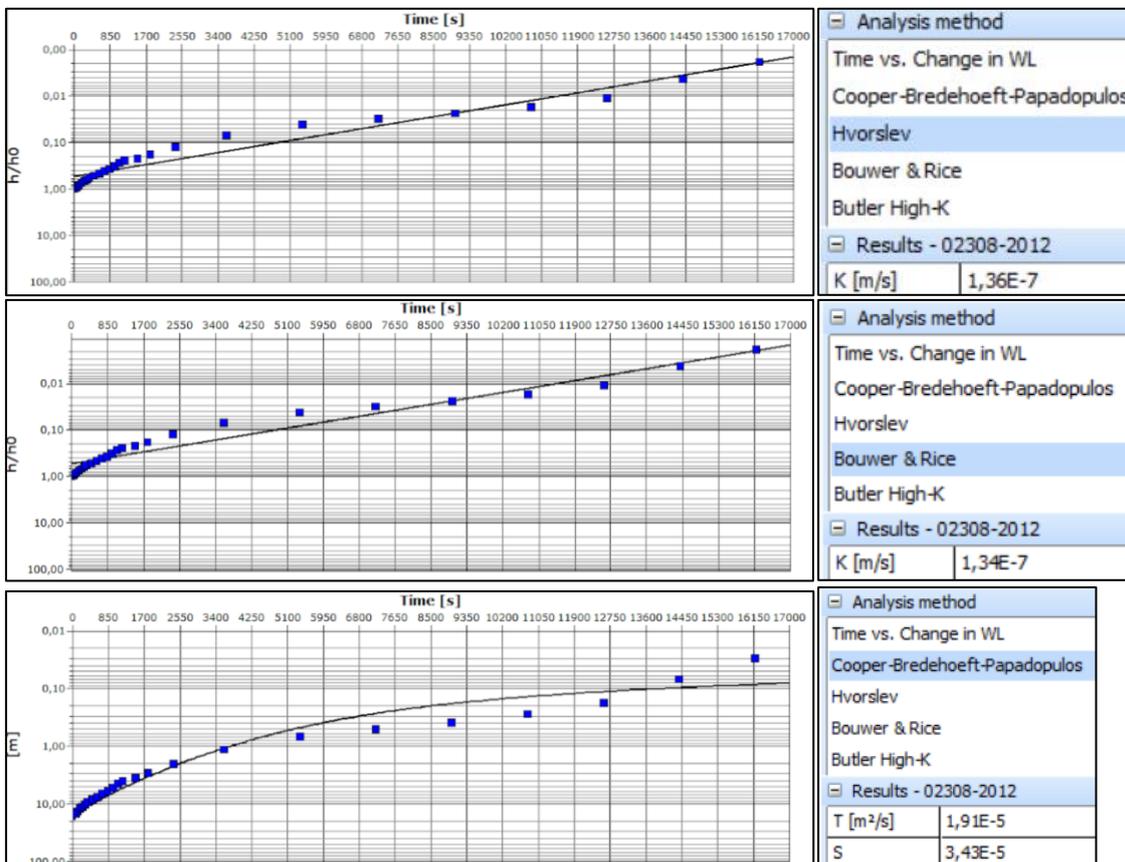


POÇO – 02288 - 2009

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

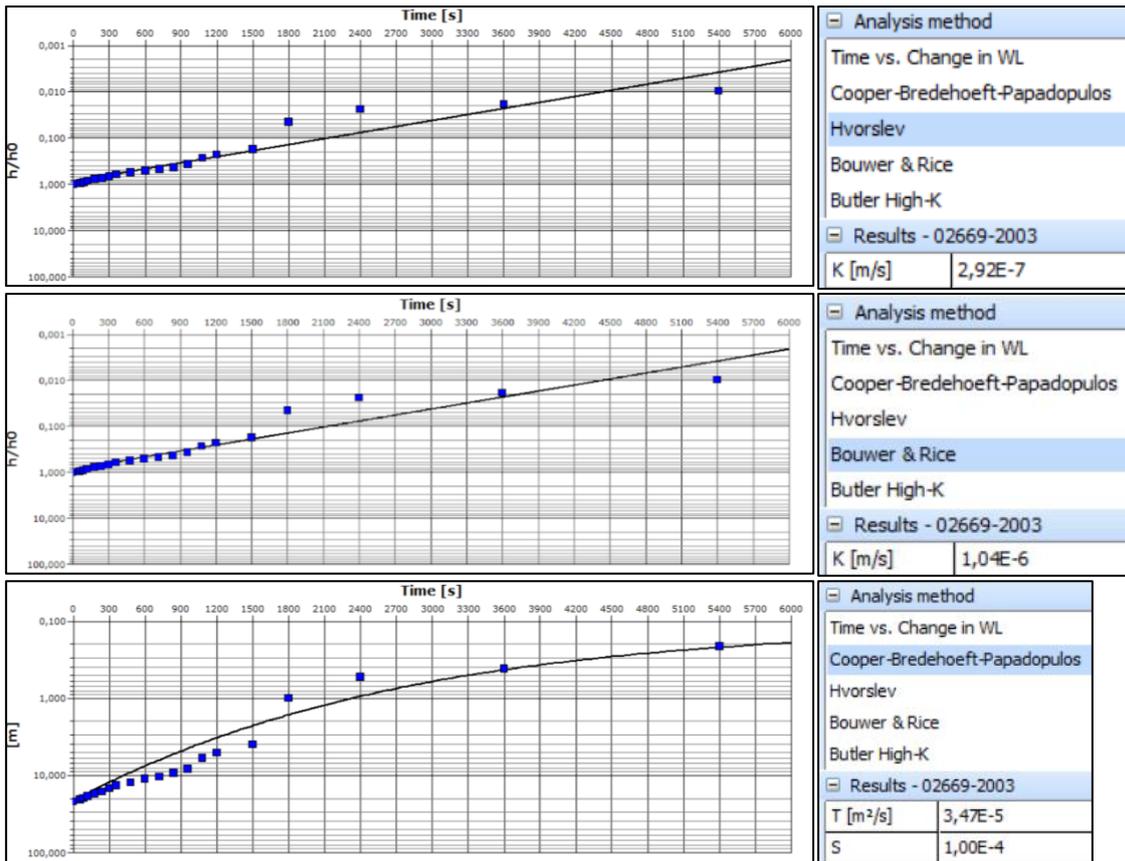


POÇO – 02307-2012

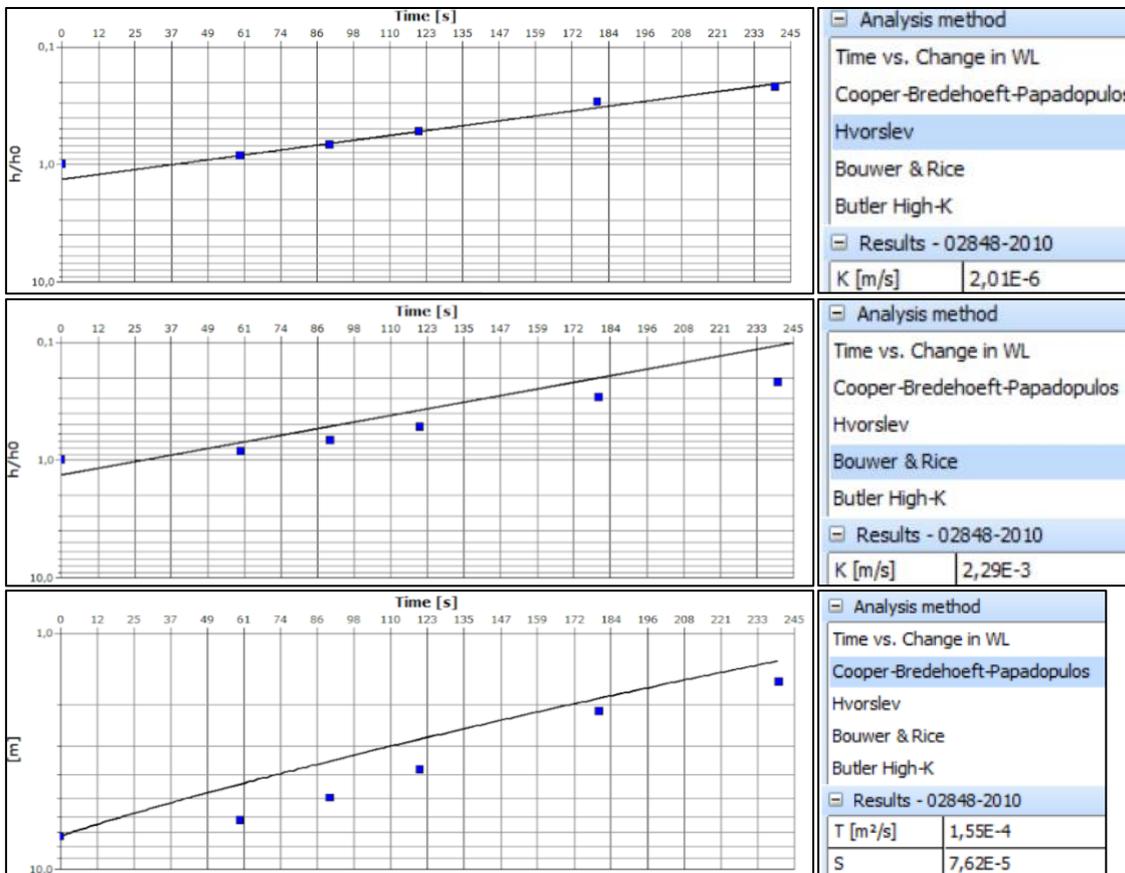


POÇO – 02308-2012

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

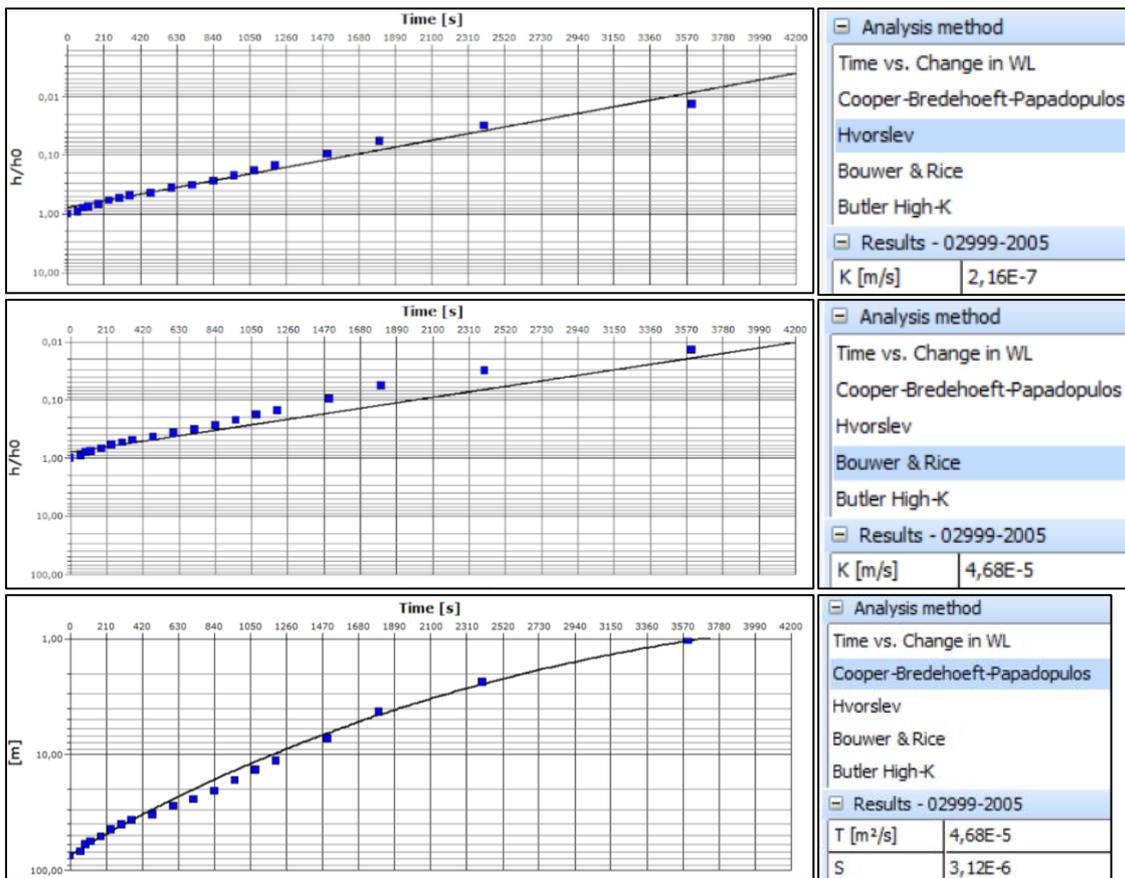


POÇO – 02669-2003

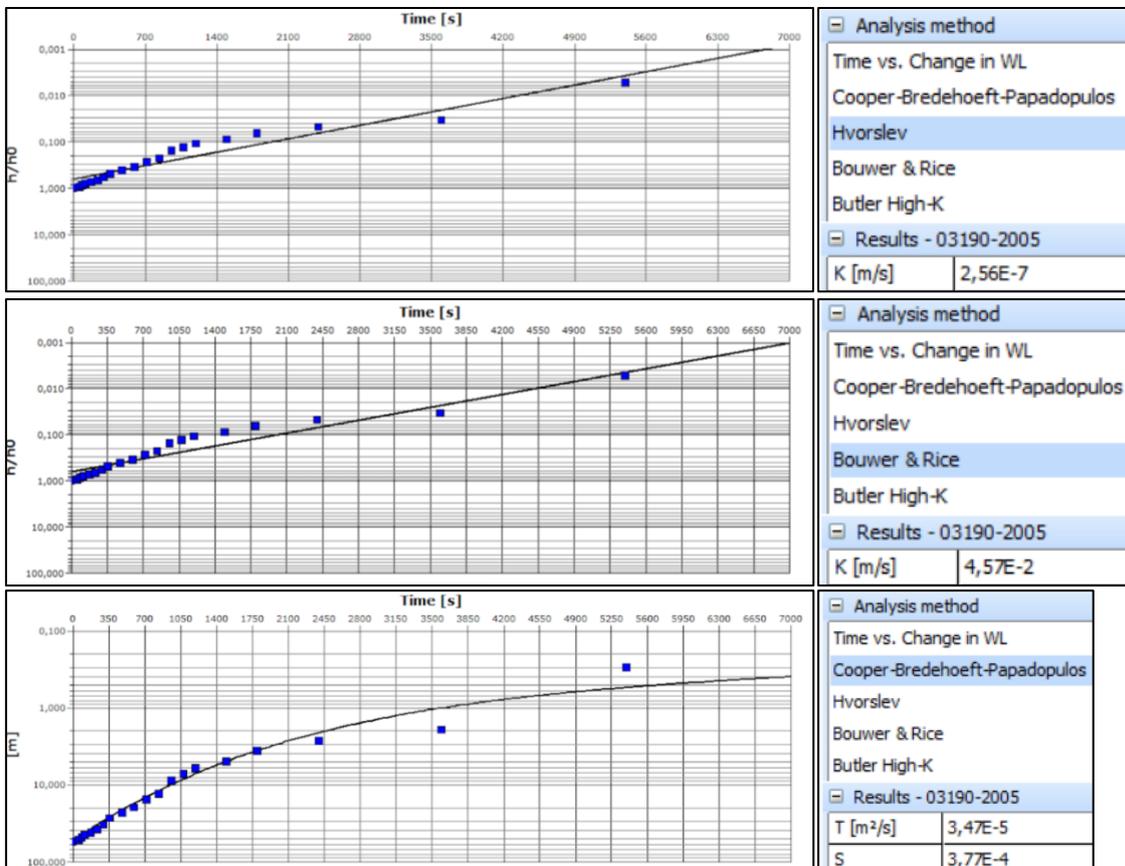


POÇO – 02848-2010

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

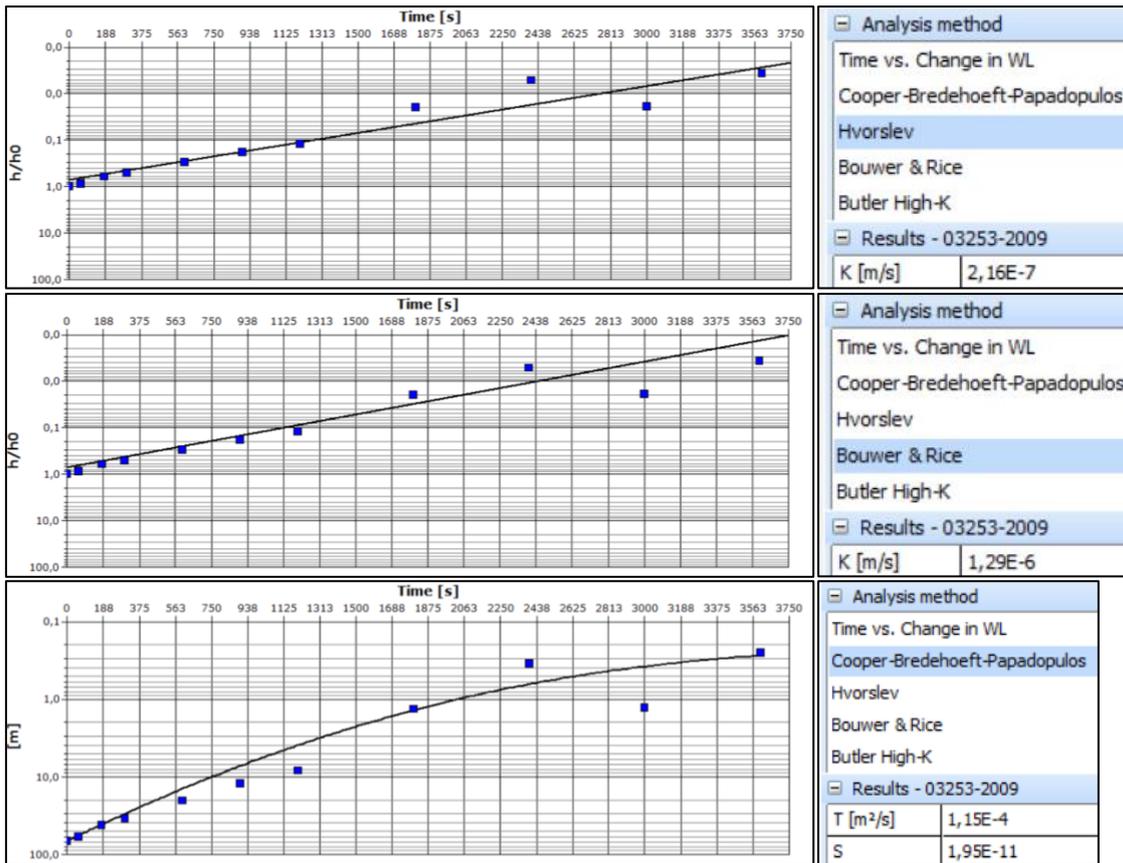


POÇO – 02999 -2005

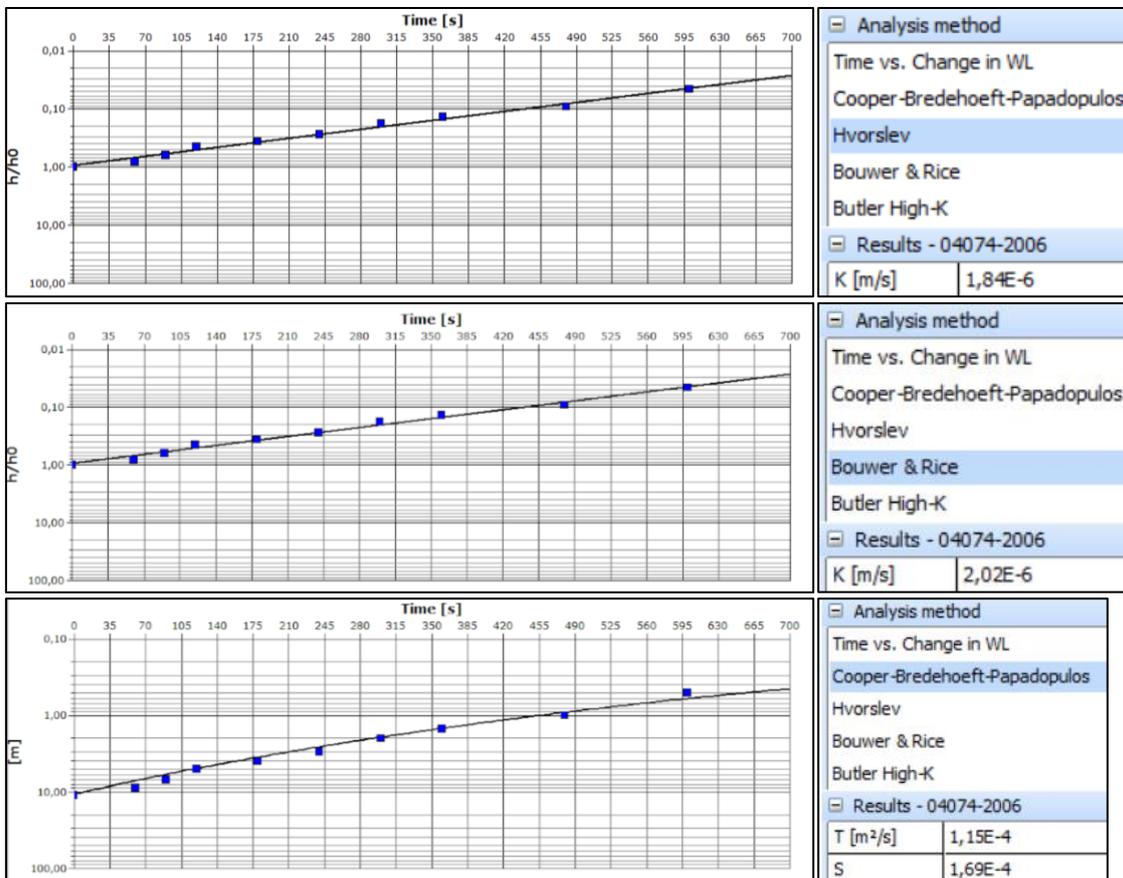


POÇO – 03190-2005

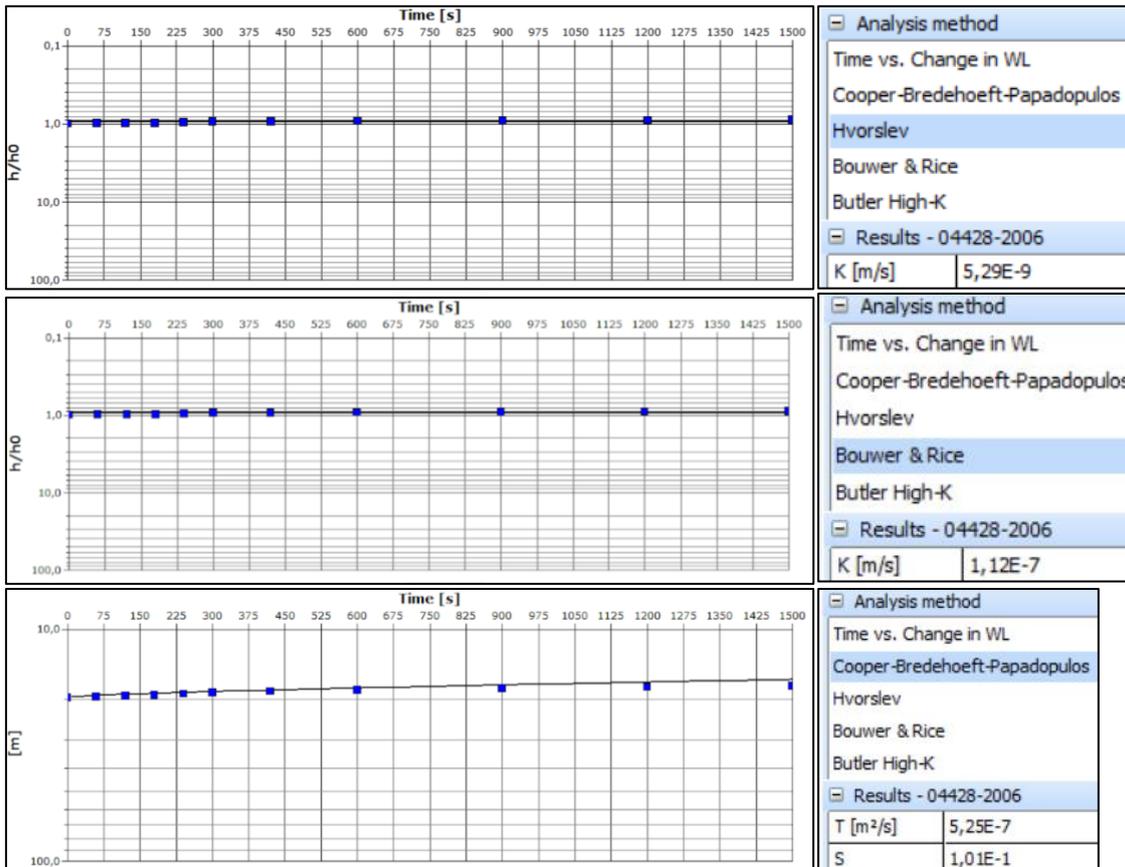
APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS



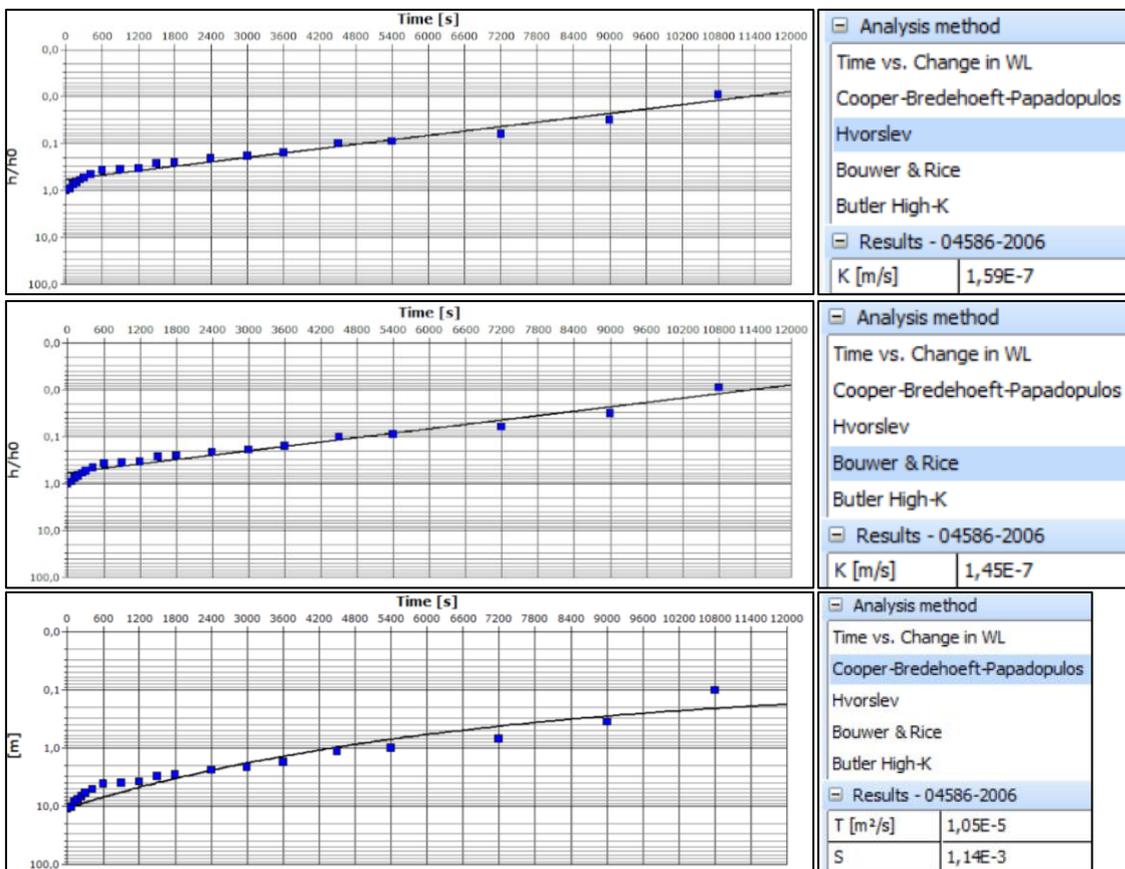
POÇO – 03253-2009



POÇO – 04074-2006

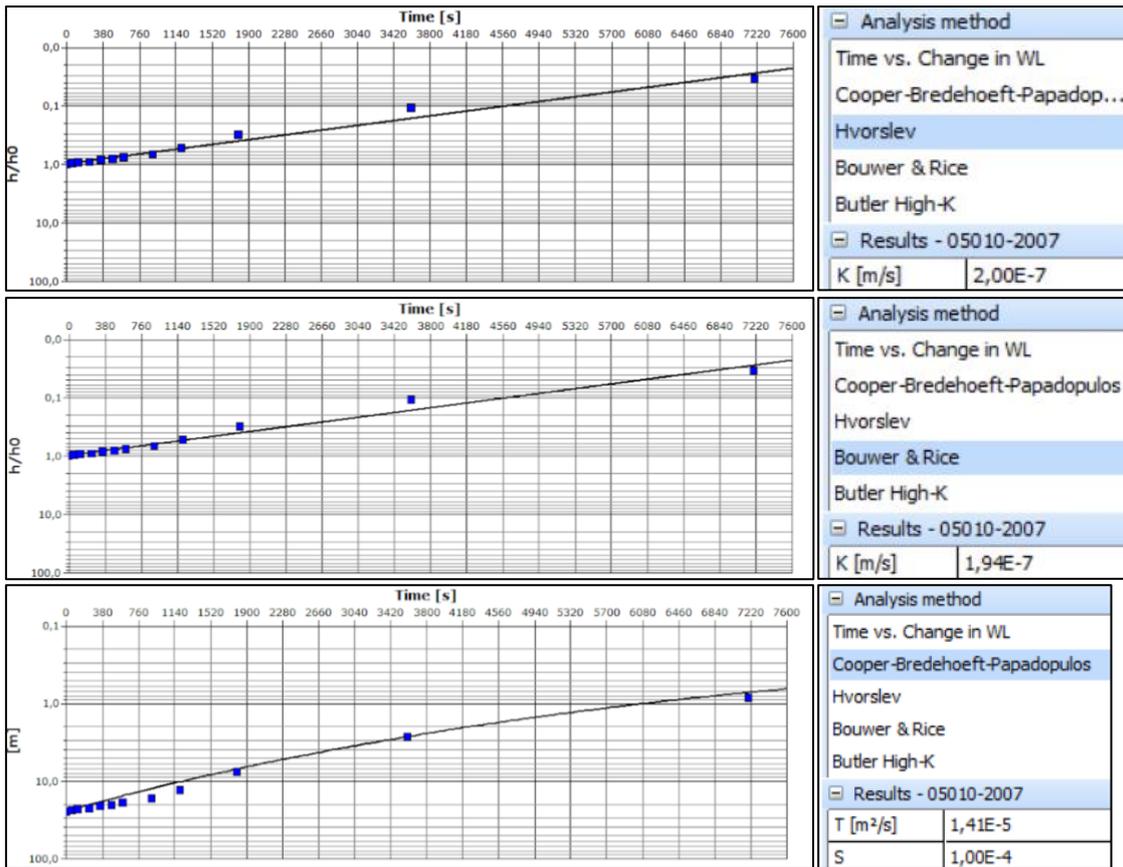


POÇO – 04428-2006

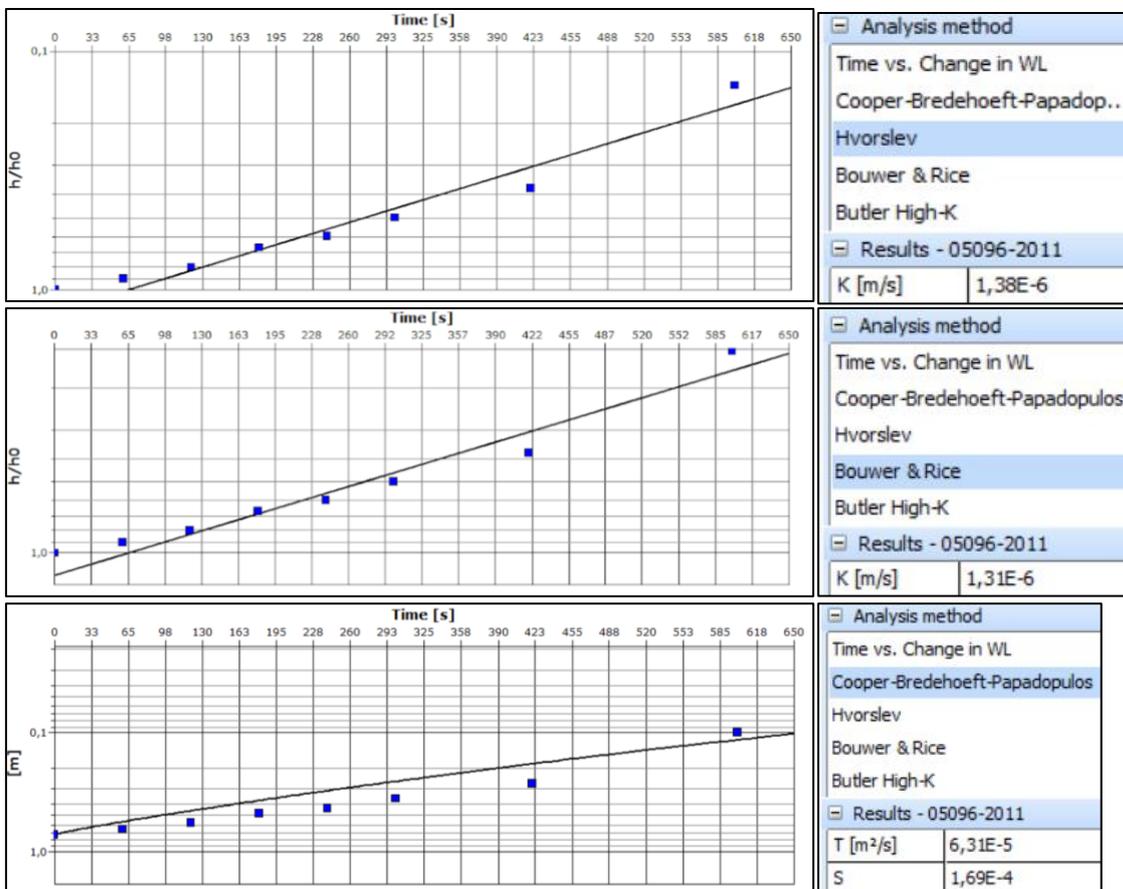


POÇO – 04586-2006

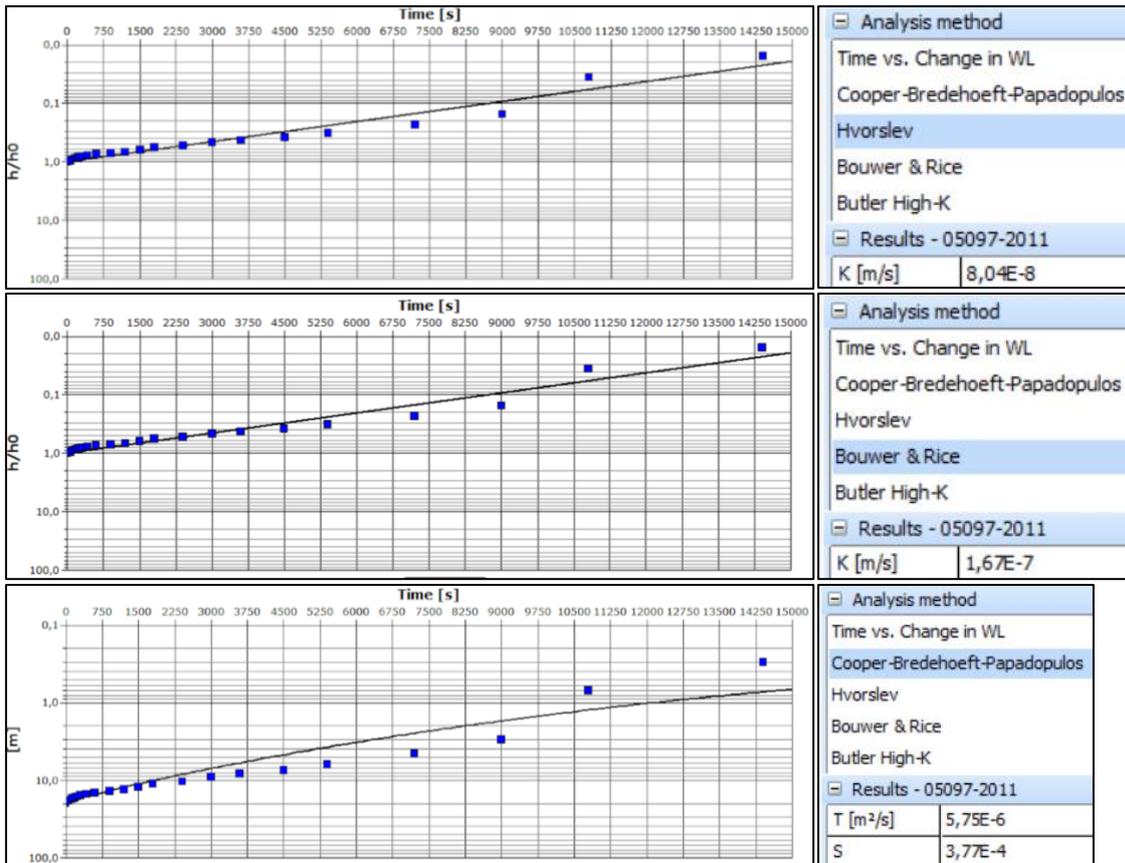
APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS



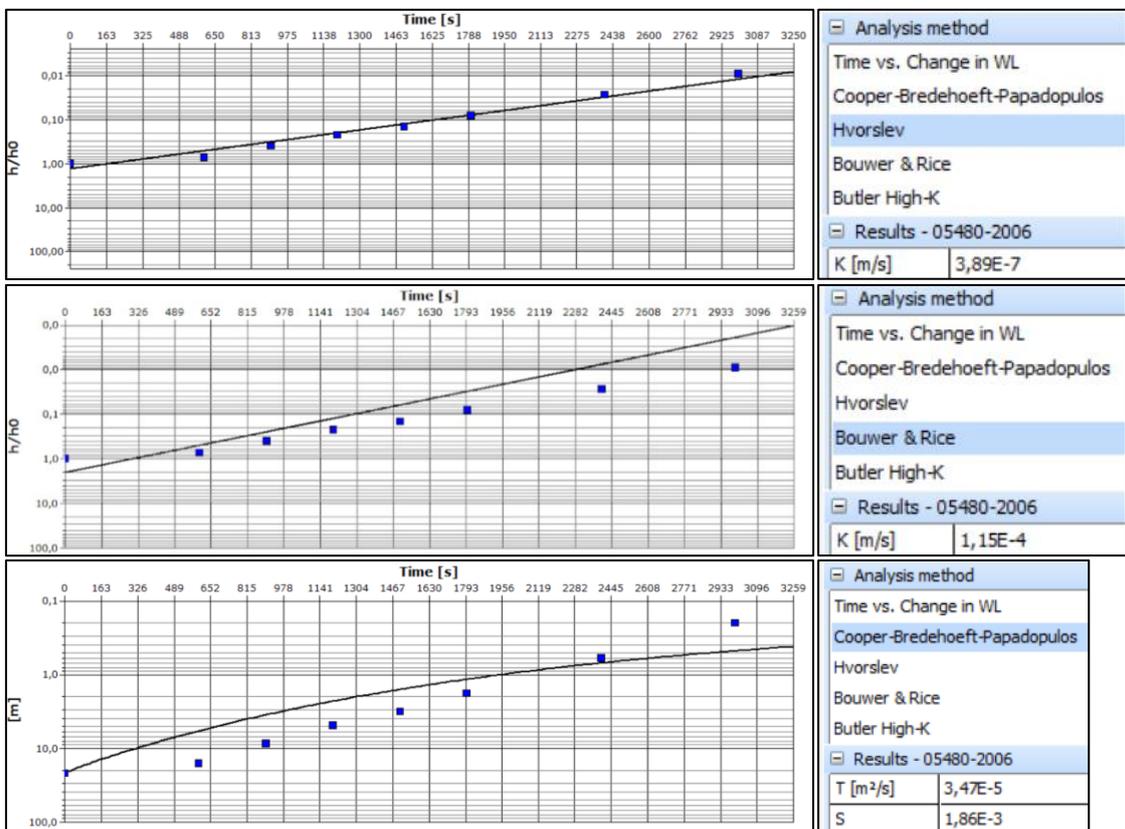
POÇO – 05010-2007



POÇO – 05096-2011

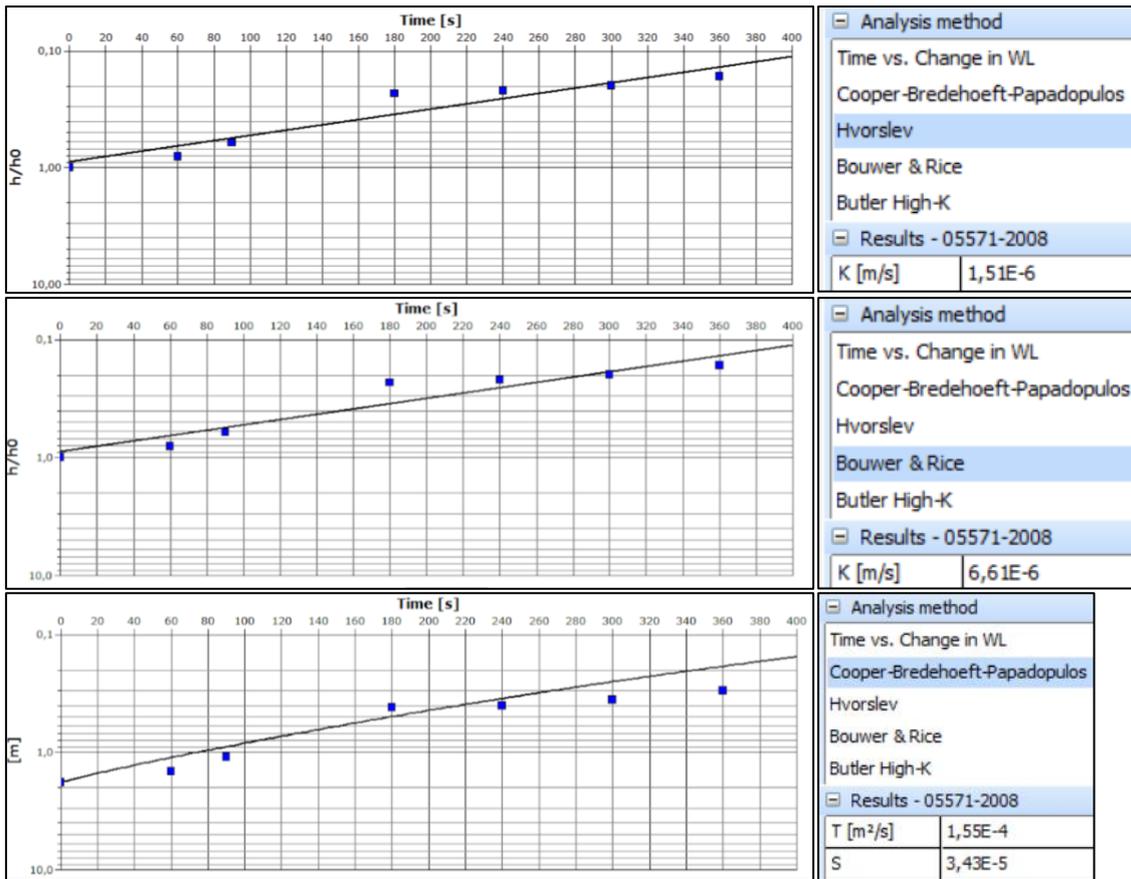


POÇO – 05097-2011

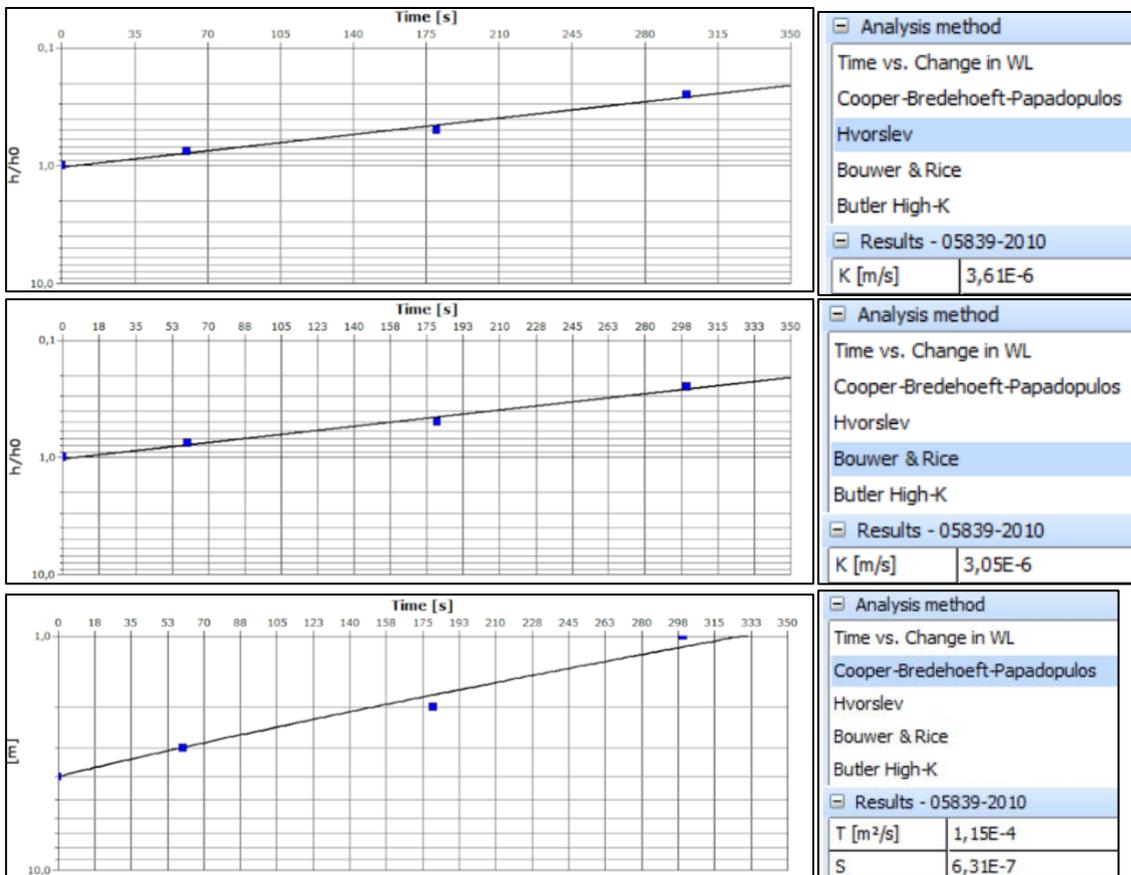


POÇO – 05480-2006

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

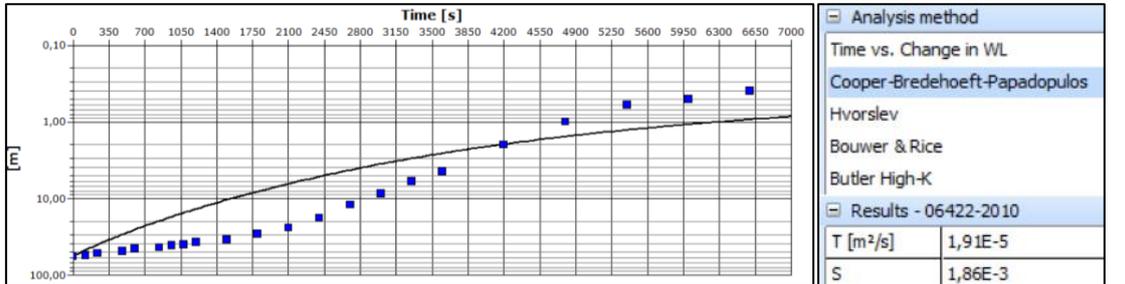
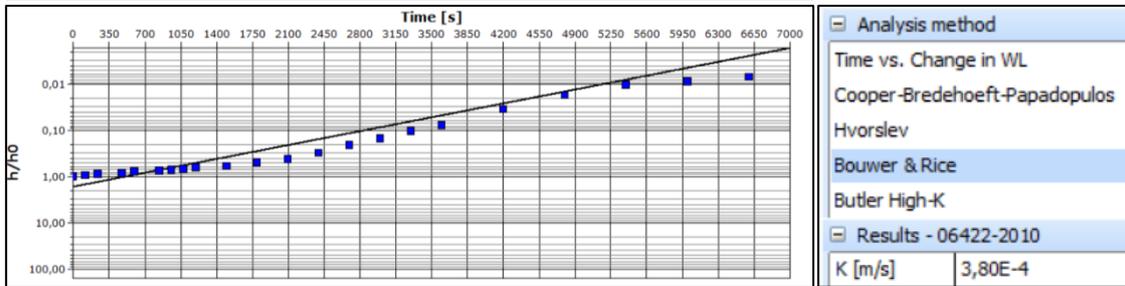
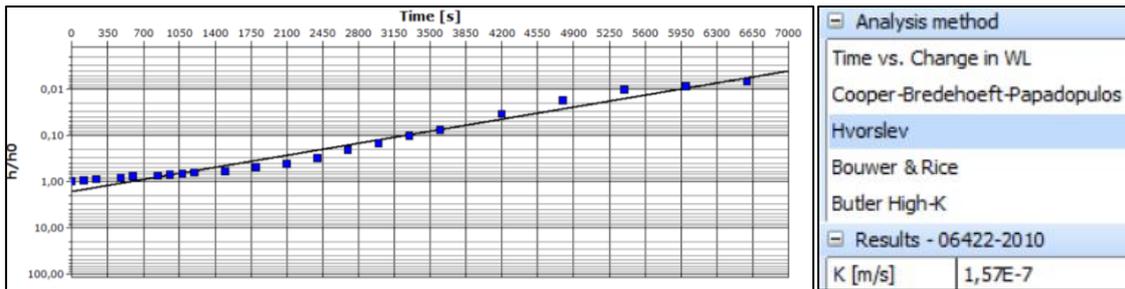


POÇO – 05571-2008

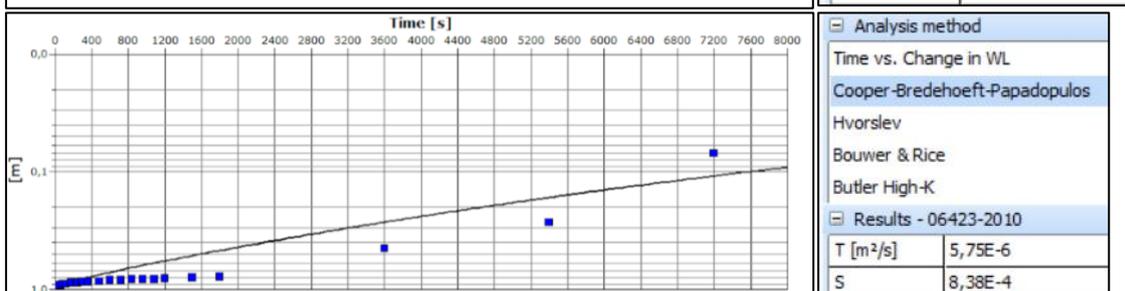
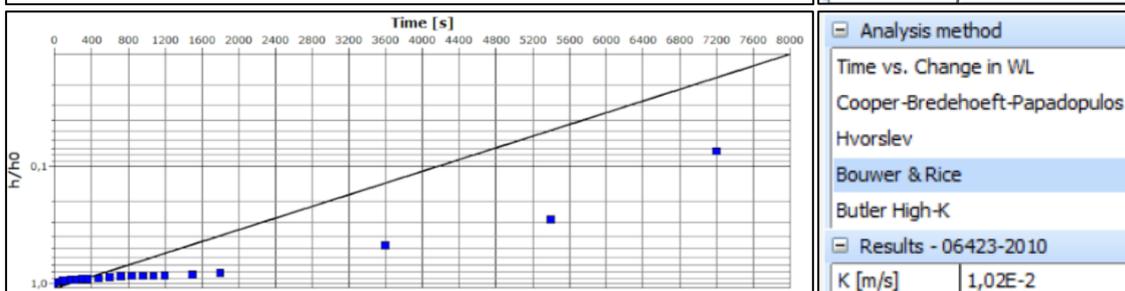
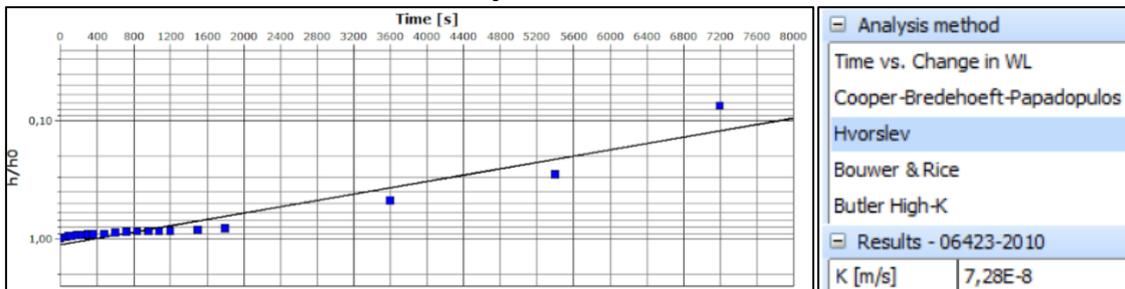


POÇO – 05839-2010

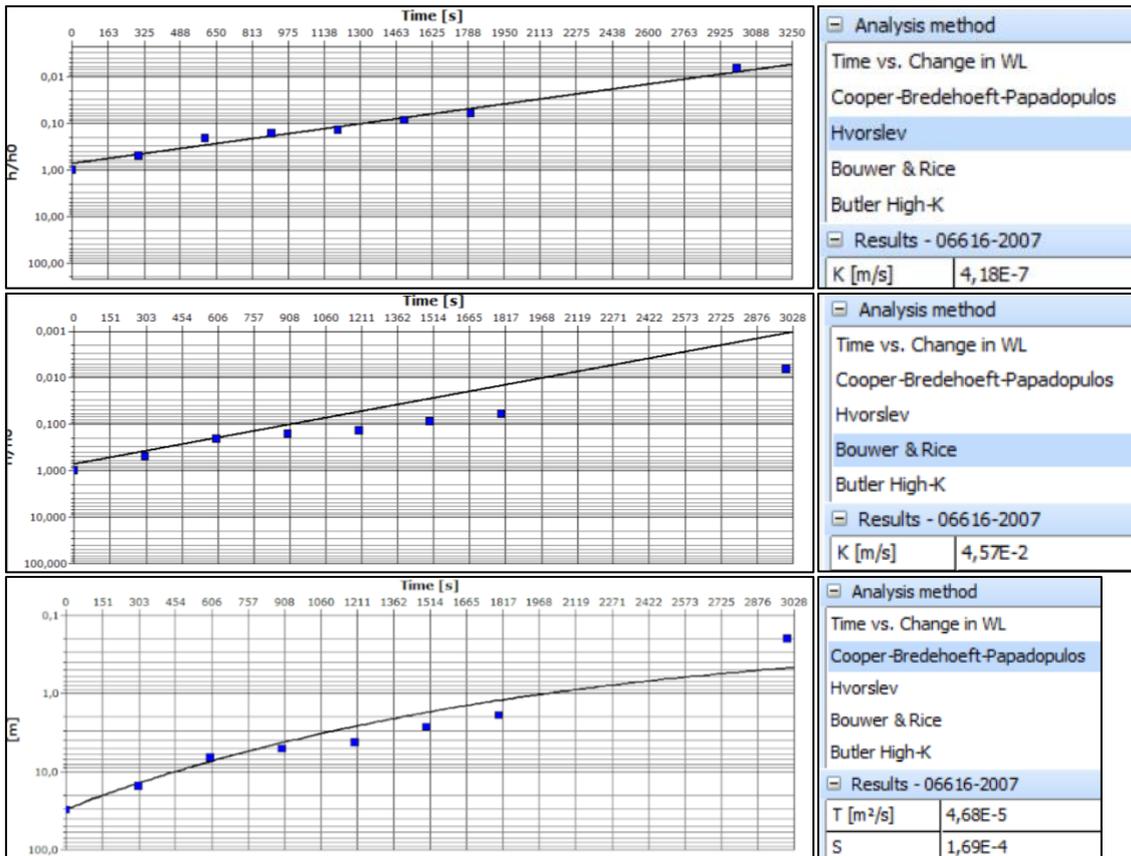
APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS



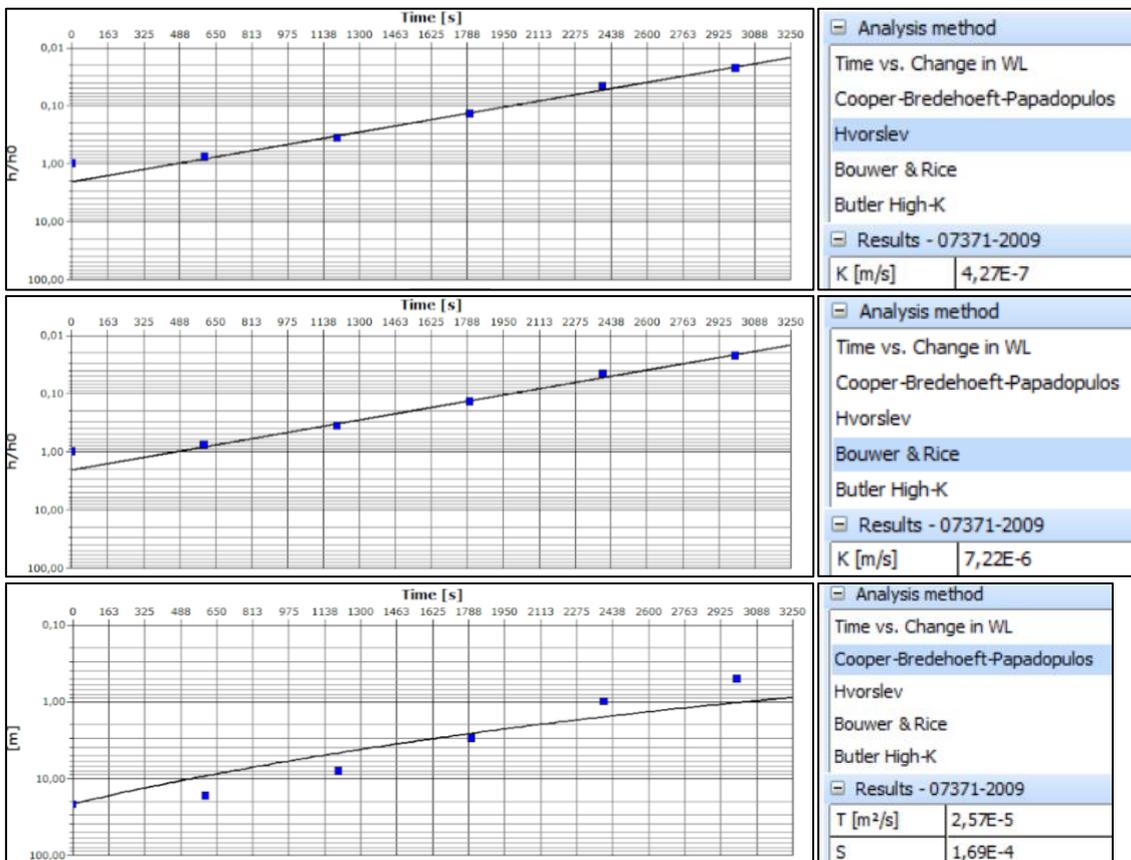
POÇO – 06422-2010



POÇO – 06423-2010

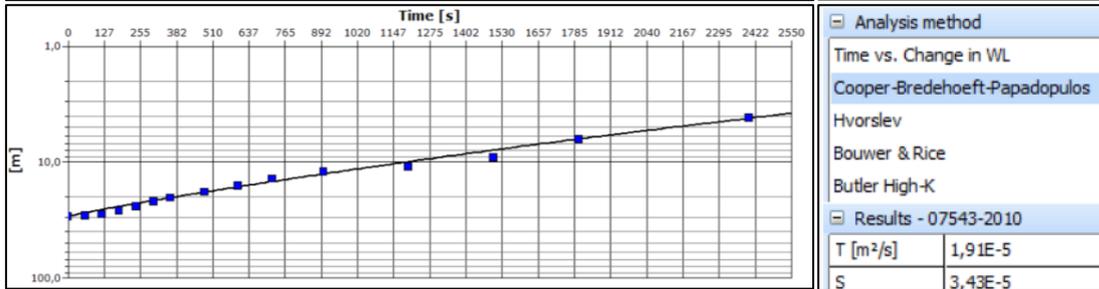
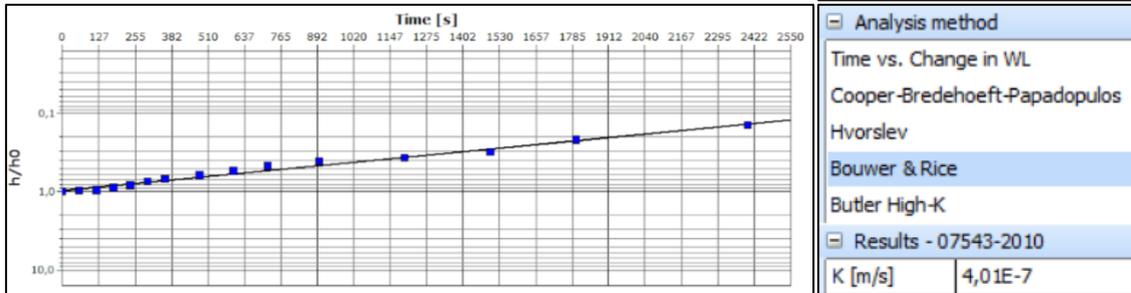
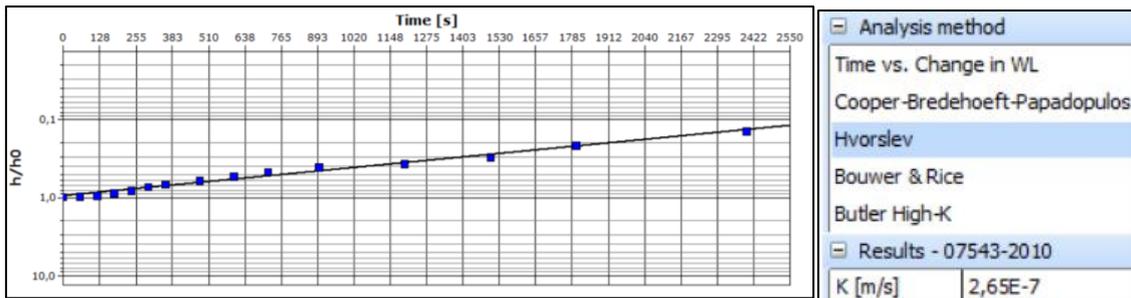


POÇO – 06616-2007

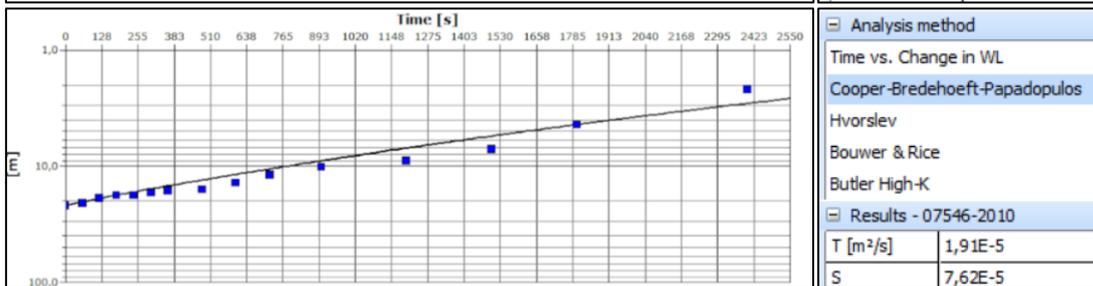
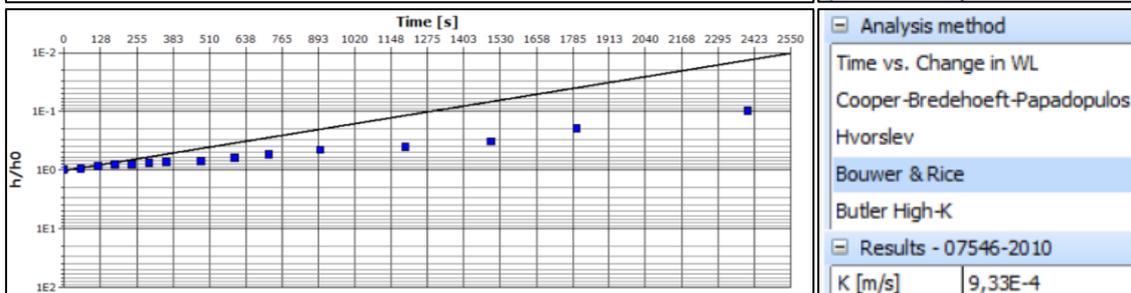
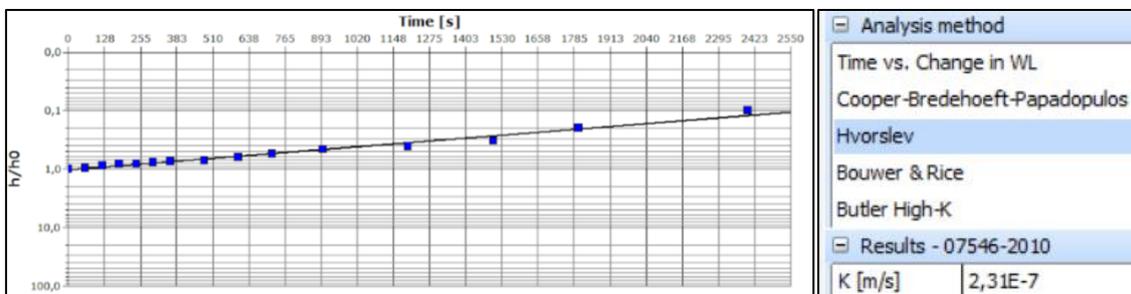


POÇO – 07371-2009

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

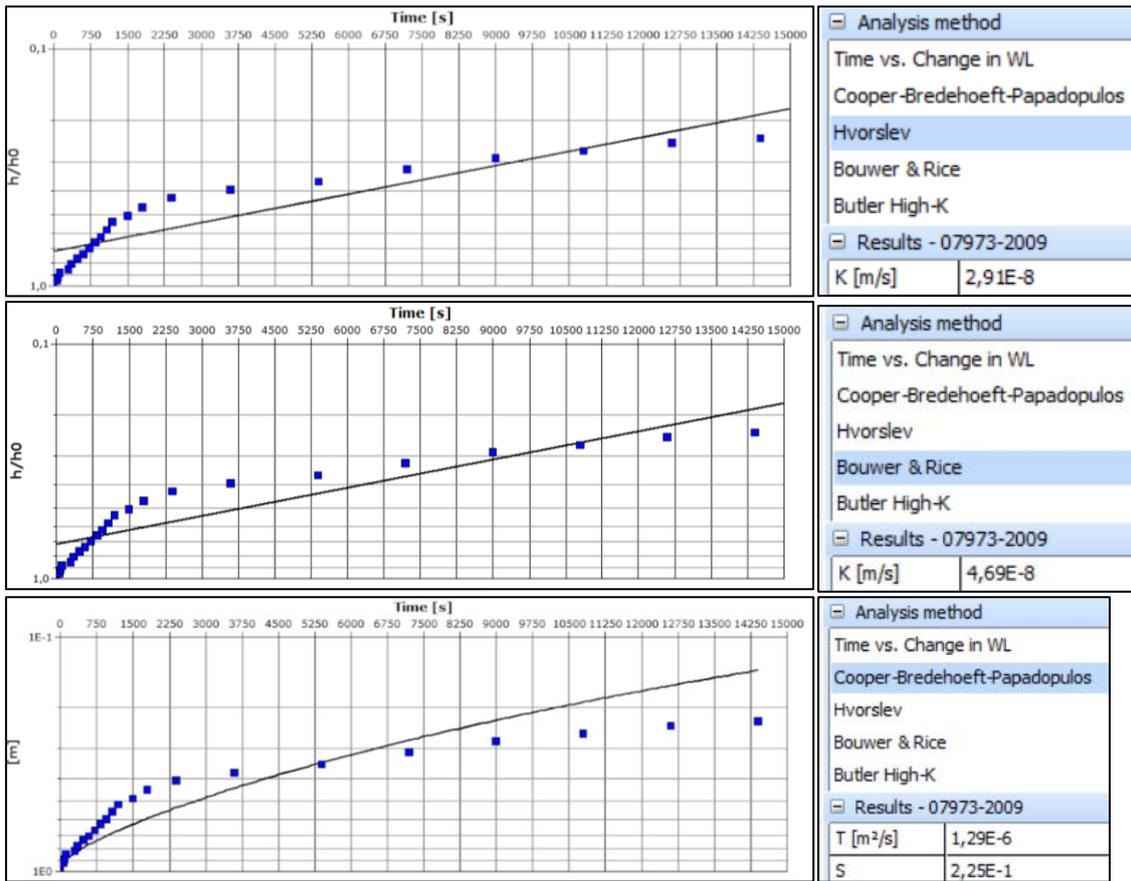


POÇO – 07543-2010

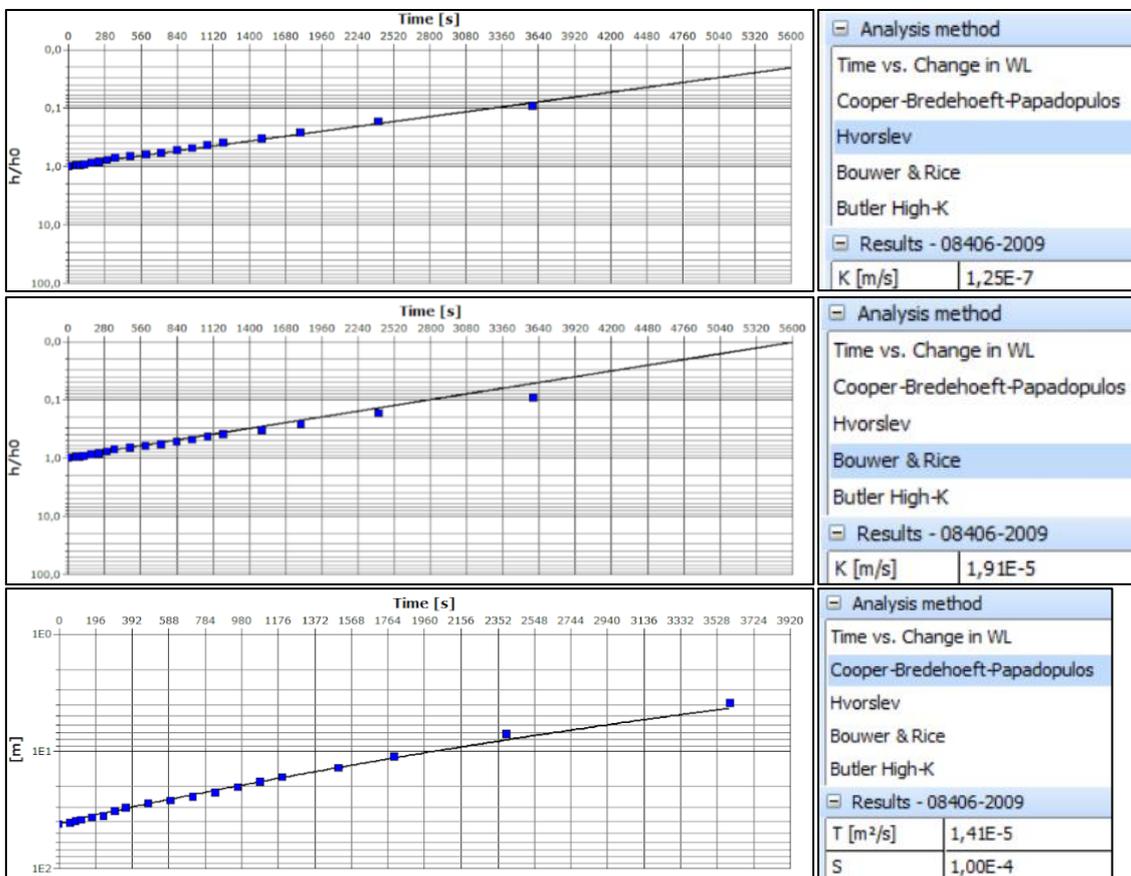


POÇO – 07546-2010

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

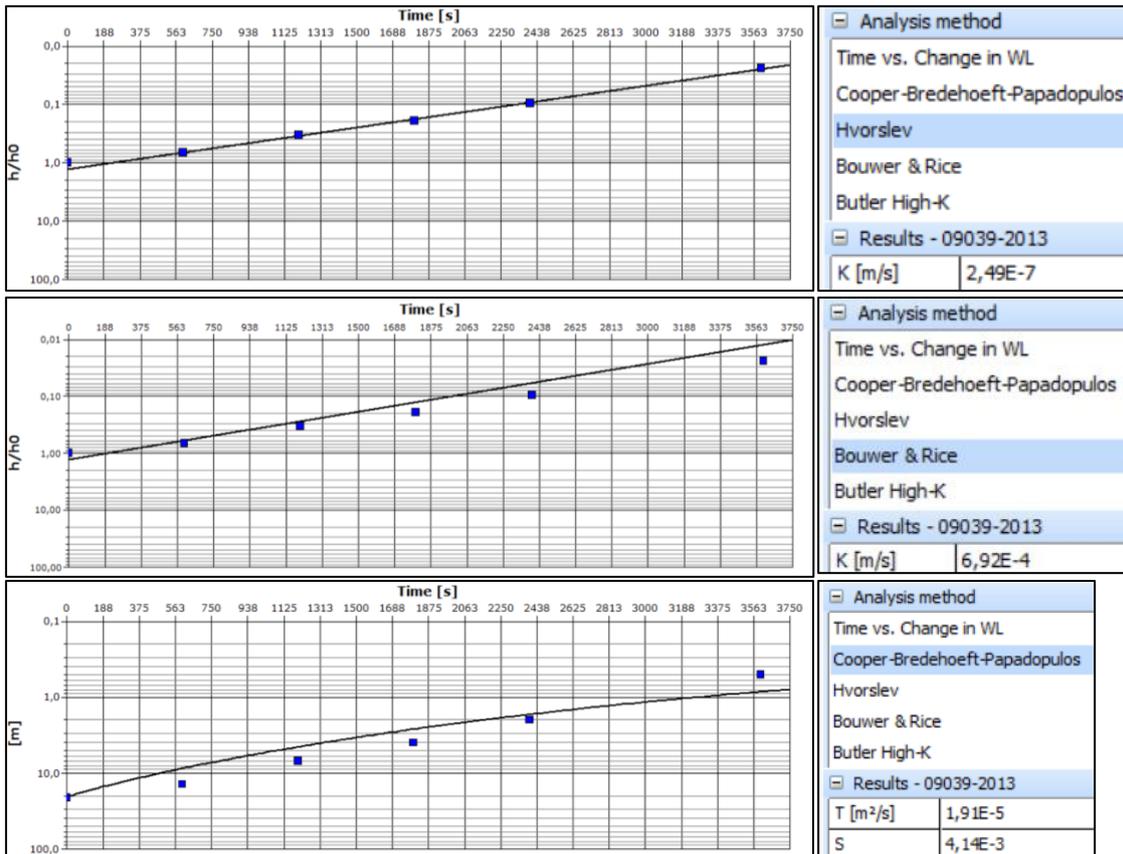


POÇO – 07973-2009

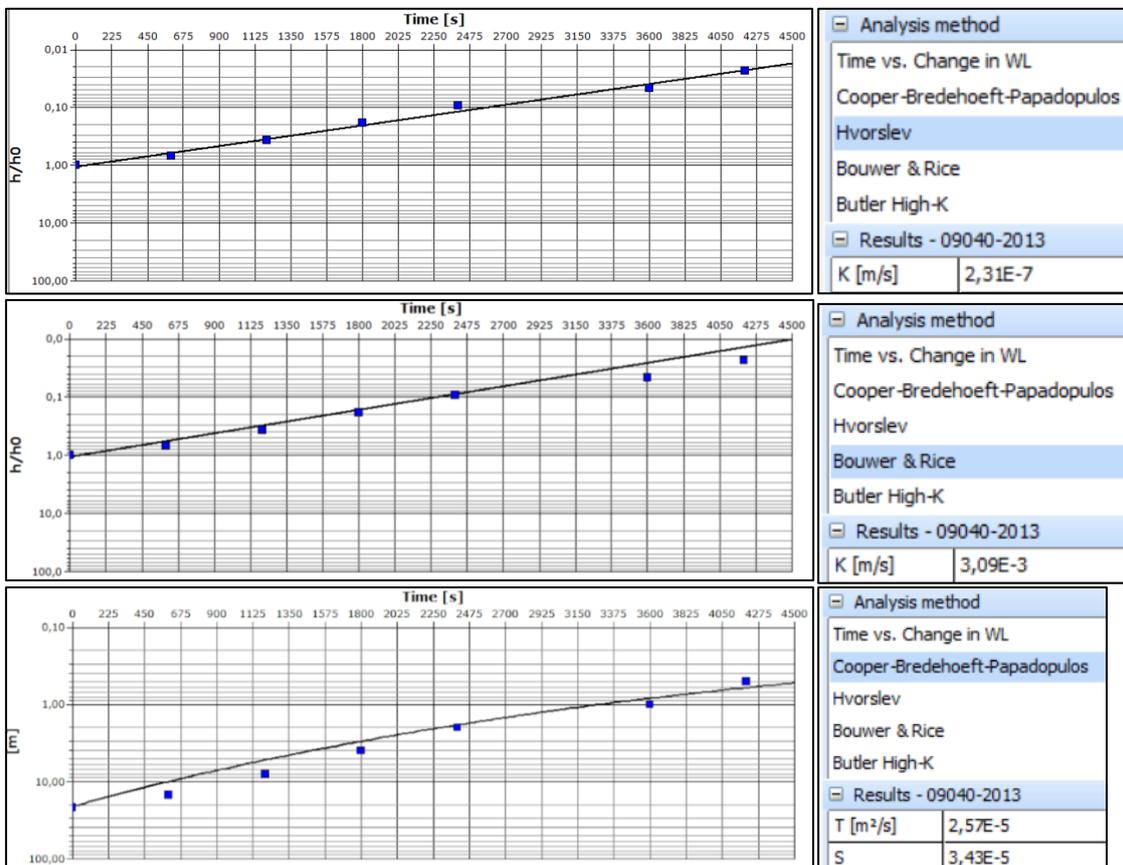


POÇO – 08406-2009

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

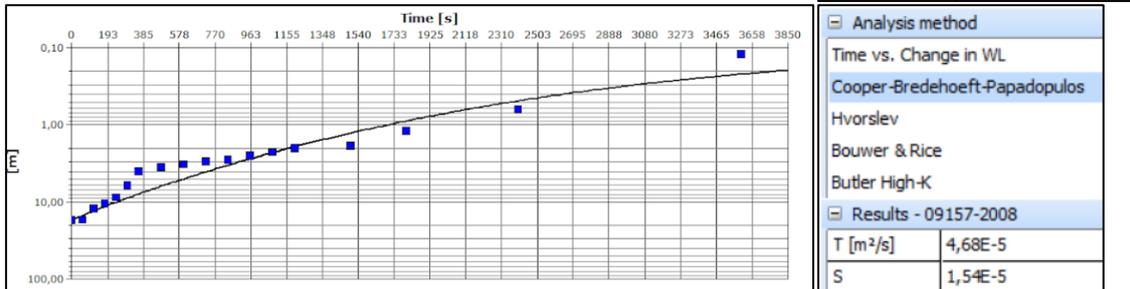
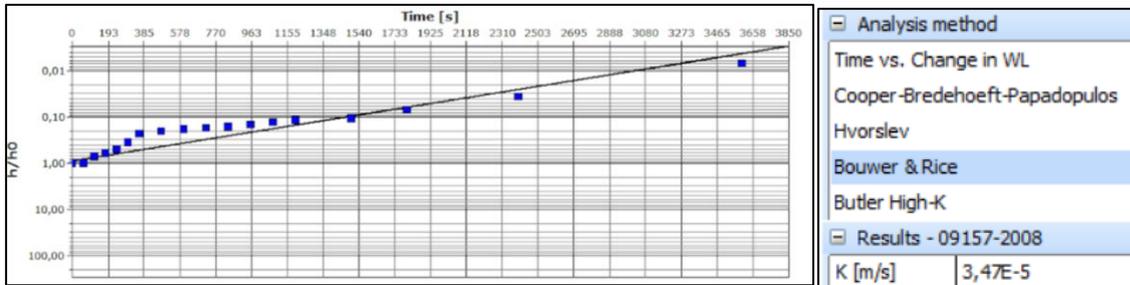
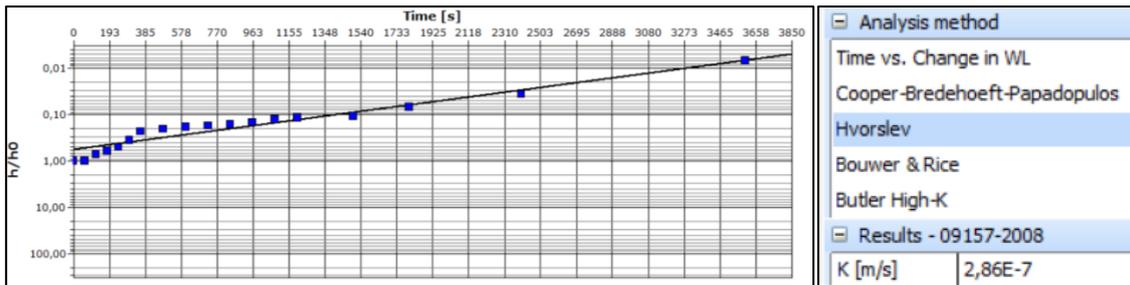


POÇO – 09039-2013

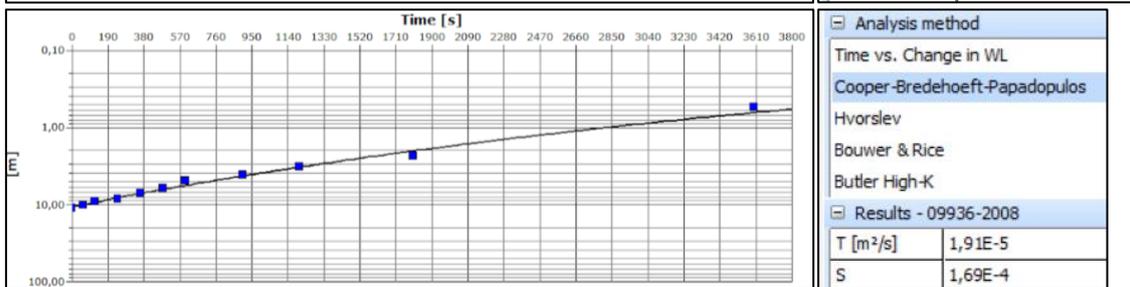
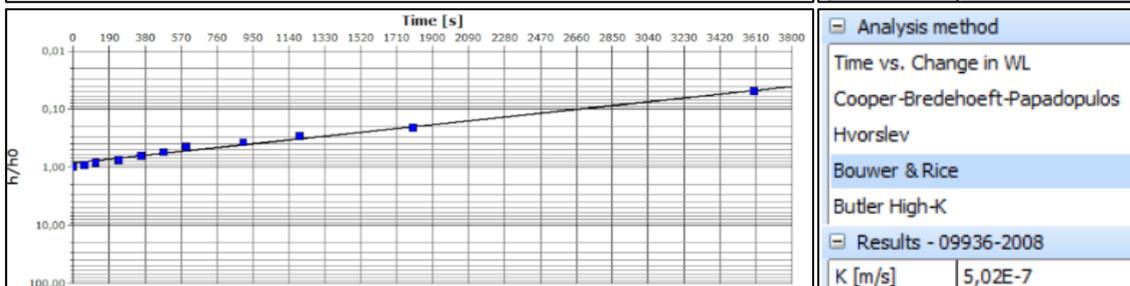
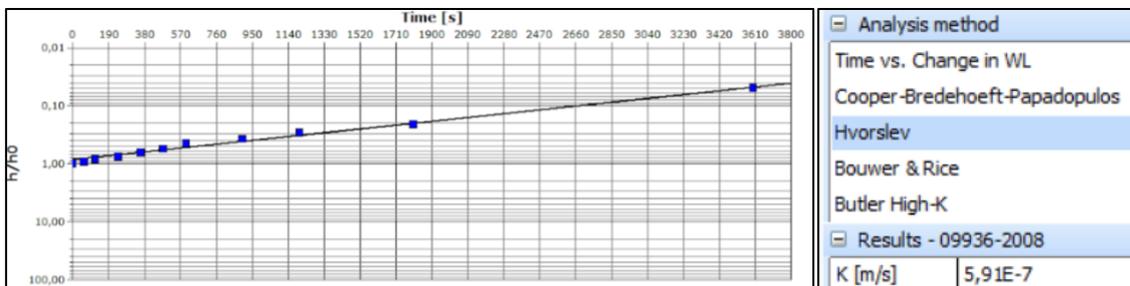


POÇO – 09040-2013

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

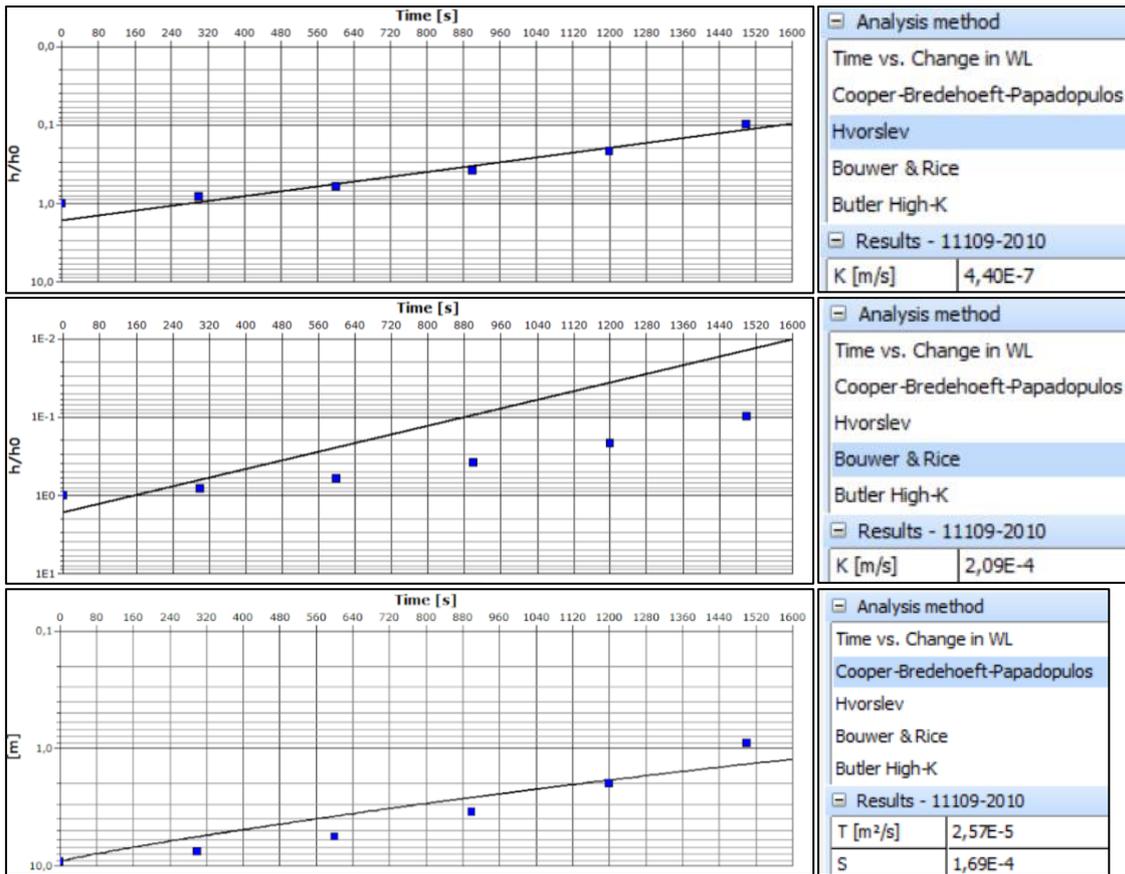


POÇO – 09157-2008

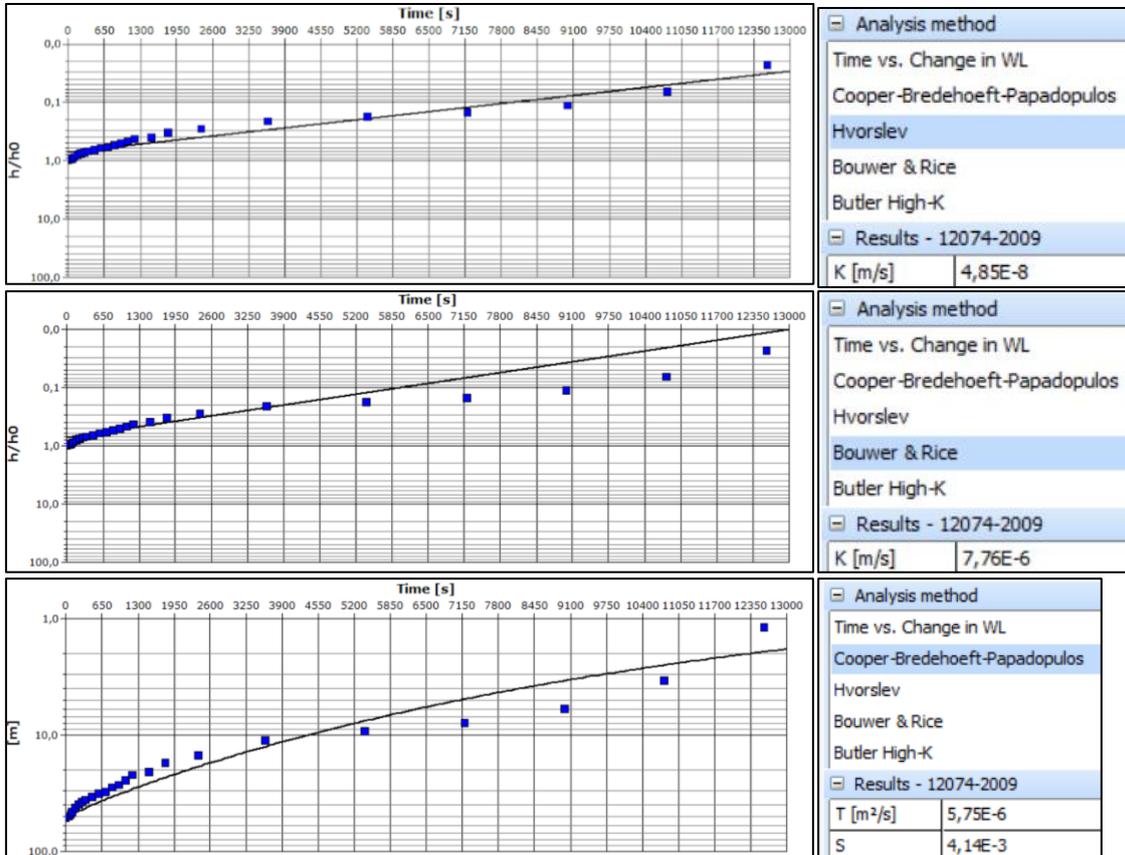


POÇO – 09936-2008

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

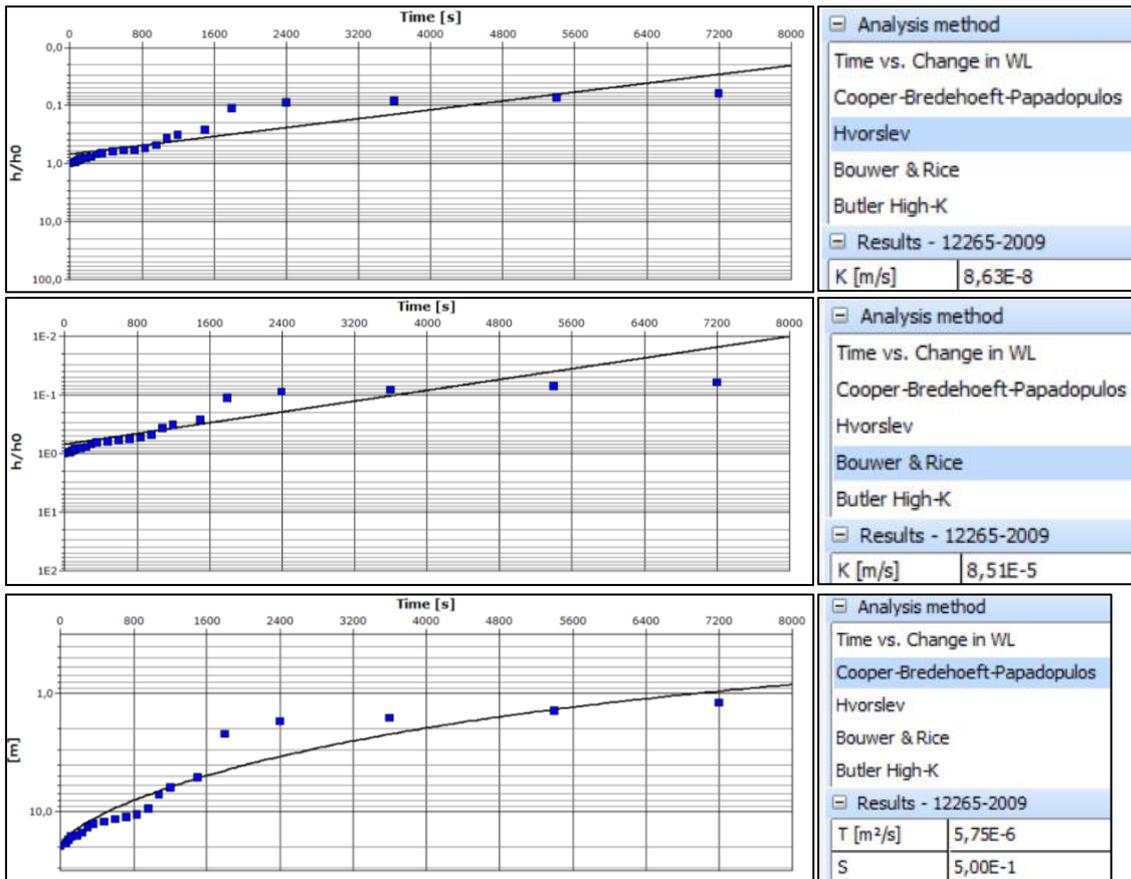


POÇO – 11109-2010

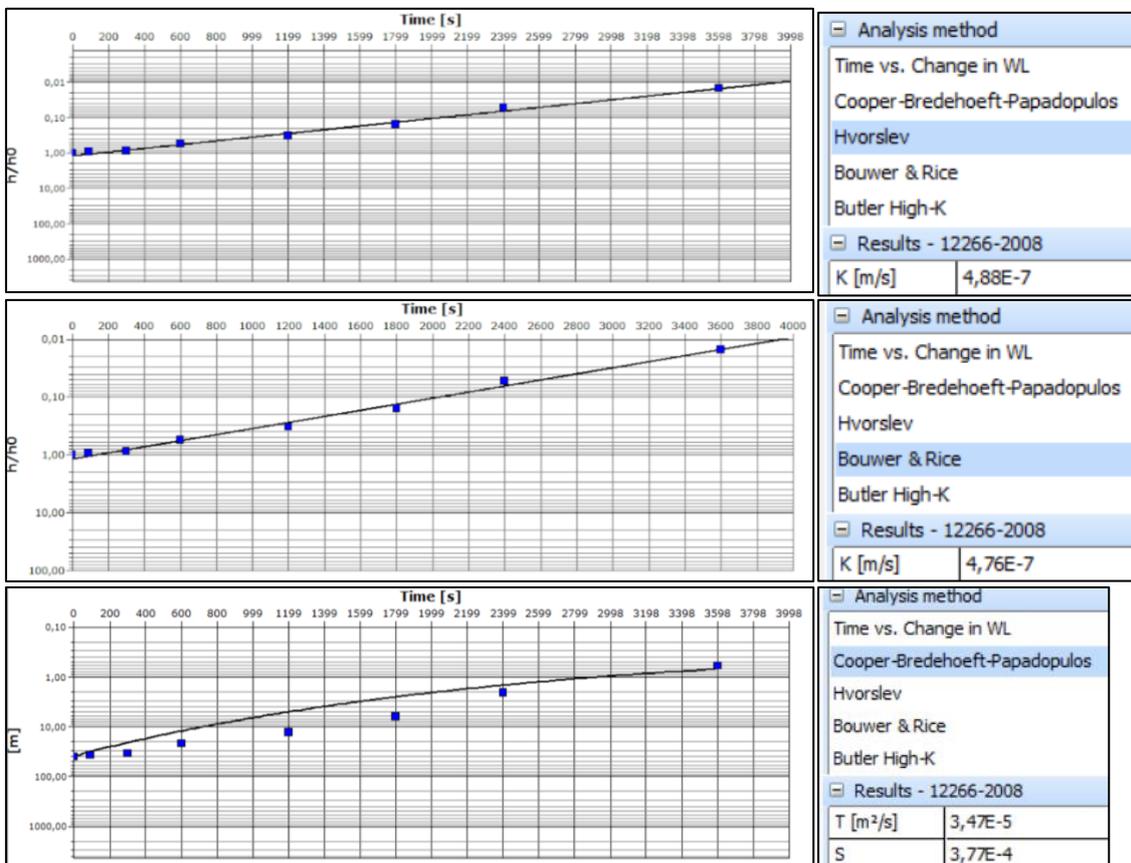


POÇO – 12074-2009

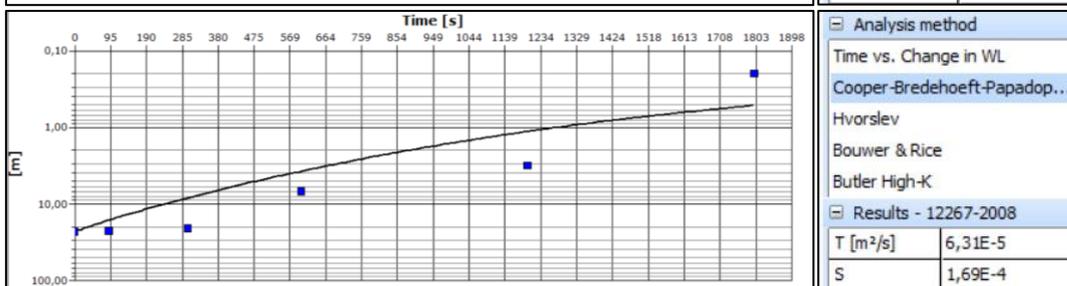
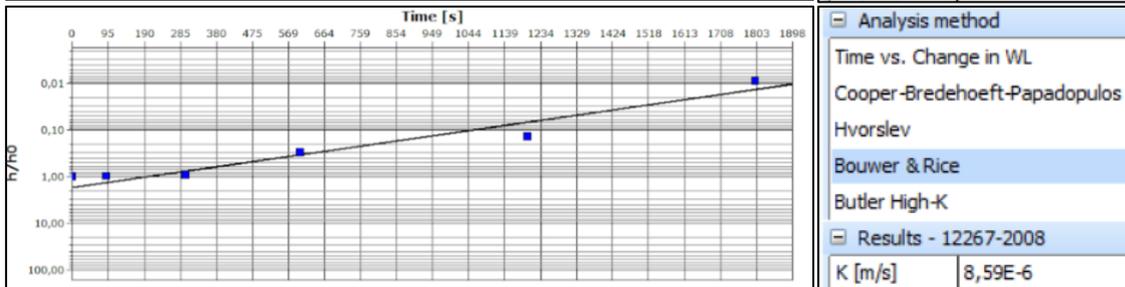
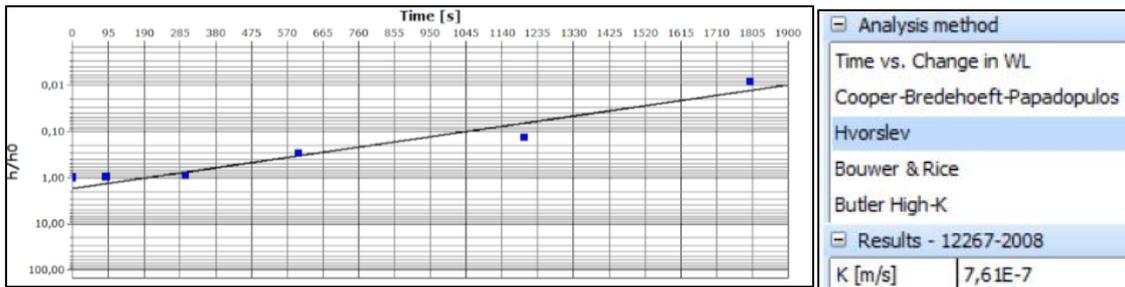
APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS



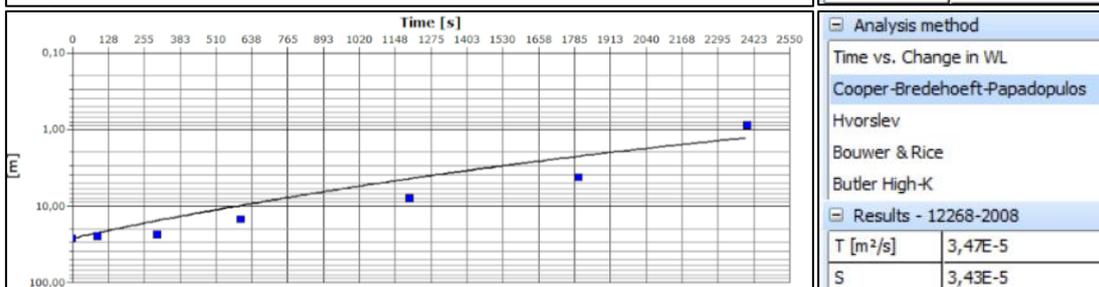
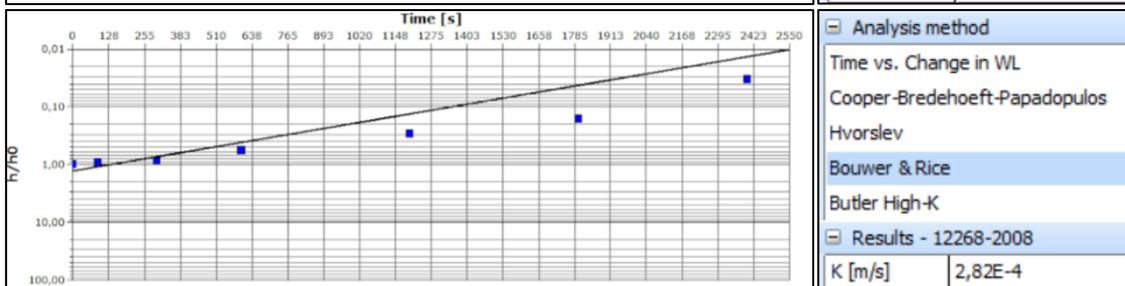
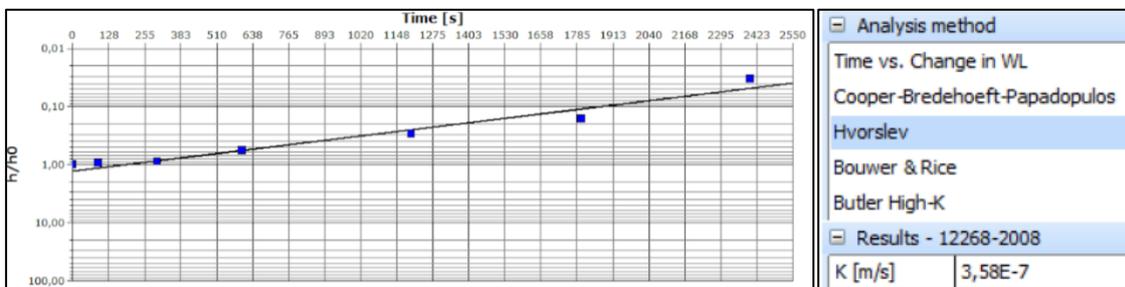
POÇO – 12265-2009



POÇO – 12266-2009

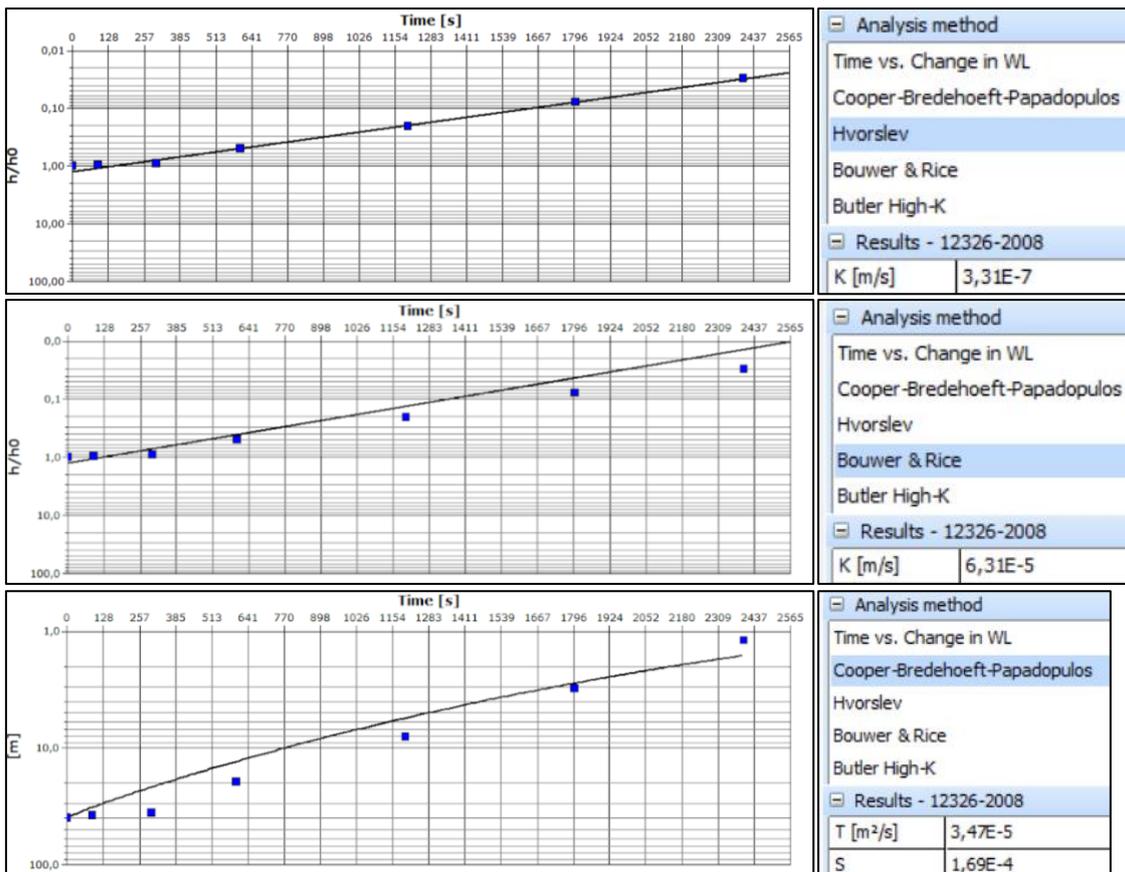


POÇO – 12267-2009

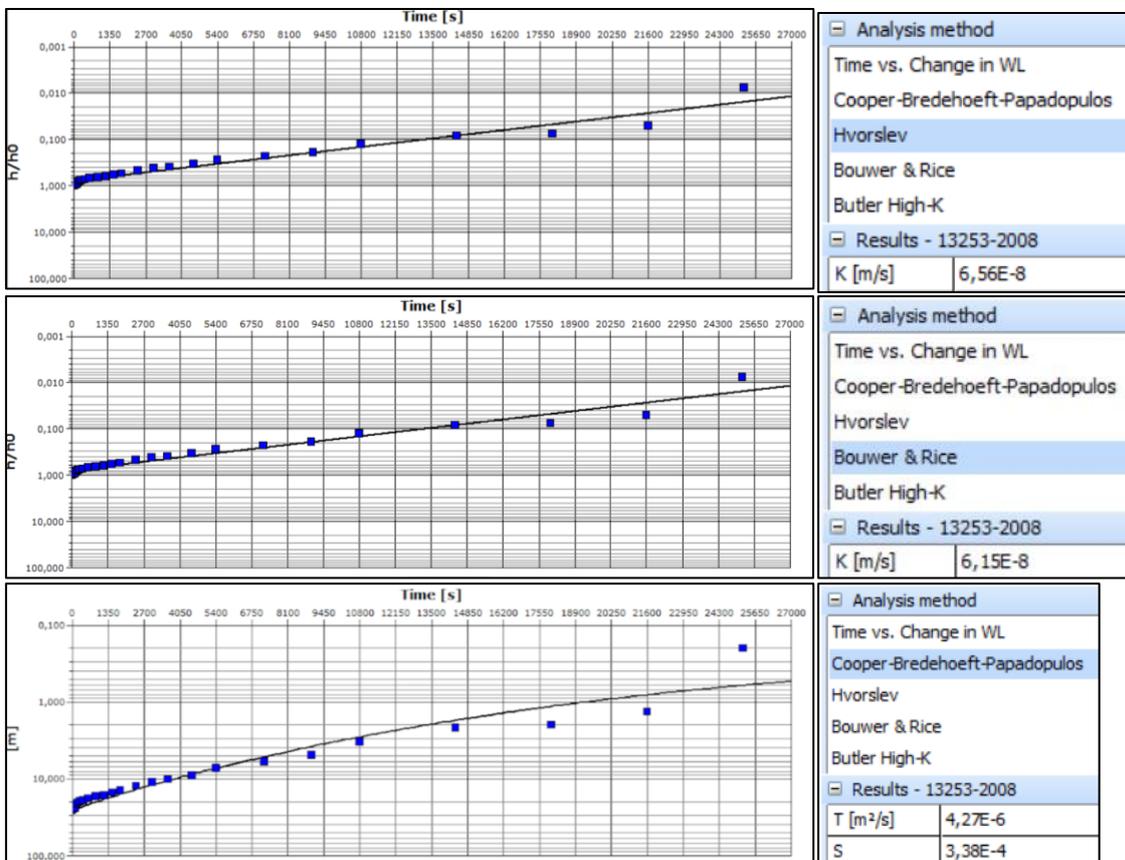


POÇO – 12268-2009

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

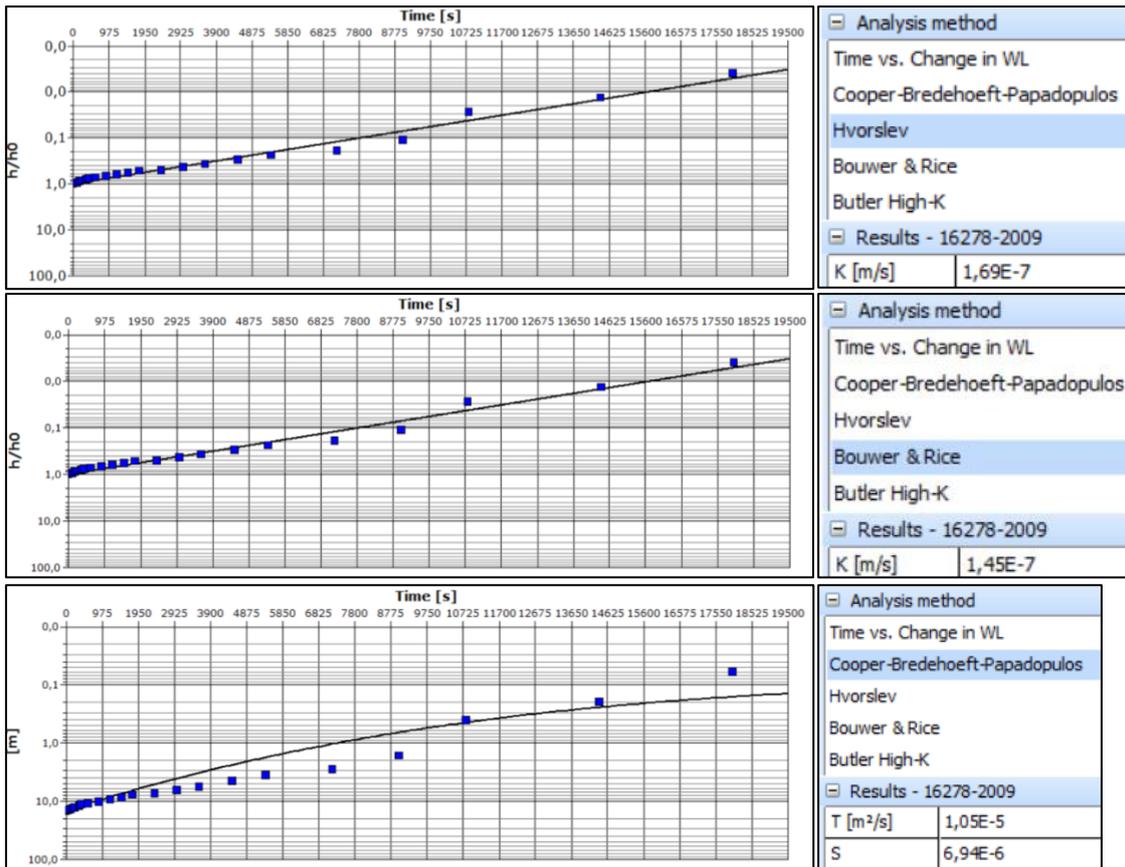


POÇO – 12326-2008

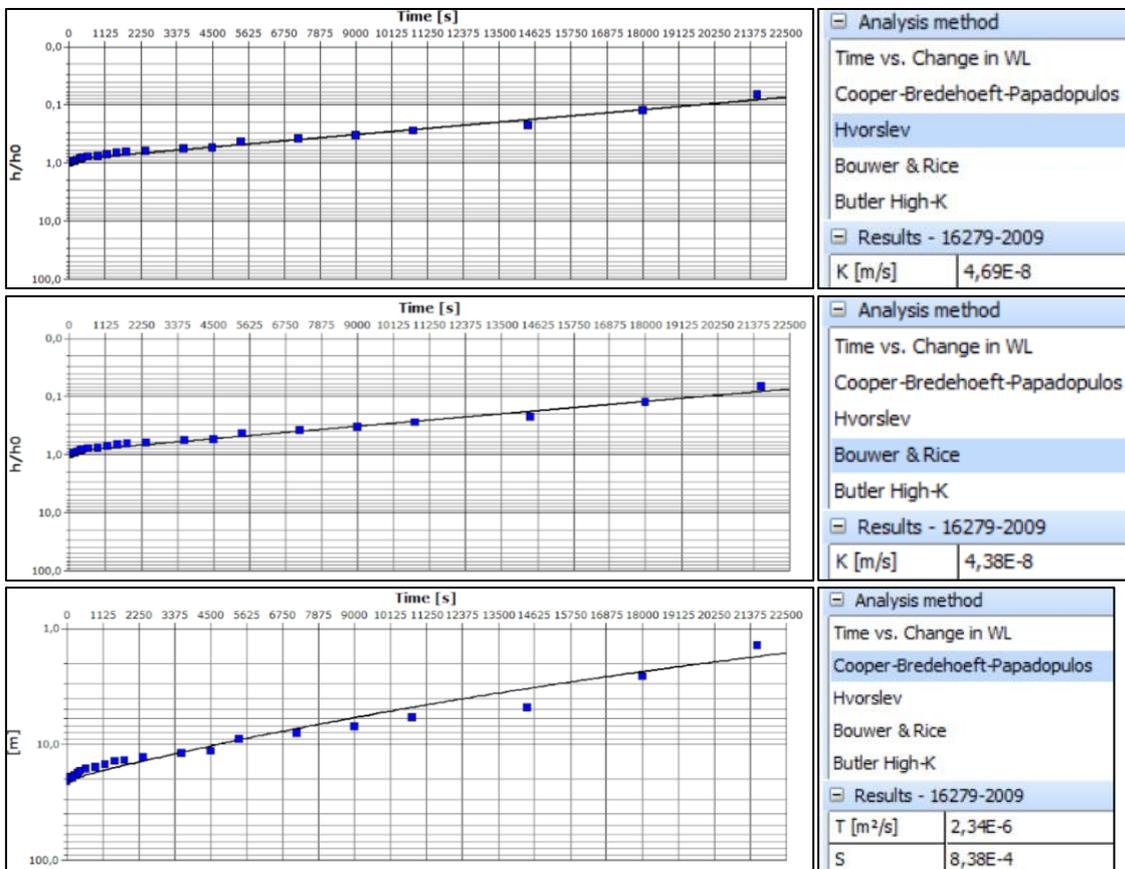


POÇO – 13253-2008

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

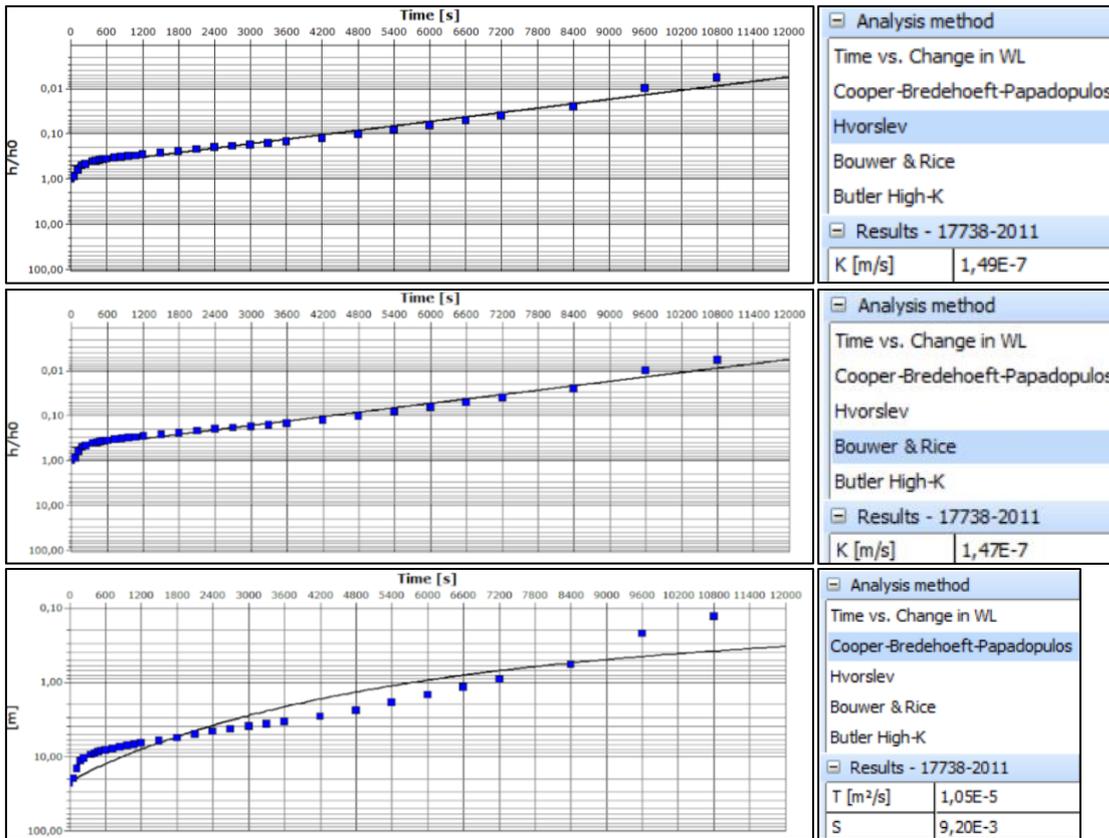


POÇO – 16278-2009

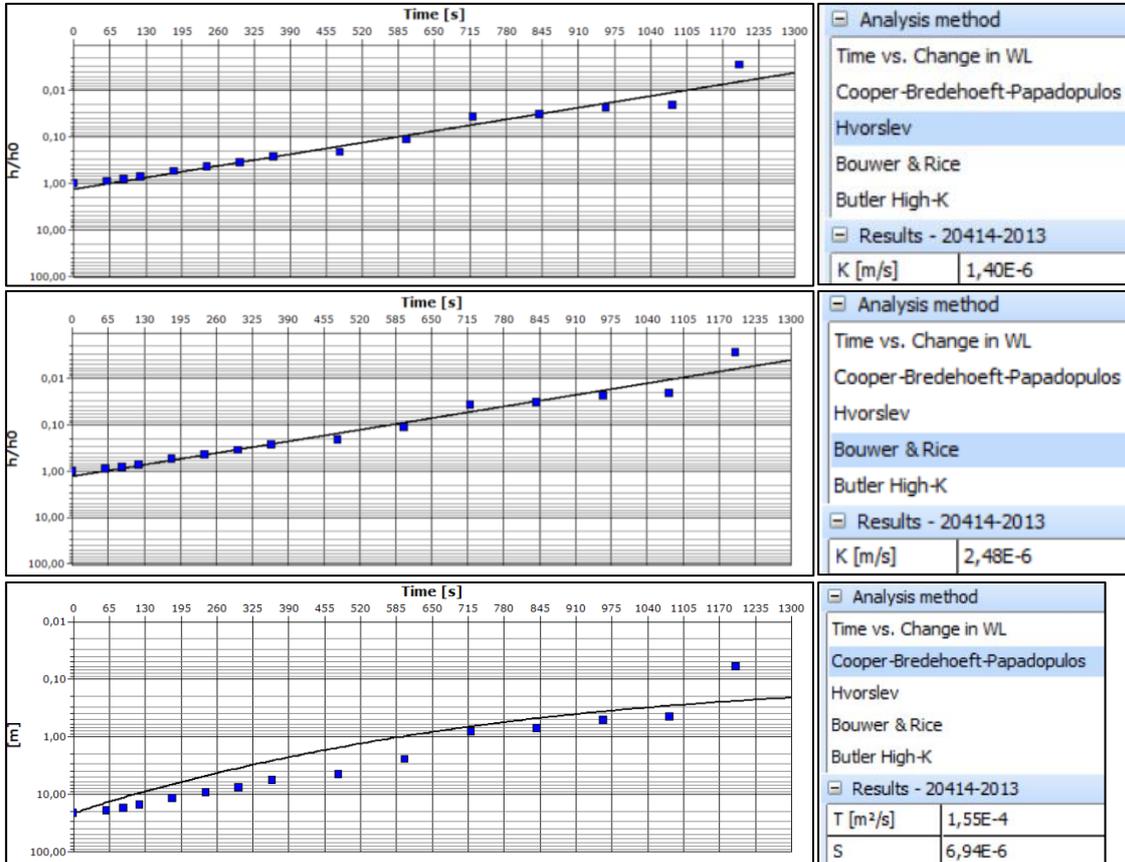


POÇO – 16279-2009

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

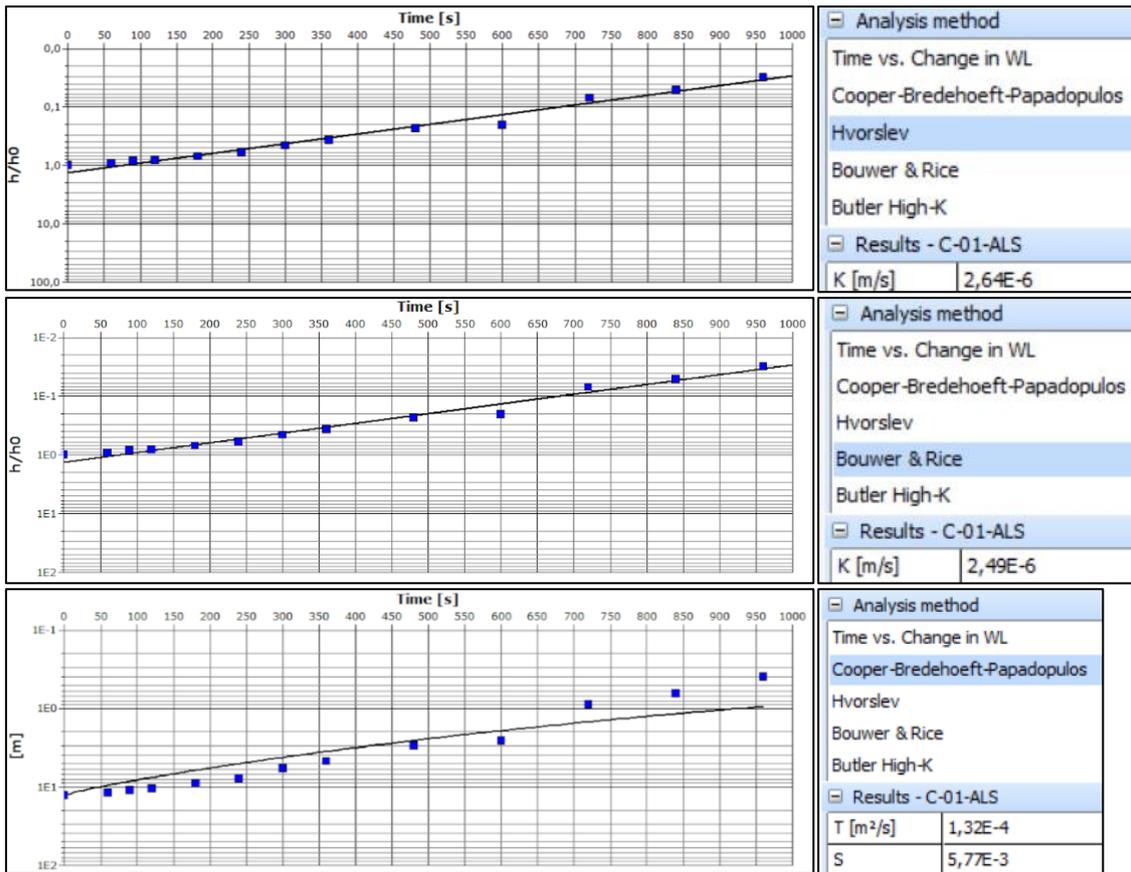


POÇO – 17738-2011

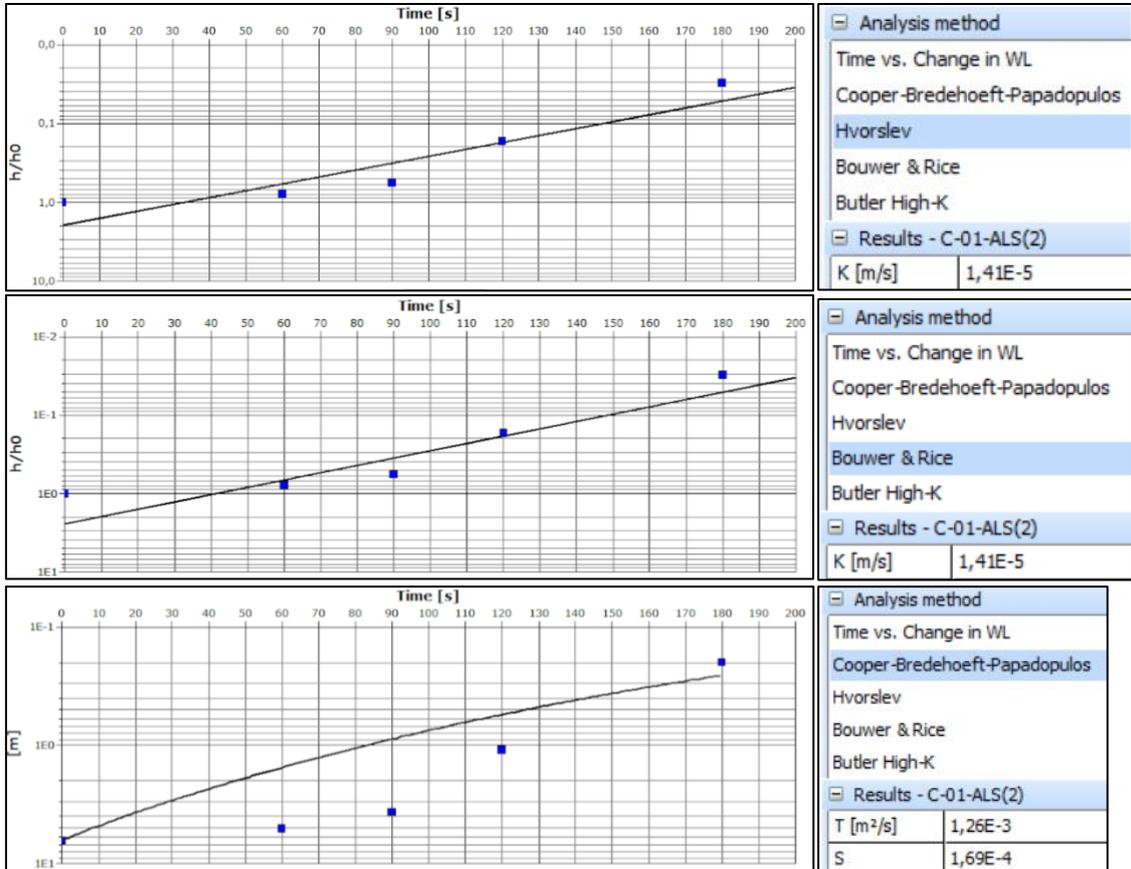


POÇO – 20414-2013

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

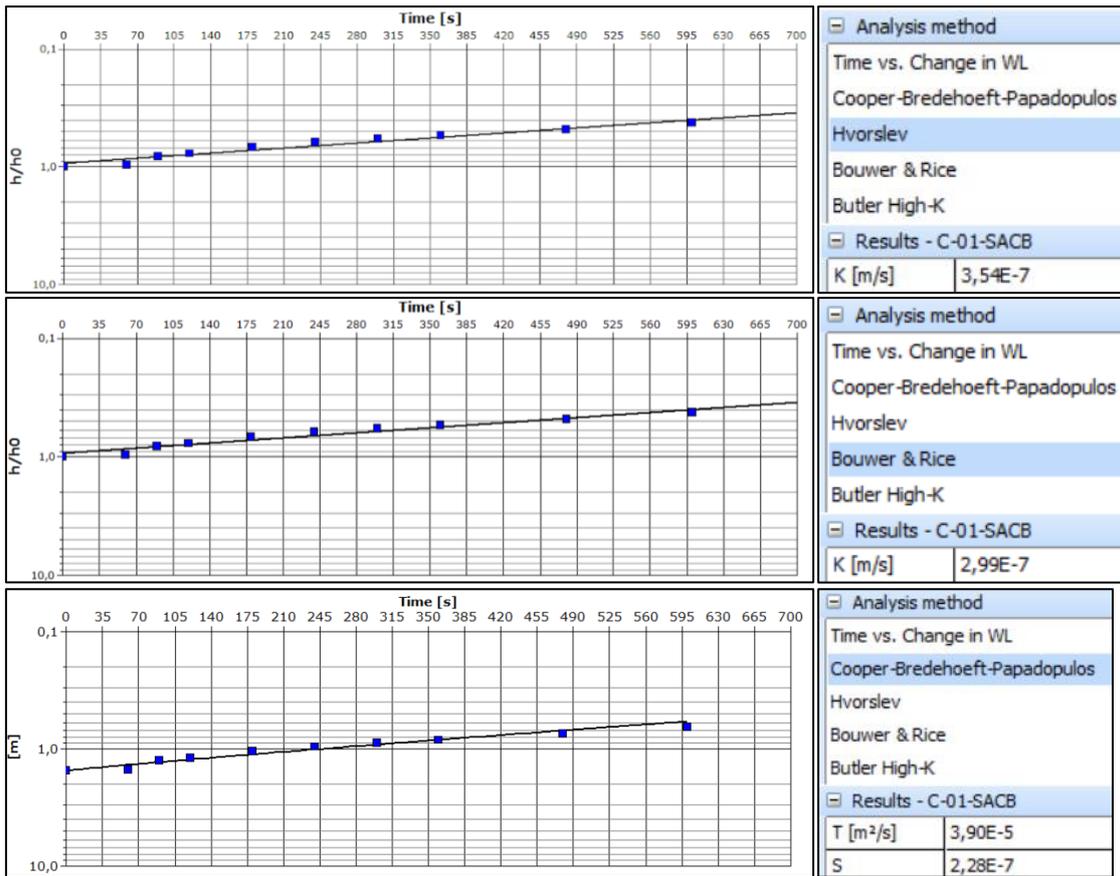


POÇO – C-01-ALS(1)

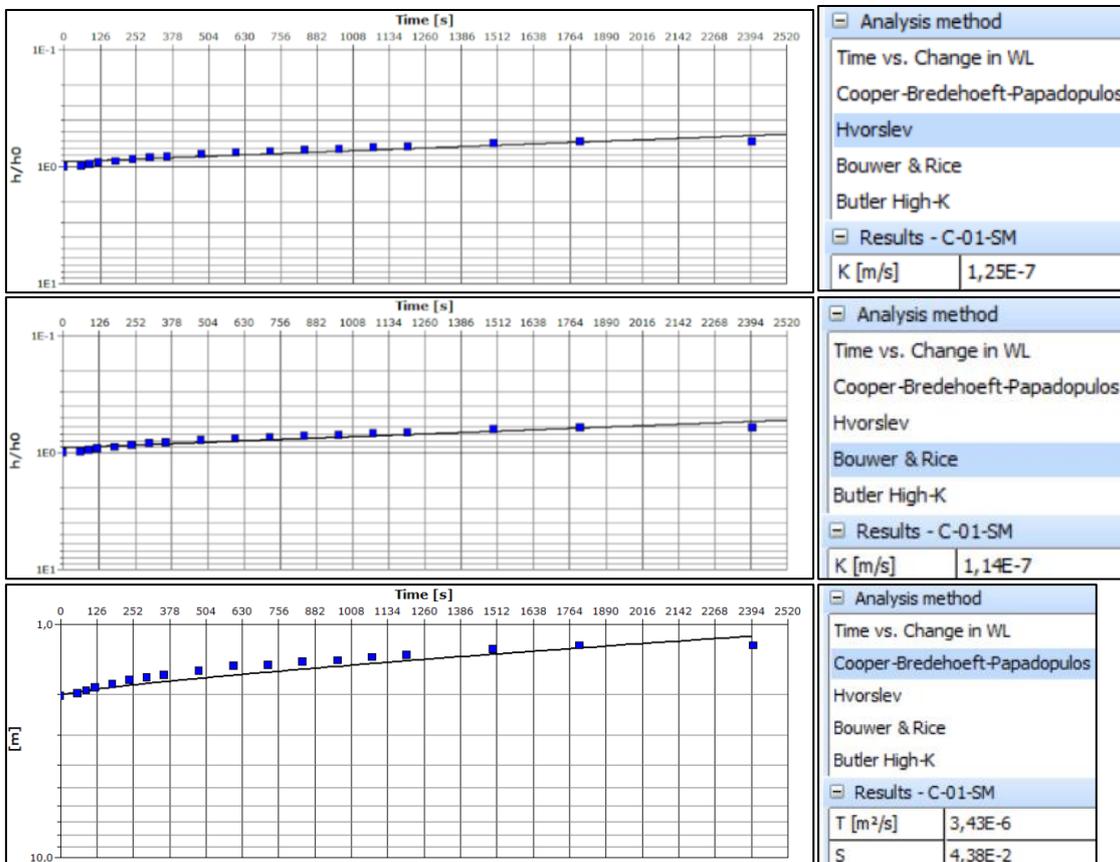


POÇO – C-01-ALS(2)

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

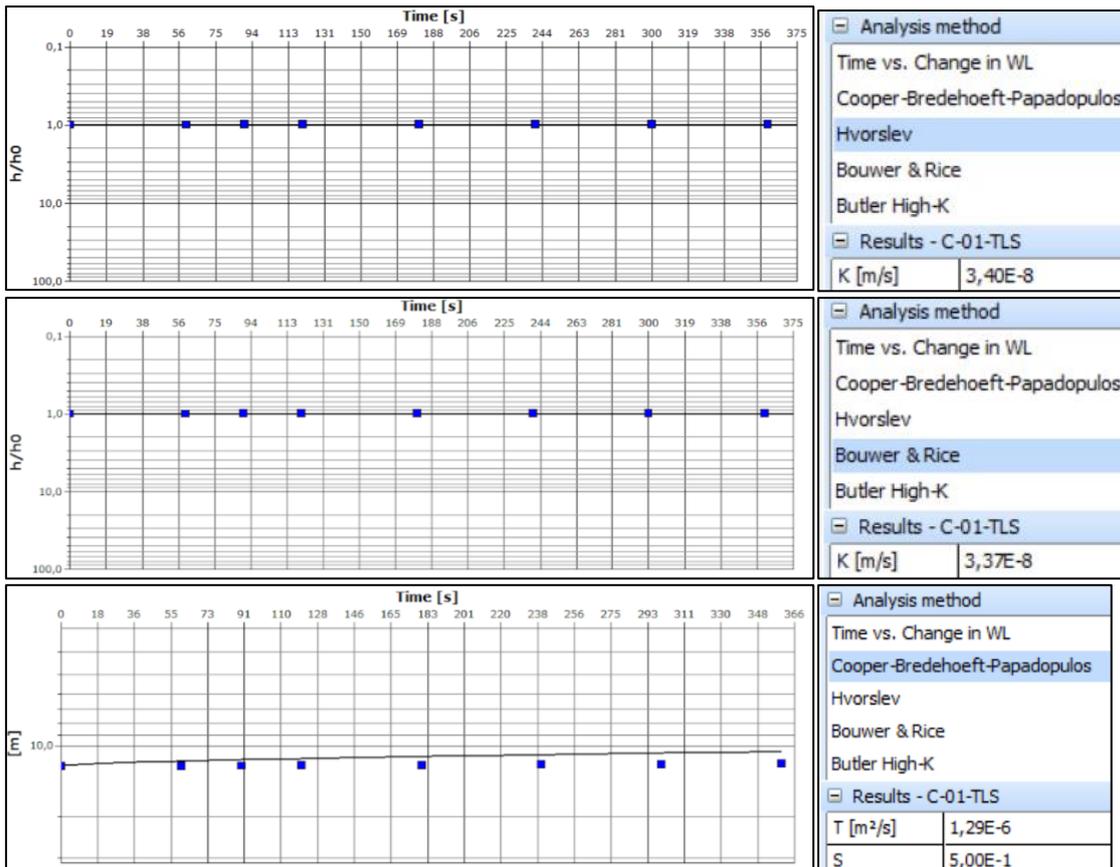


POÇO – C-01-SACB

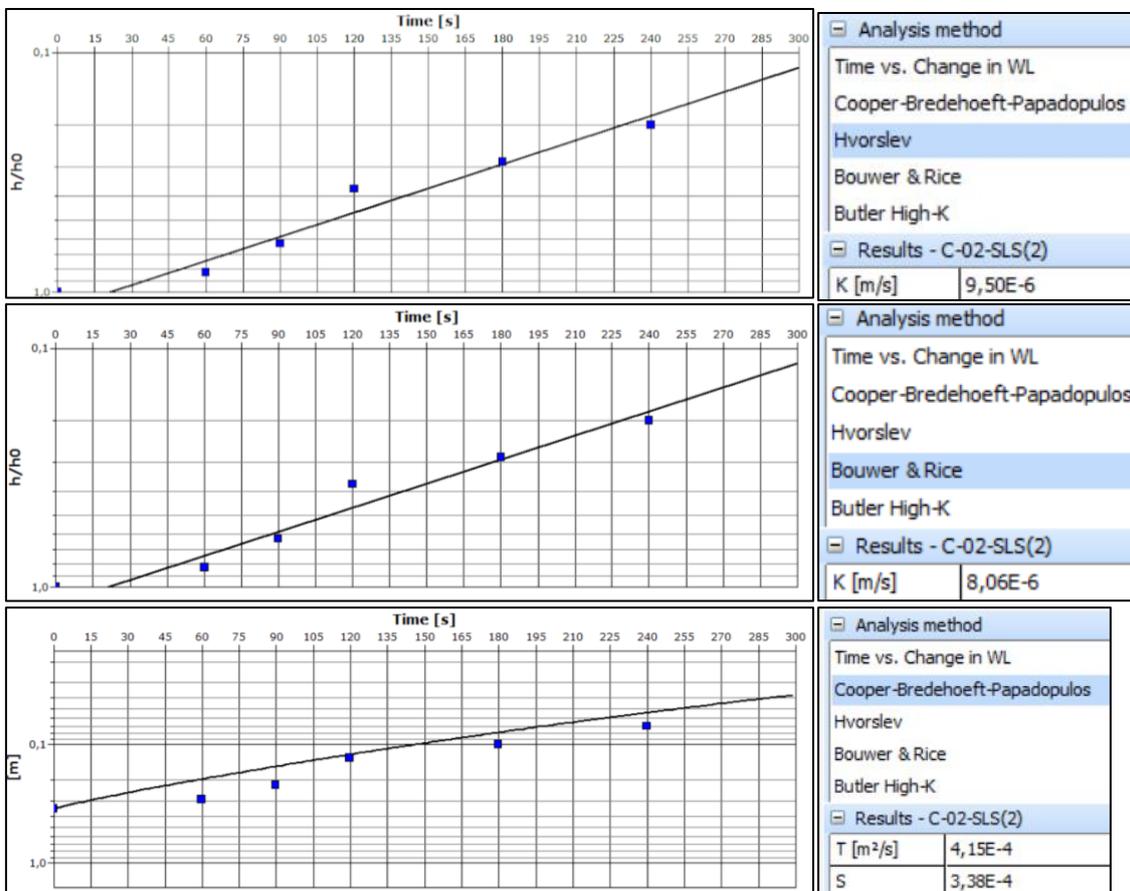


POÇO – C-01-SM

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

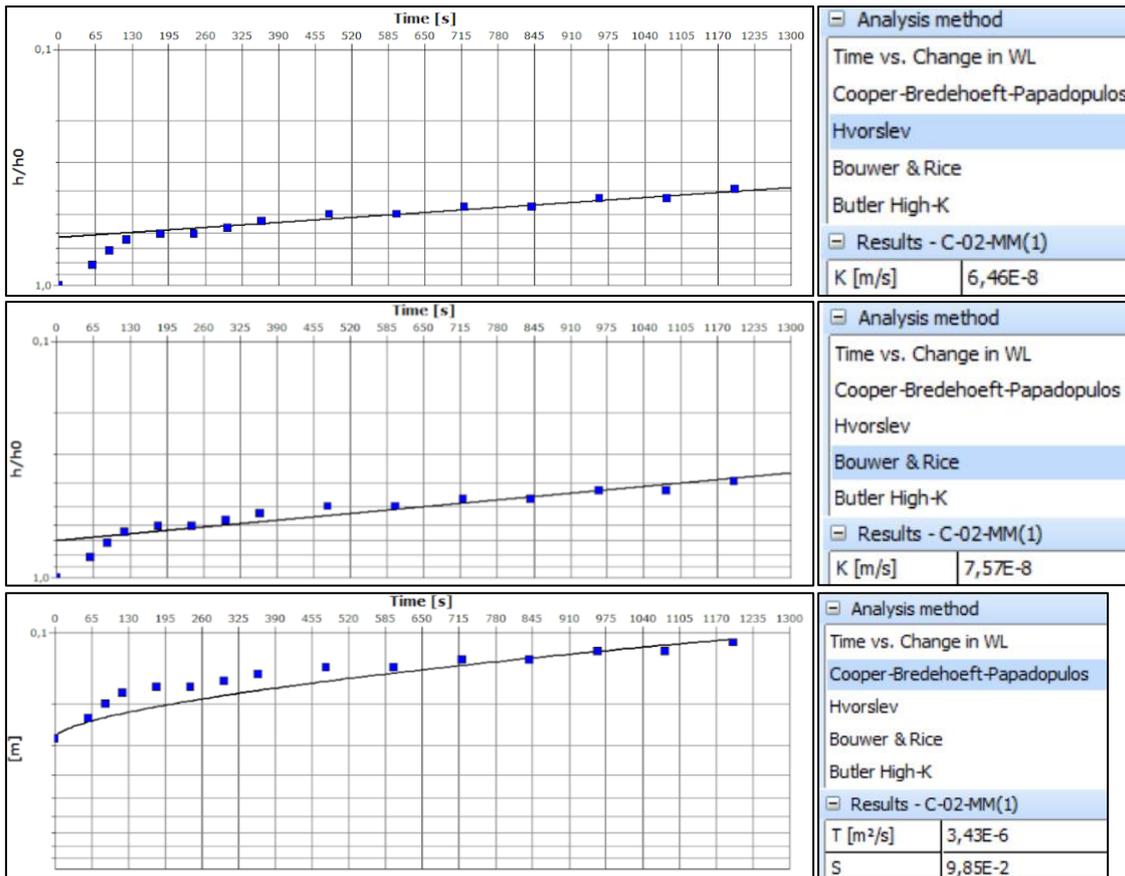


POÇO – C-01-TLS

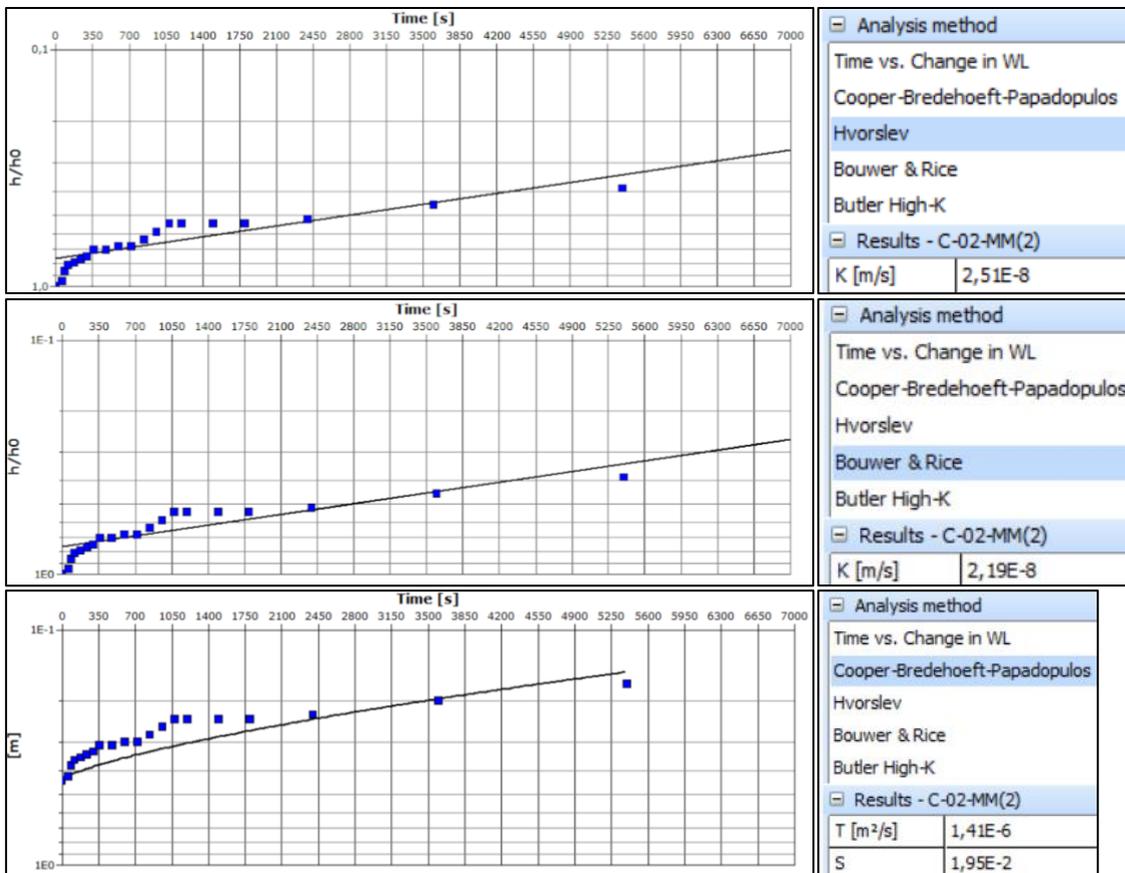


POÇO – C-02-SLS(2)

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

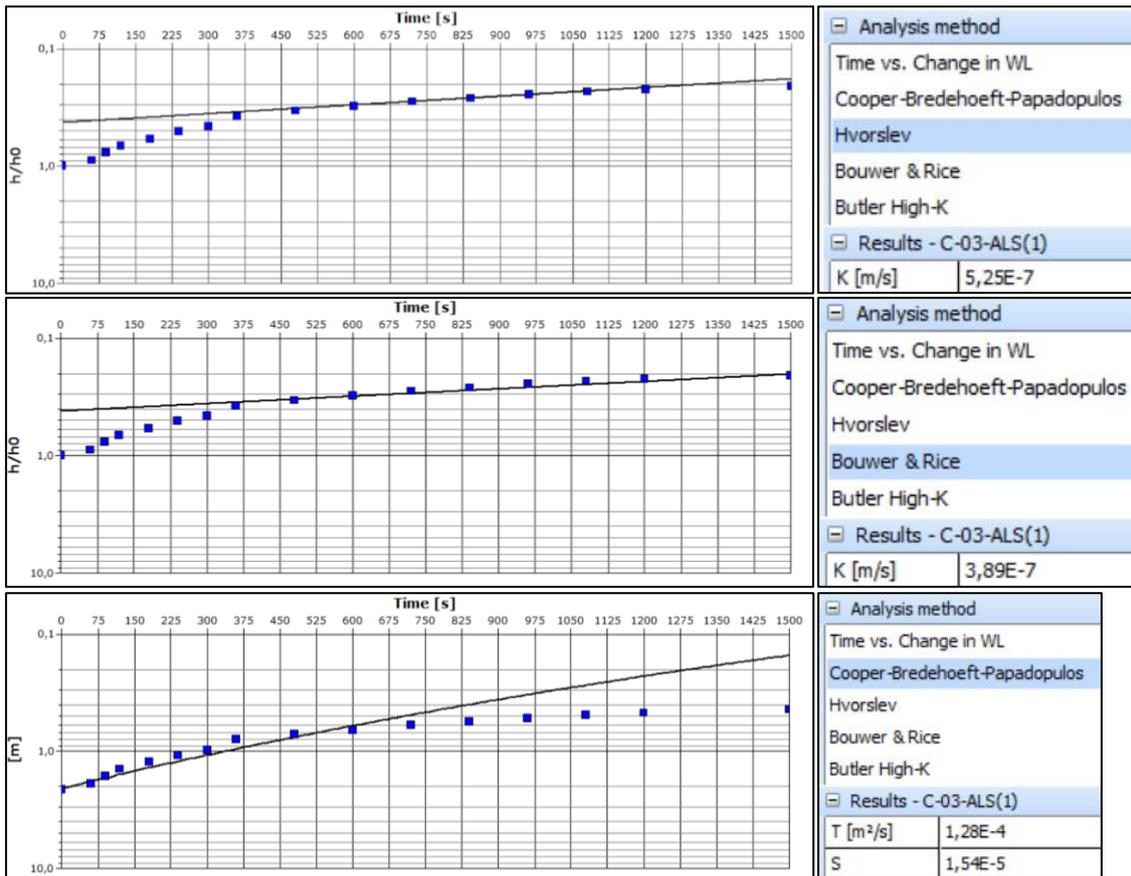


POÇO – C-02-MM(1)

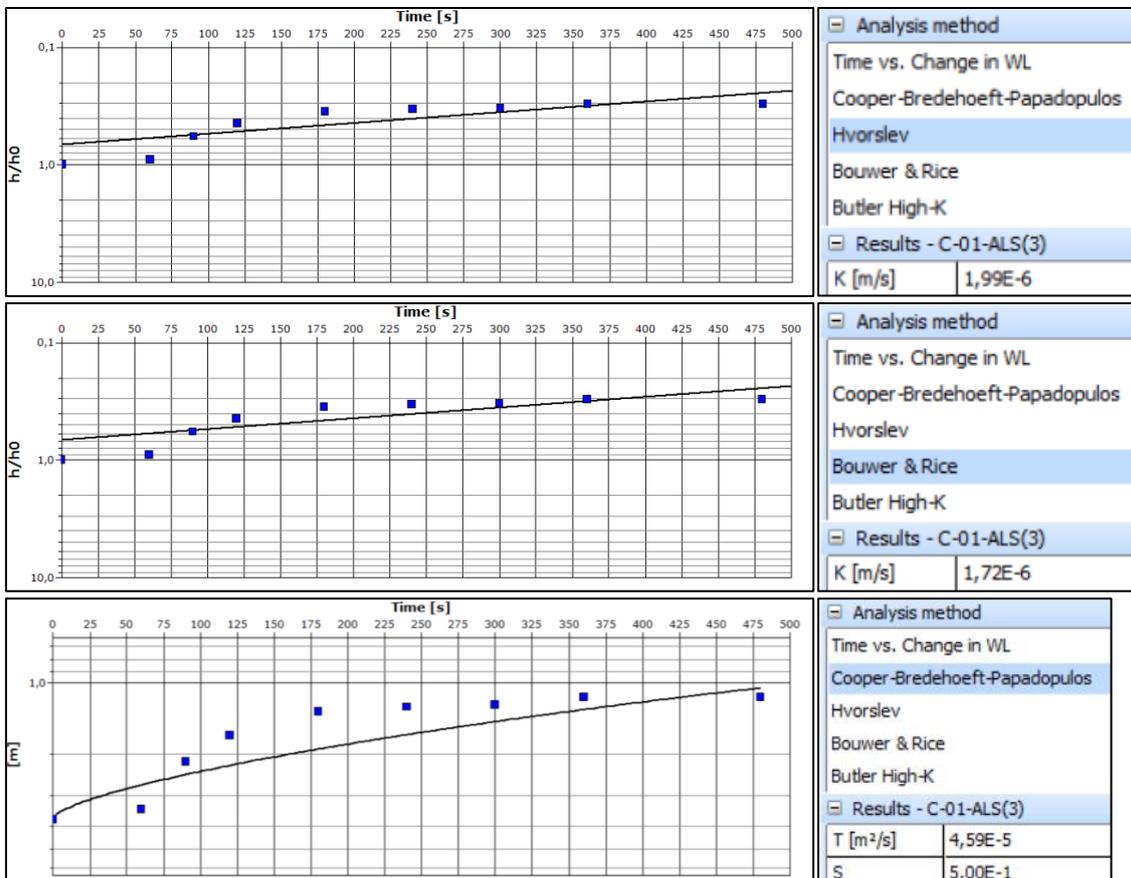


POÇO – C-02-MM(2)

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

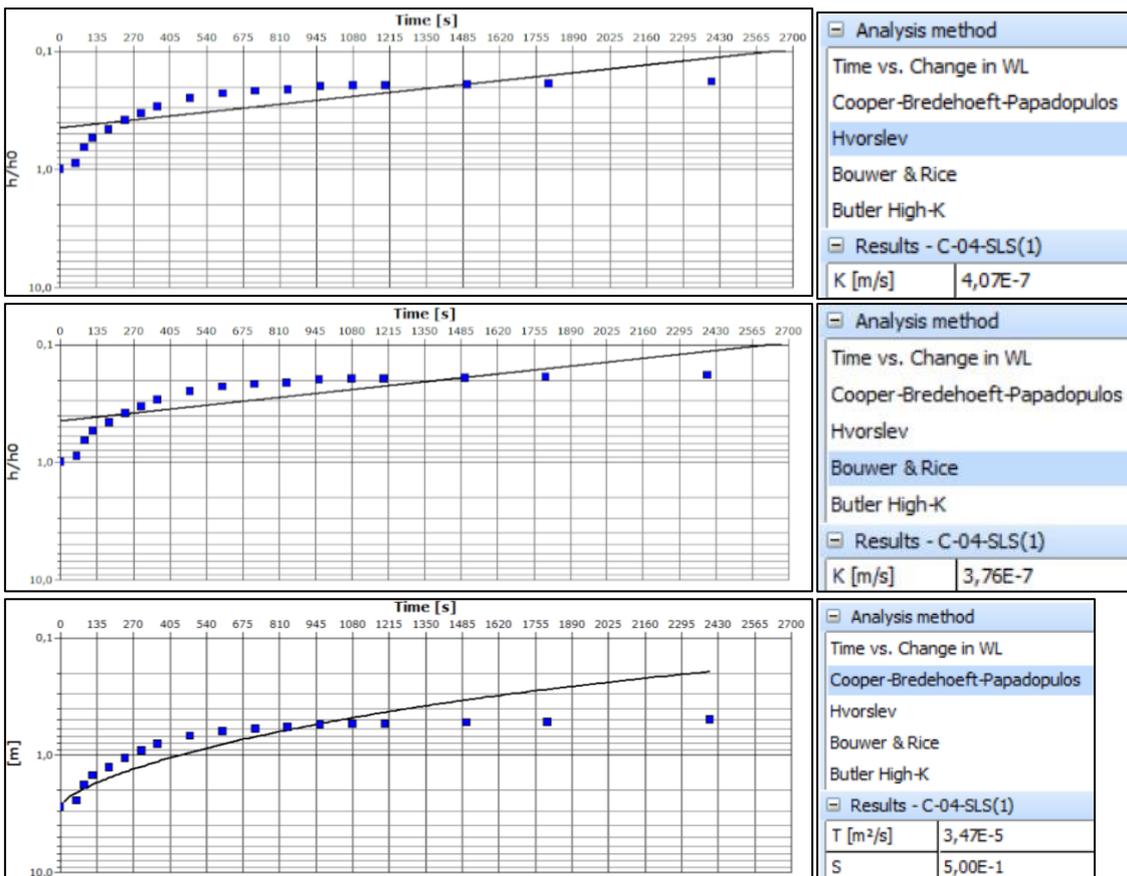


POÇO – C-03-ALS(1)

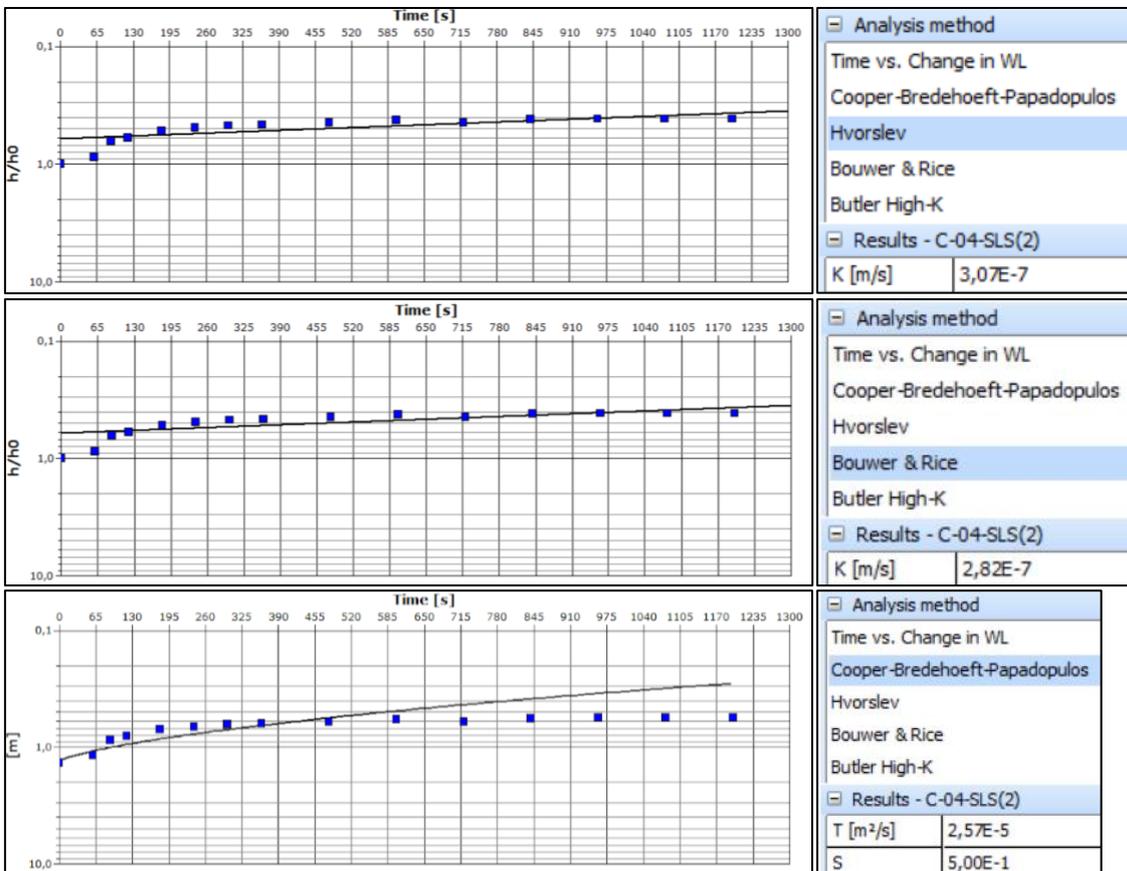


POÇO – C-01-ALS(3)

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

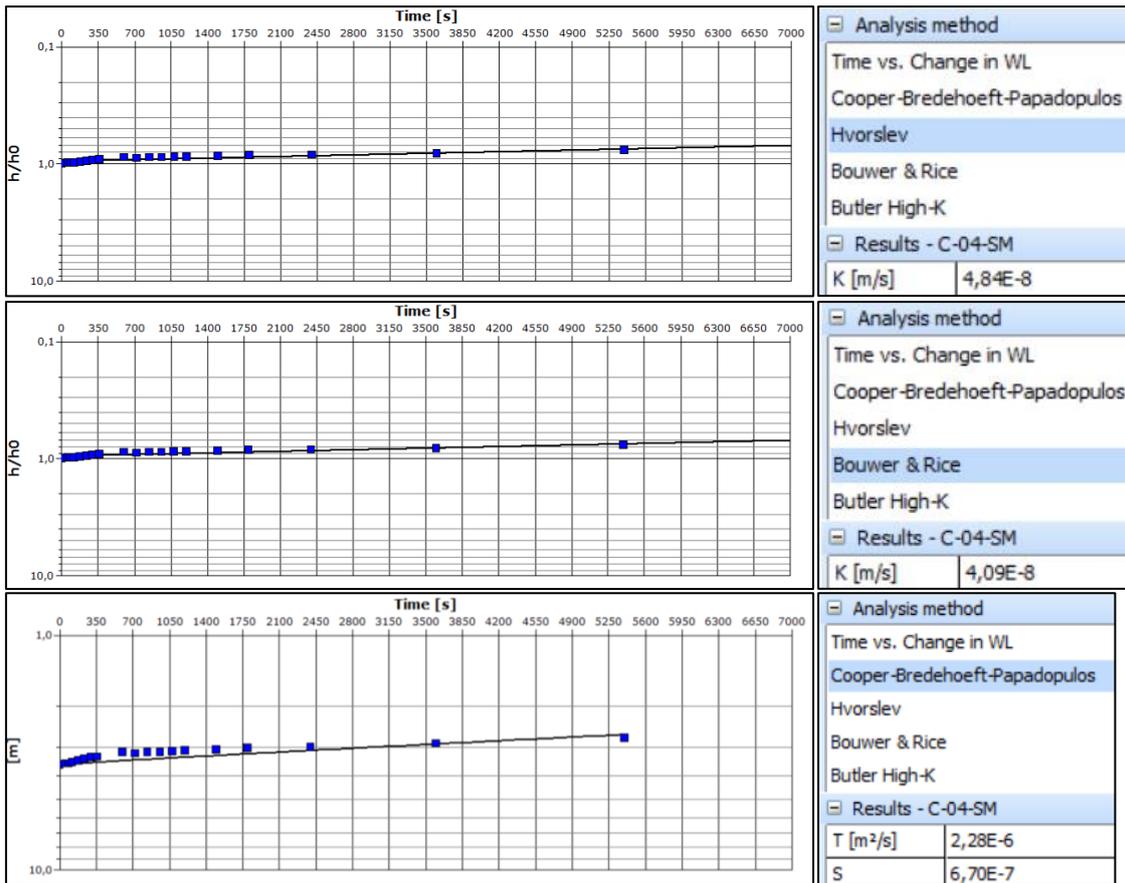


POÇO – C-04-SLS(1)

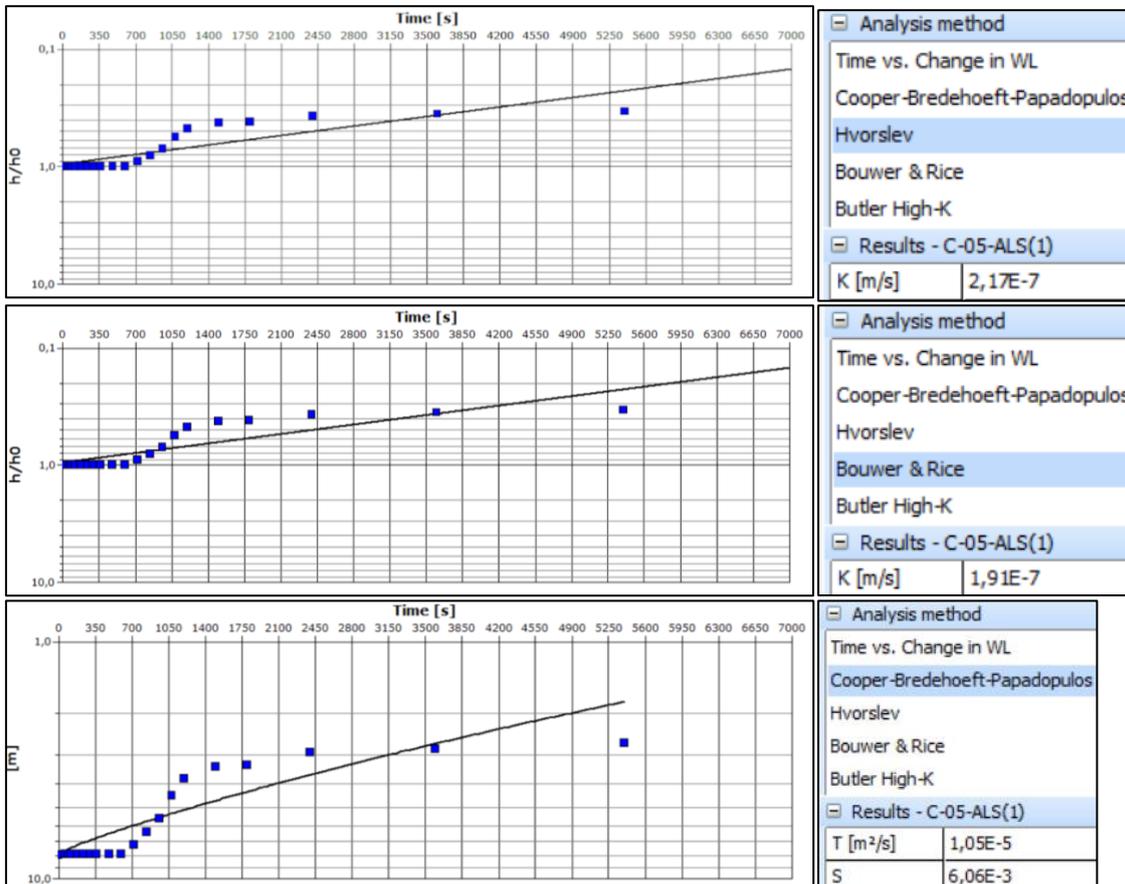


POÇO – C-04-SLS(2)

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

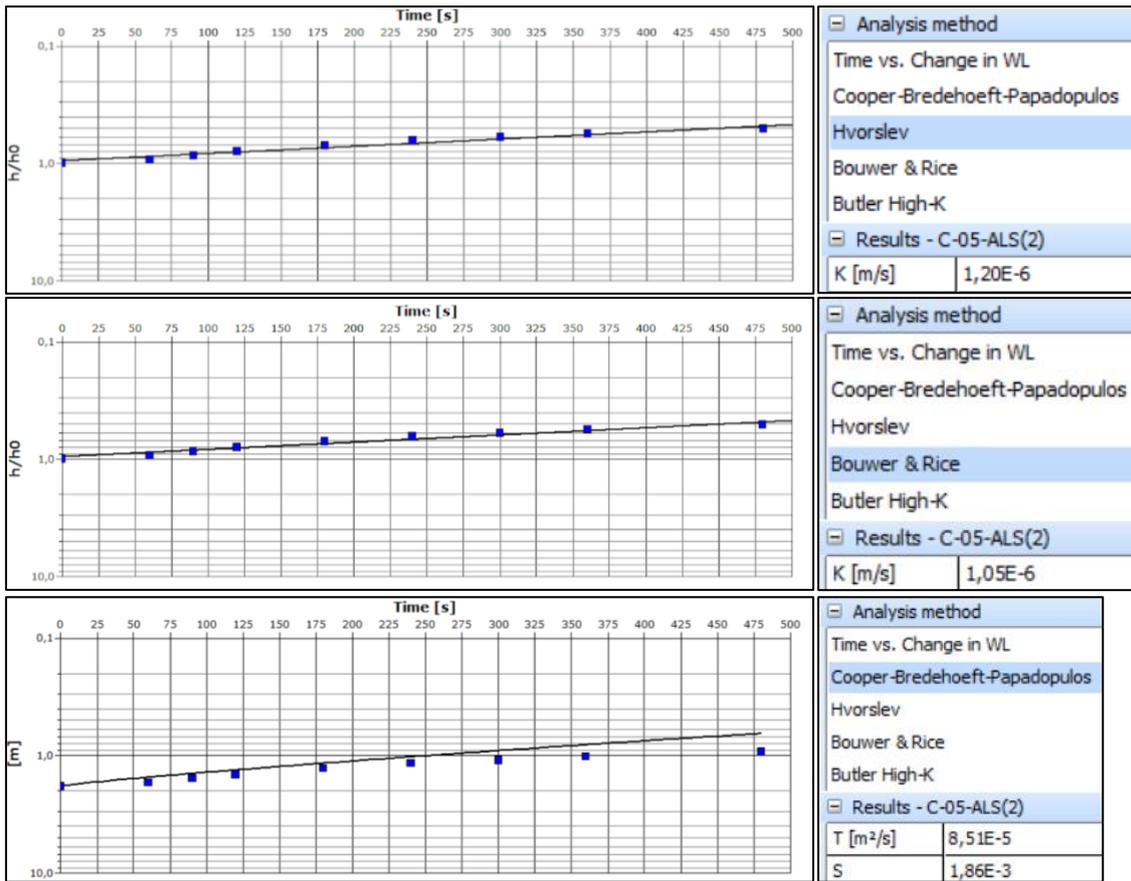


POÇO – C-04-SM

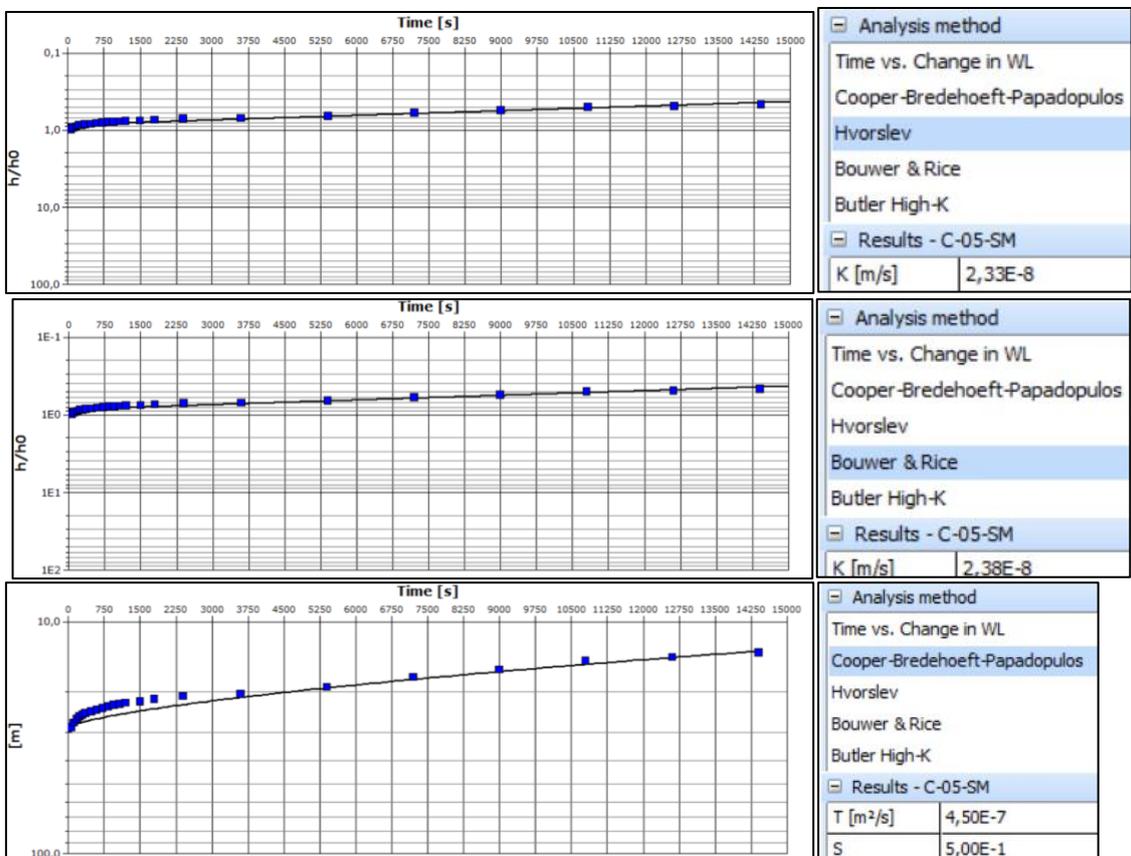


POÇO – C-05-ALS(1)

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

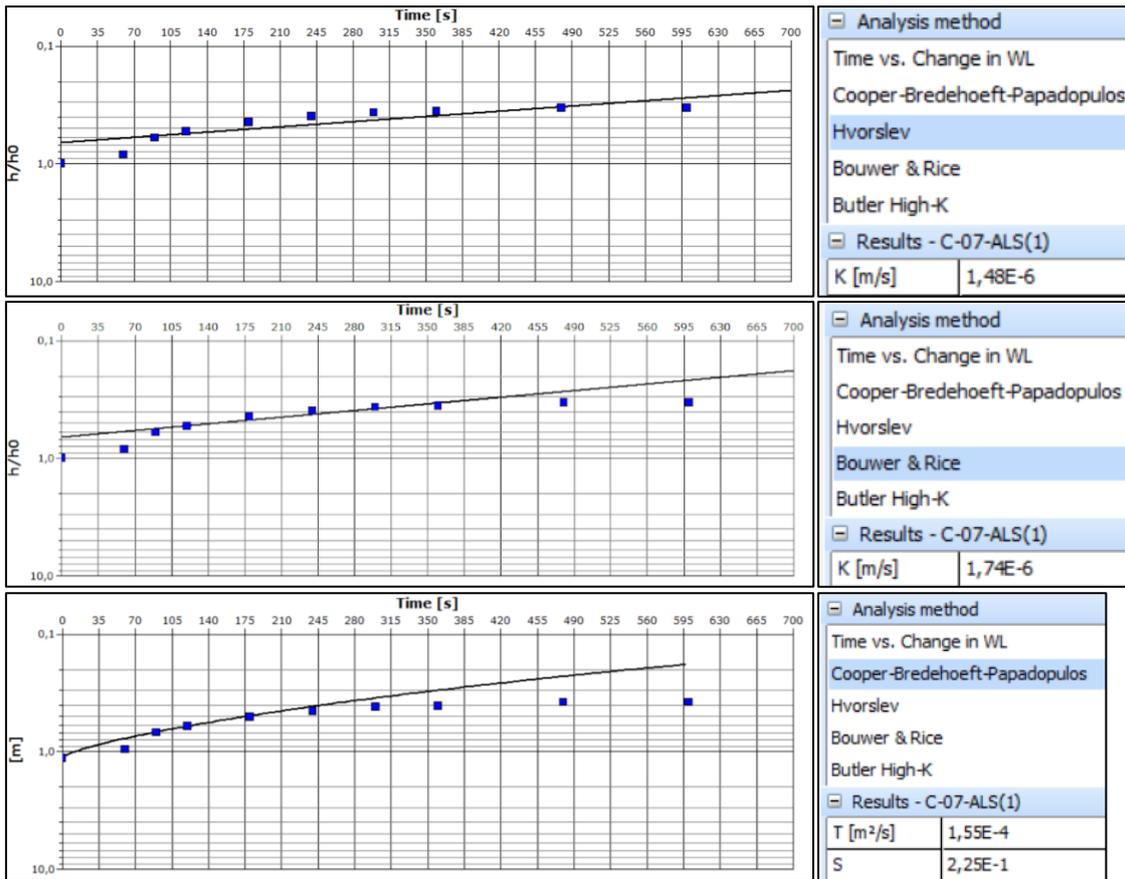


POÇO – C-05-ALS(2)

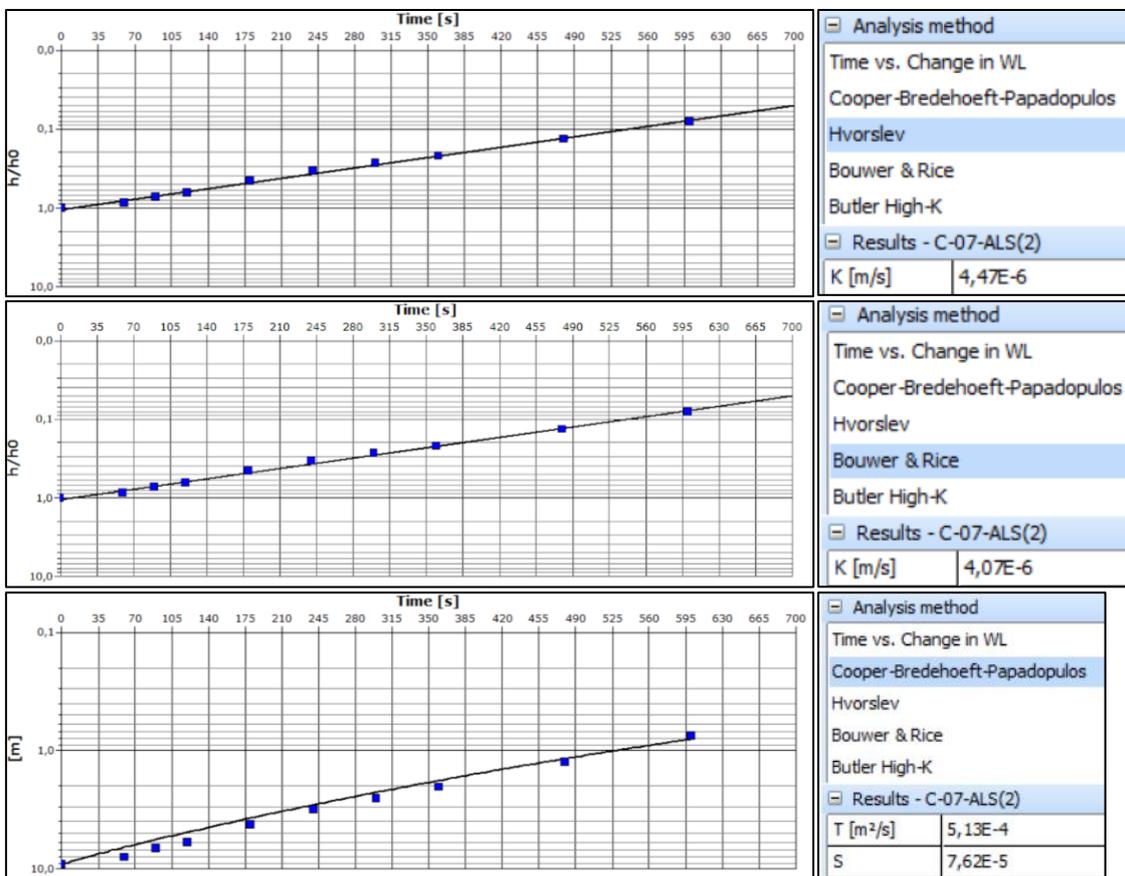


POÇO – C-05-SM

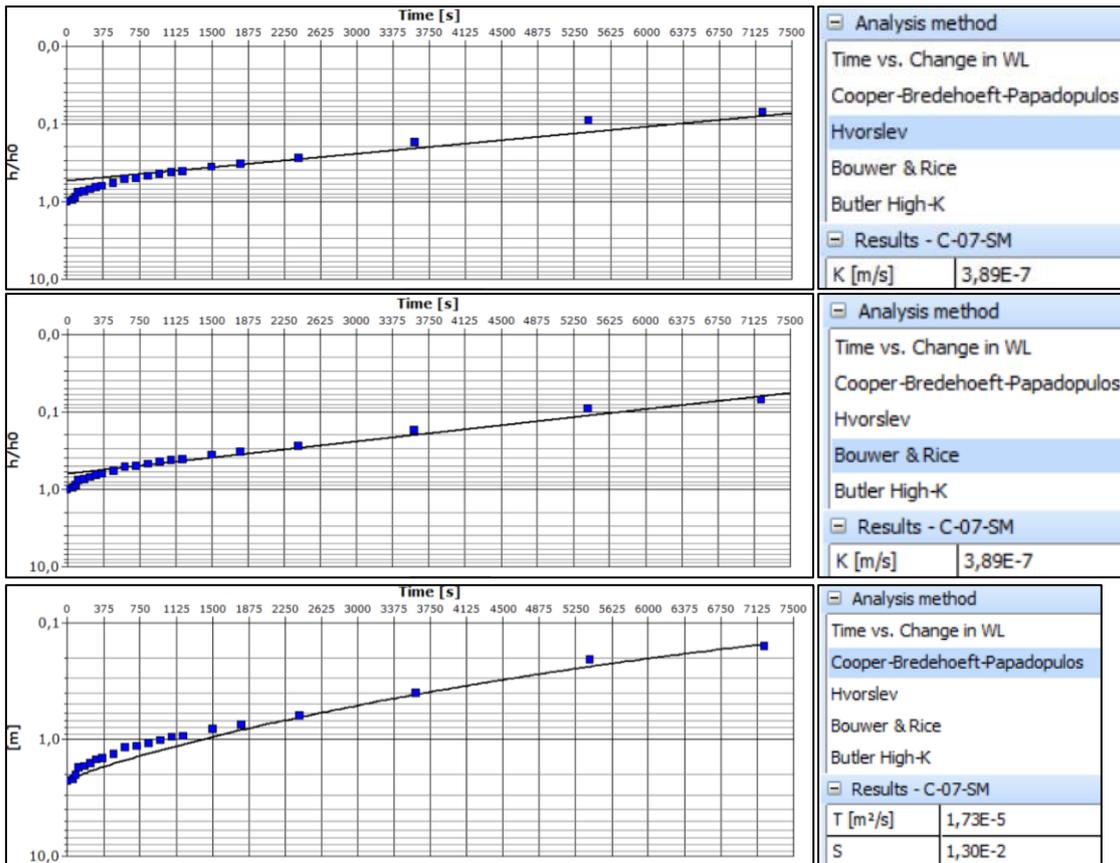
APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS



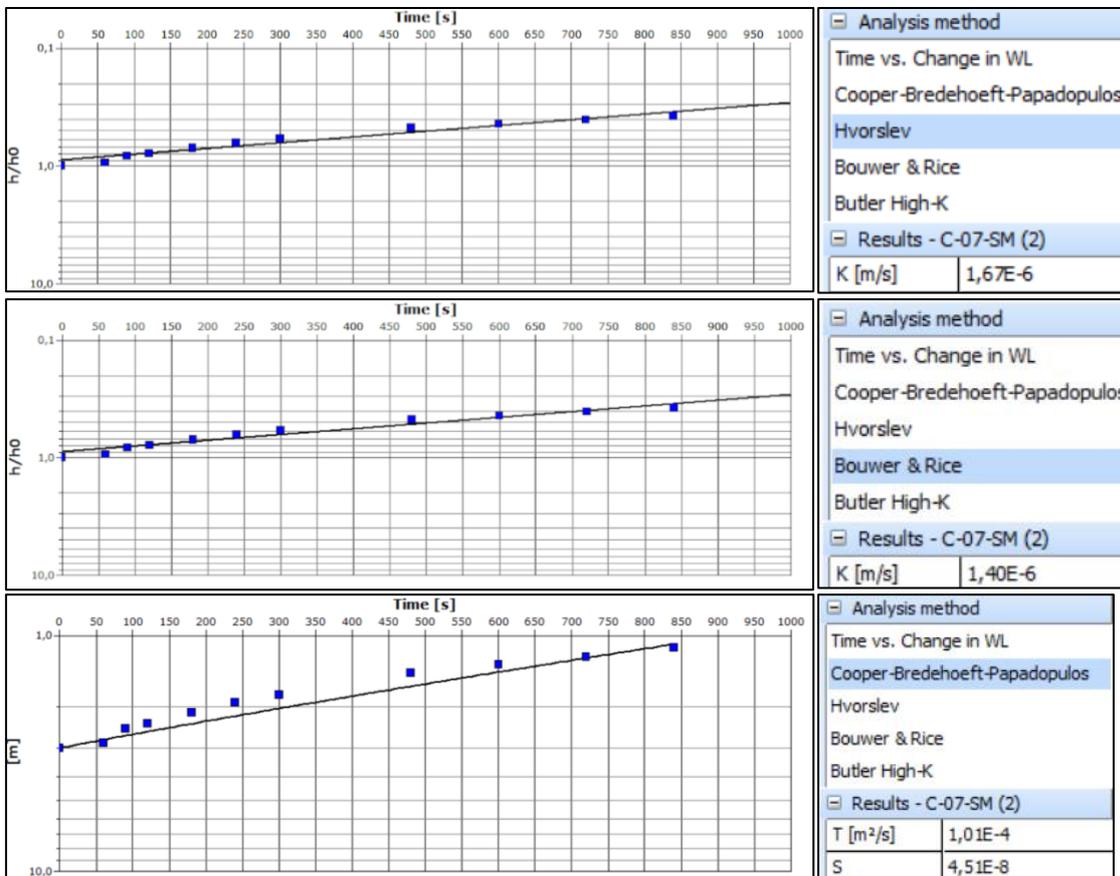
POÇO – C-07-ALS(1)



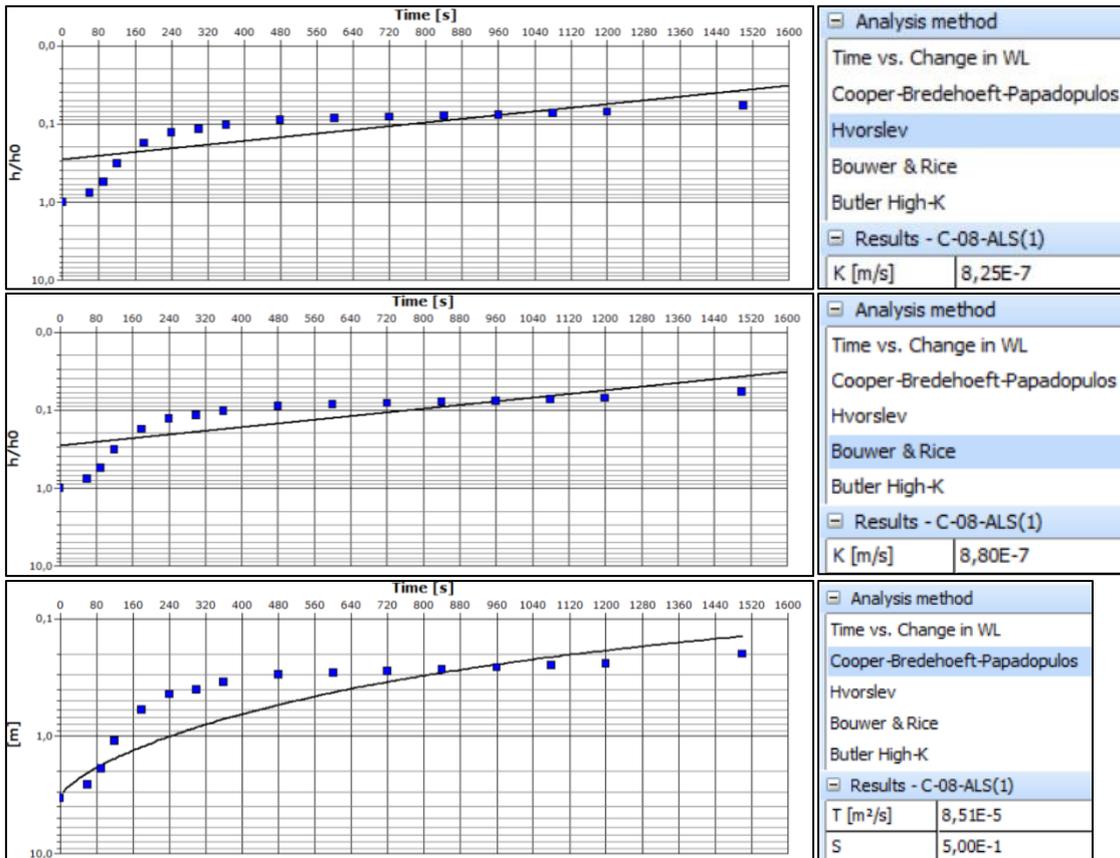
POÇO – C-07-ALS(2)



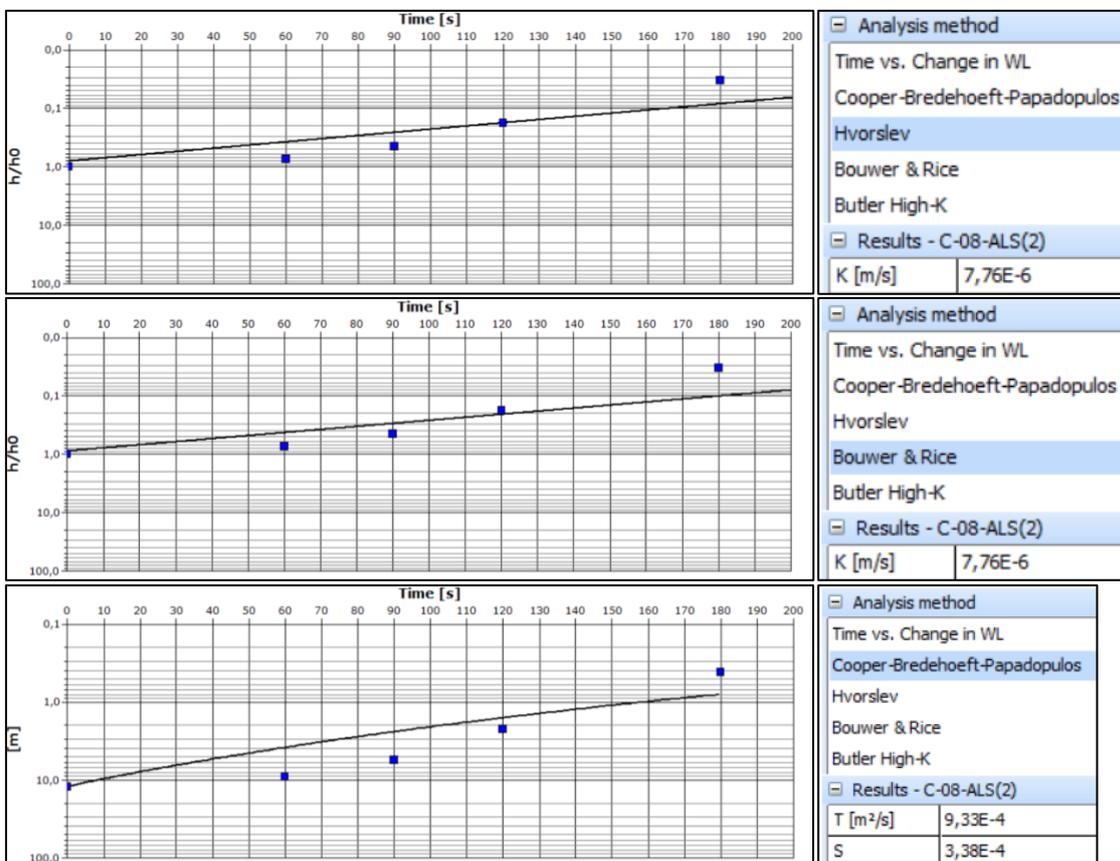
POÇO – C-07-SM(1)



POÇO – C-07-SM(2)

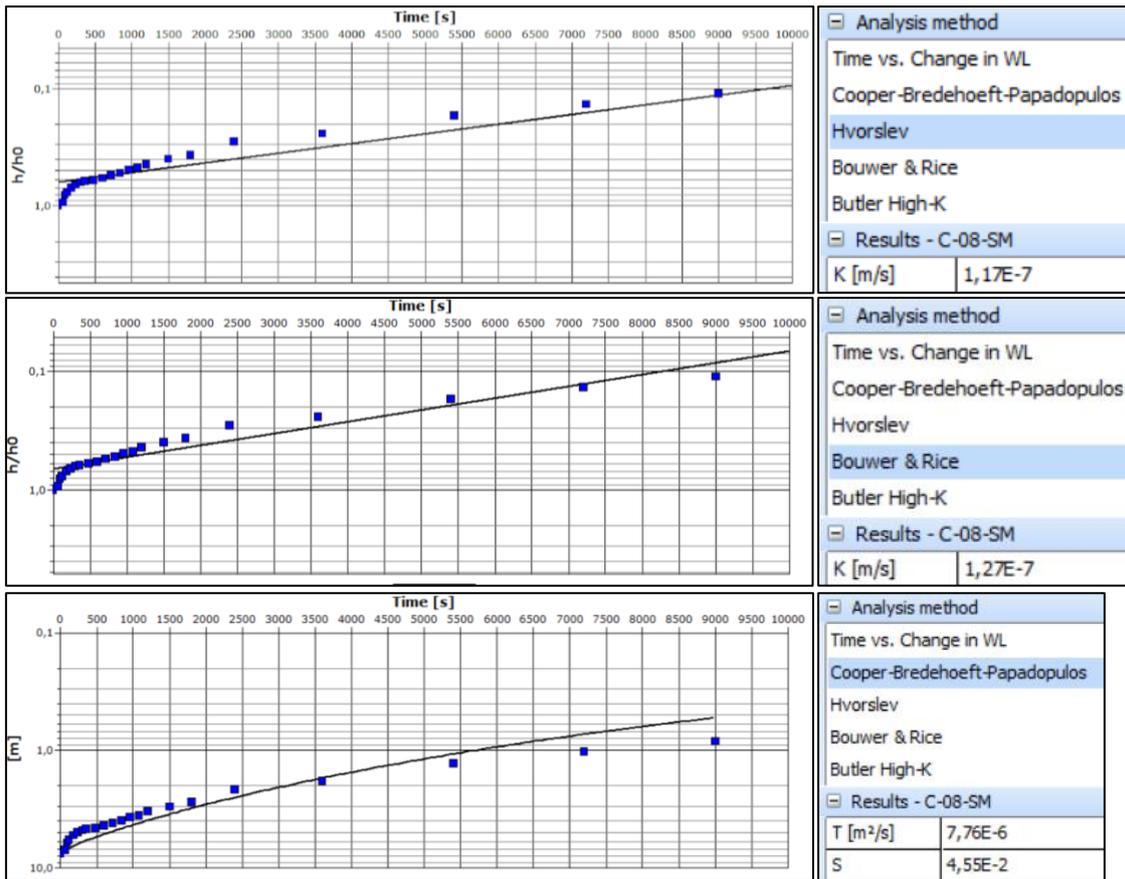


POÇO – C-08-ALS(1)

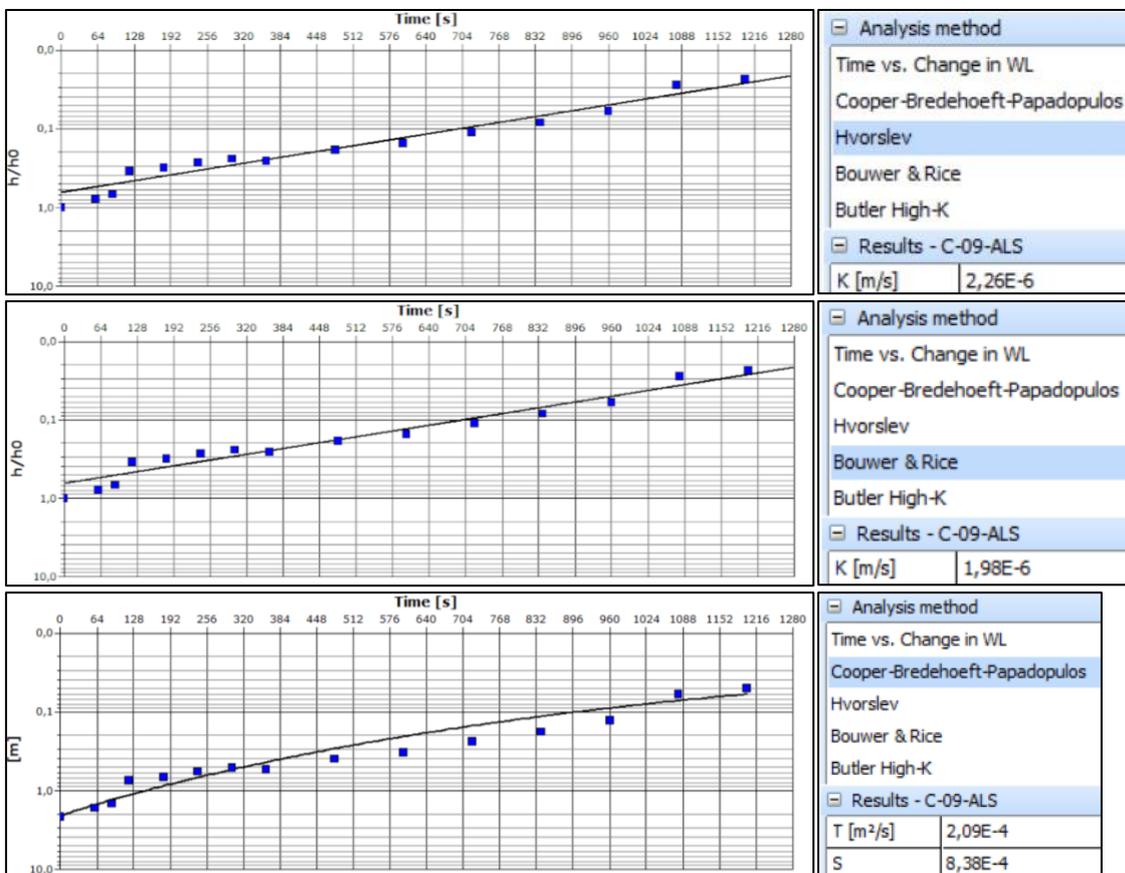


POÇO – C-08-ALS(2)

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

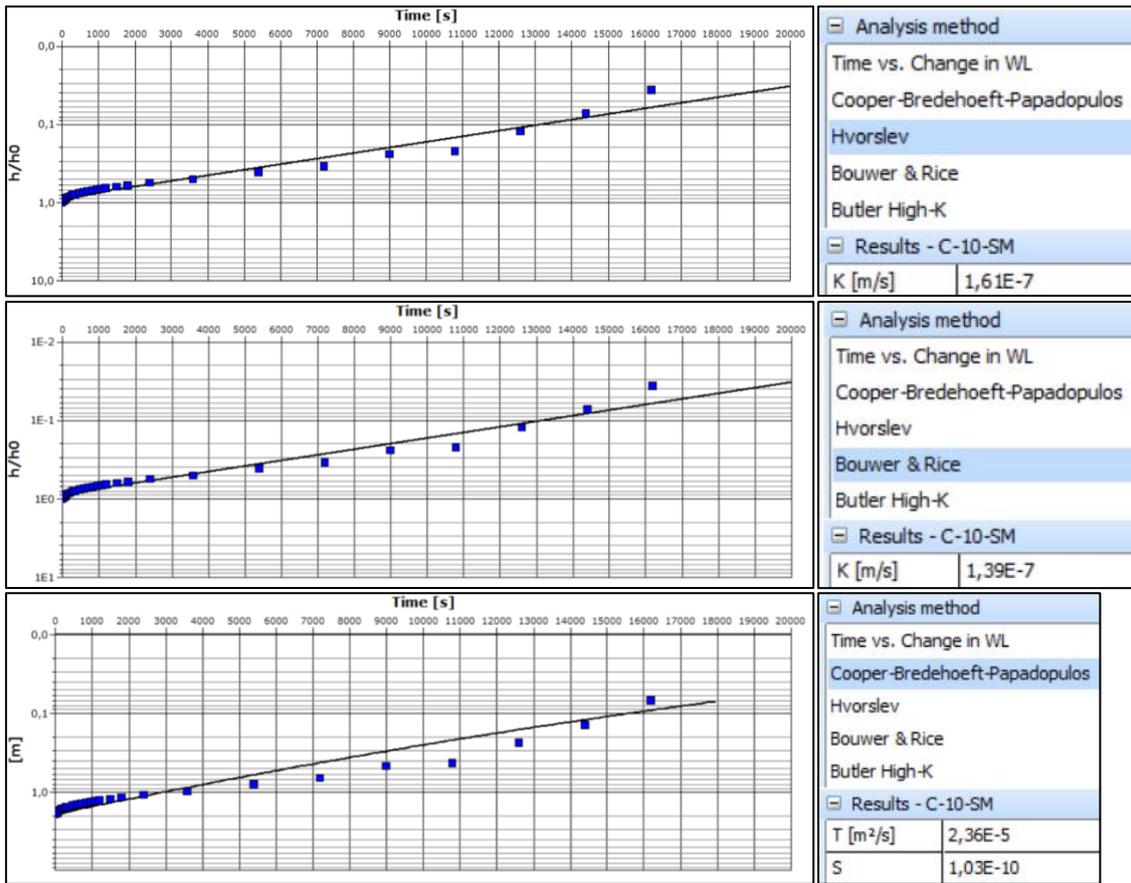


POÇO – C-08-SM

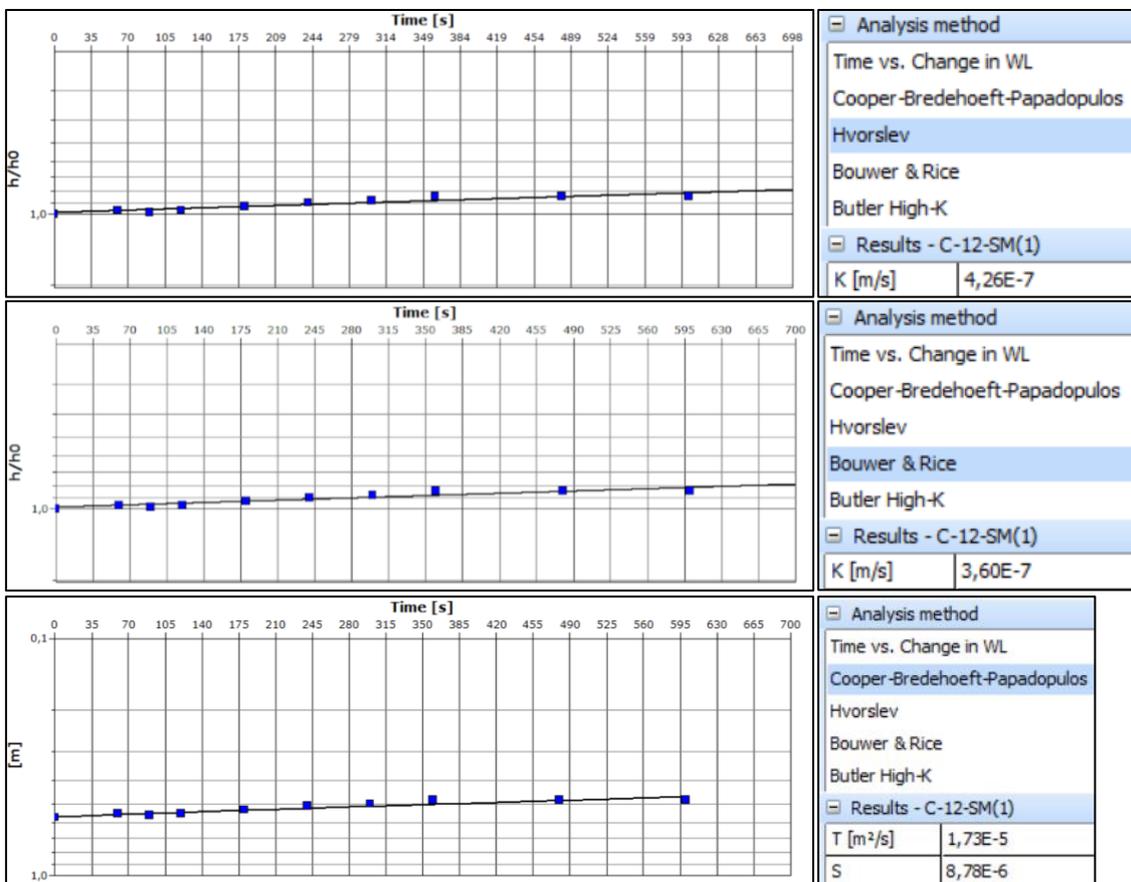


POÇO – C-09-ALS

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

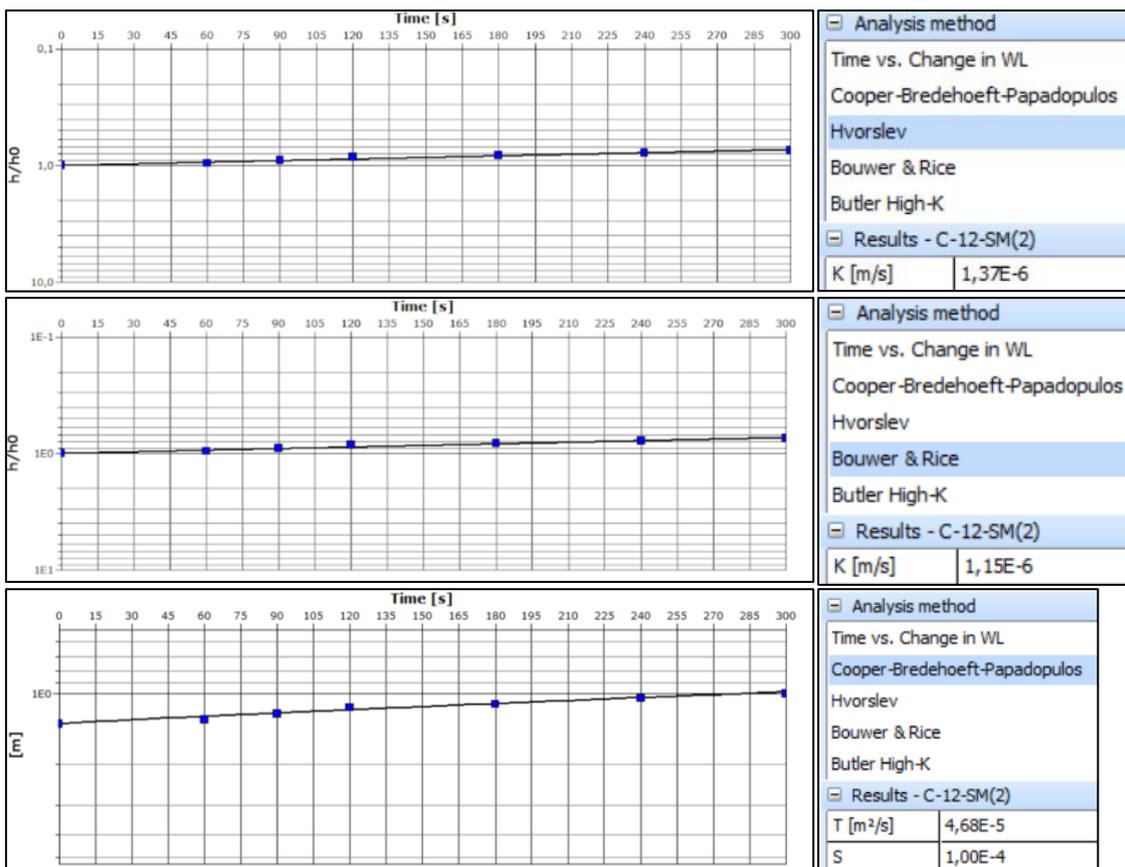


POÇO – C-10-SM

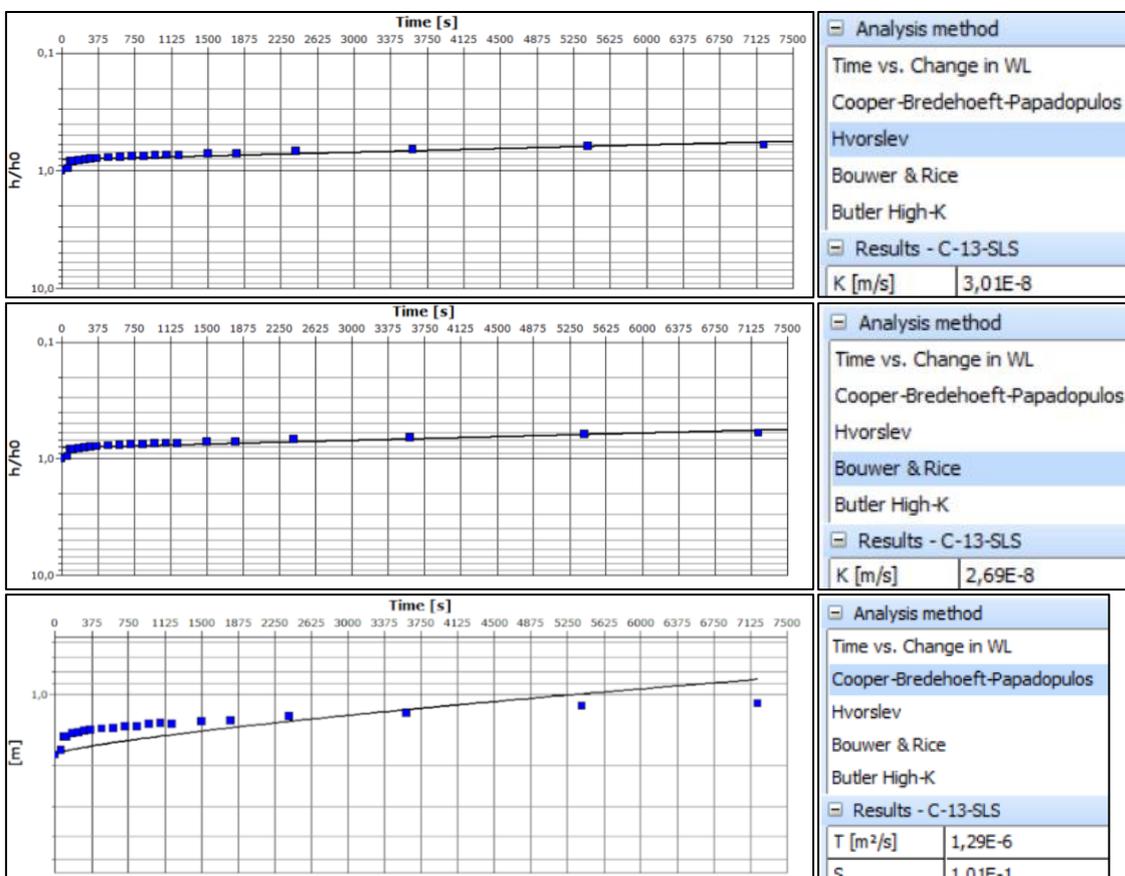


POÇO – C-12-SM(1)

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

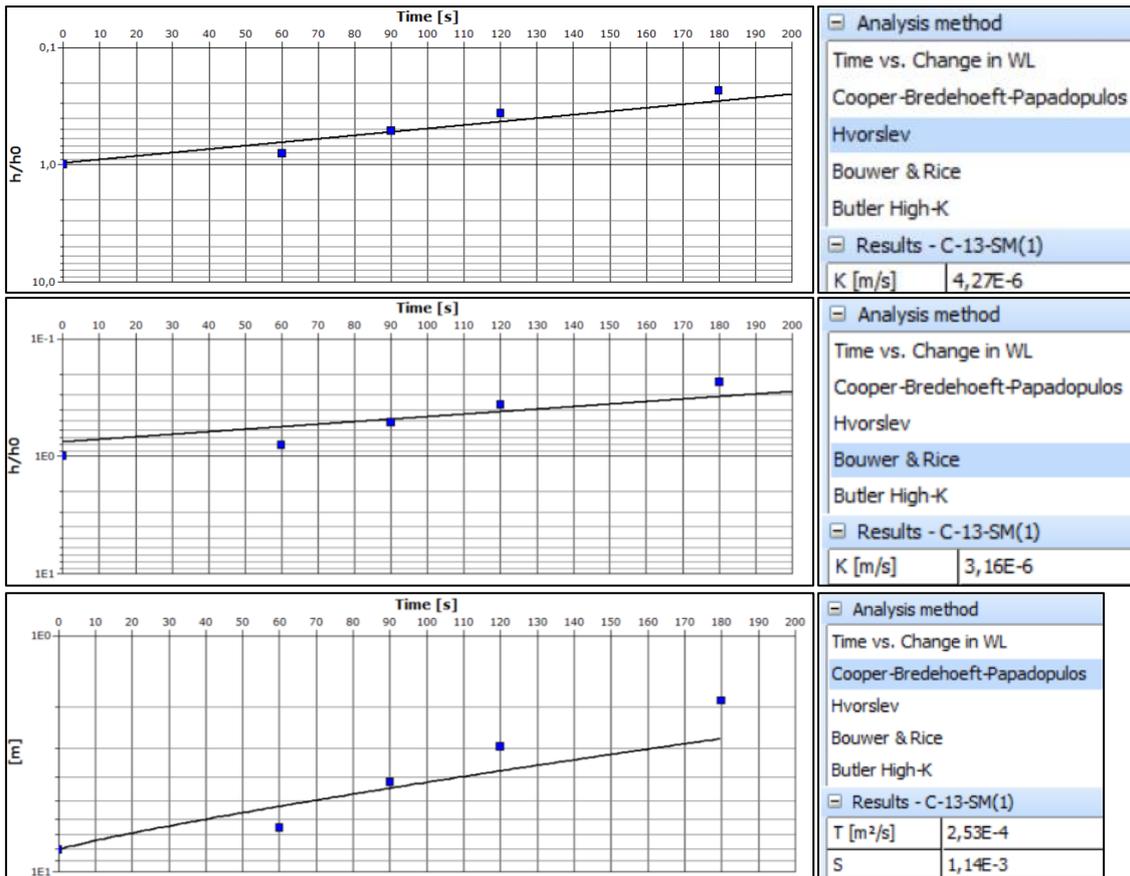


POÇO – C-12-SM(2)

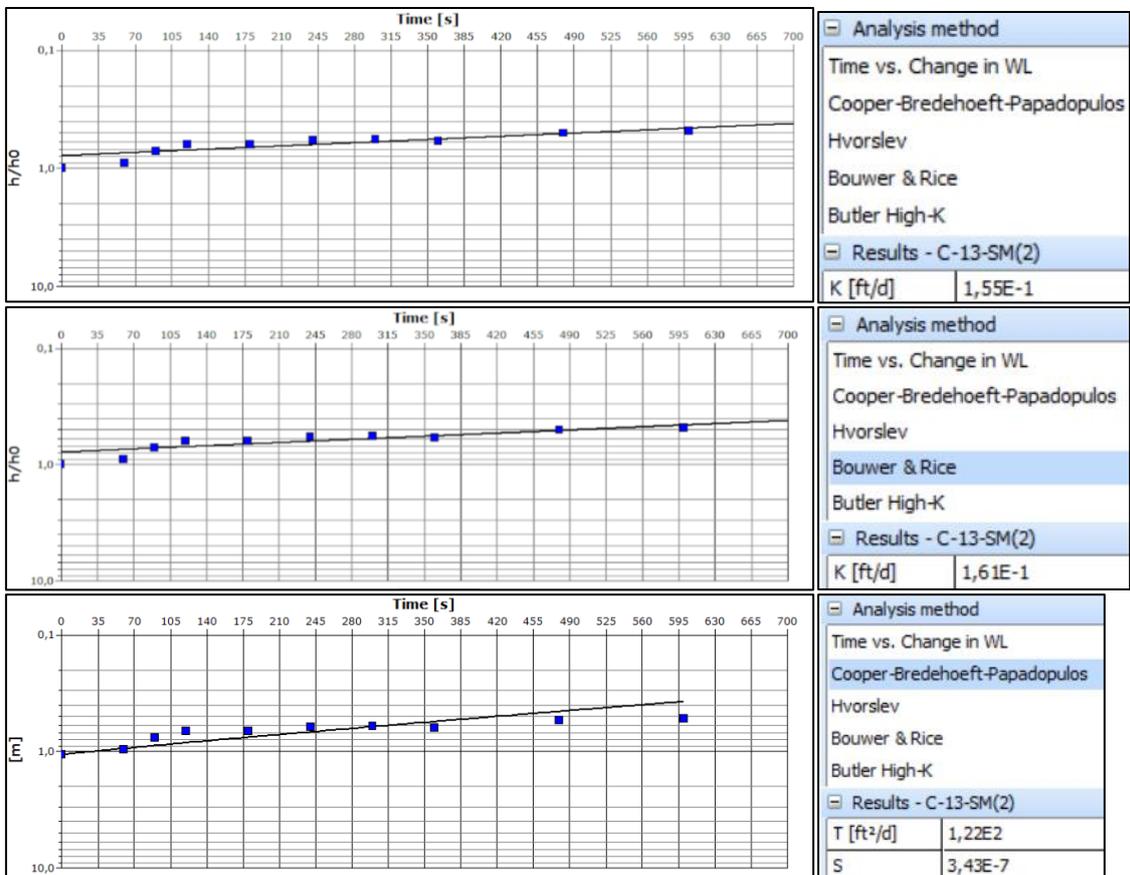


POÇO – C-13-SLS

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

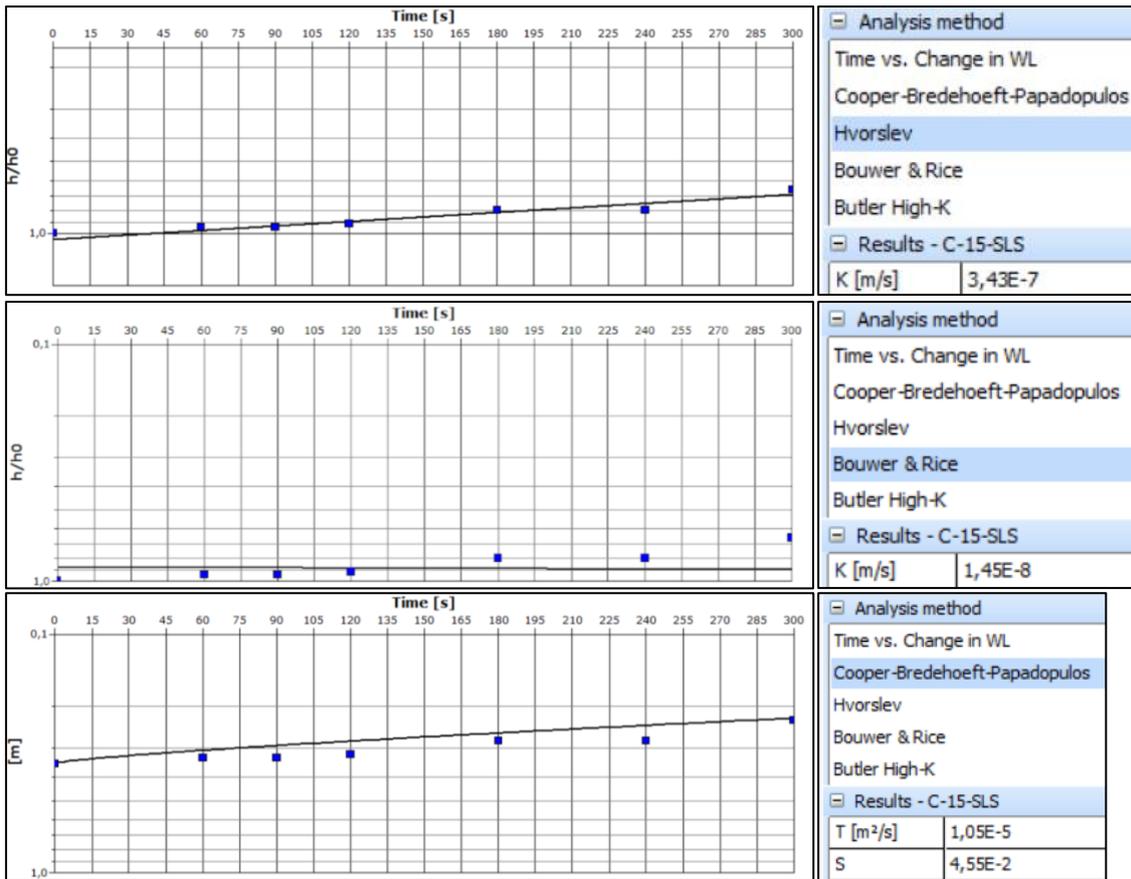


POÇO – C-13-SM(1)

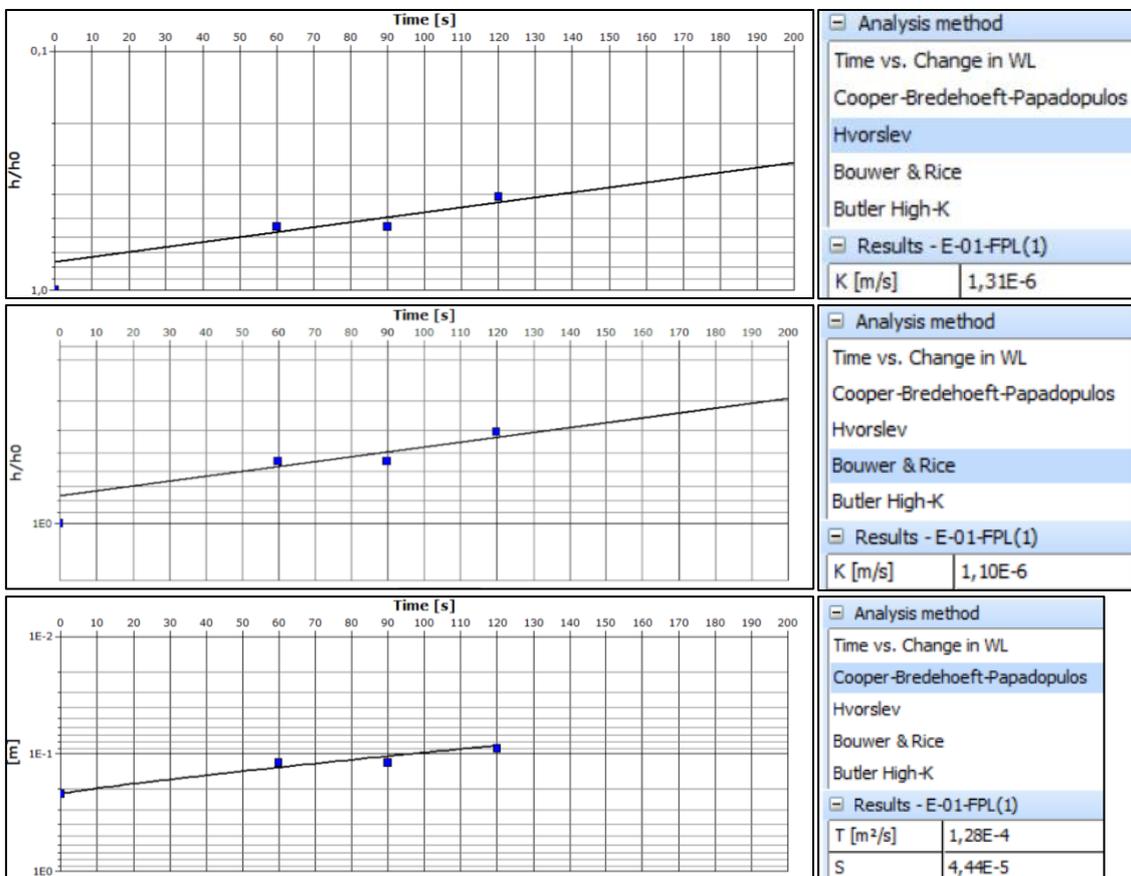


POÇO – C-13-SM(2)

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

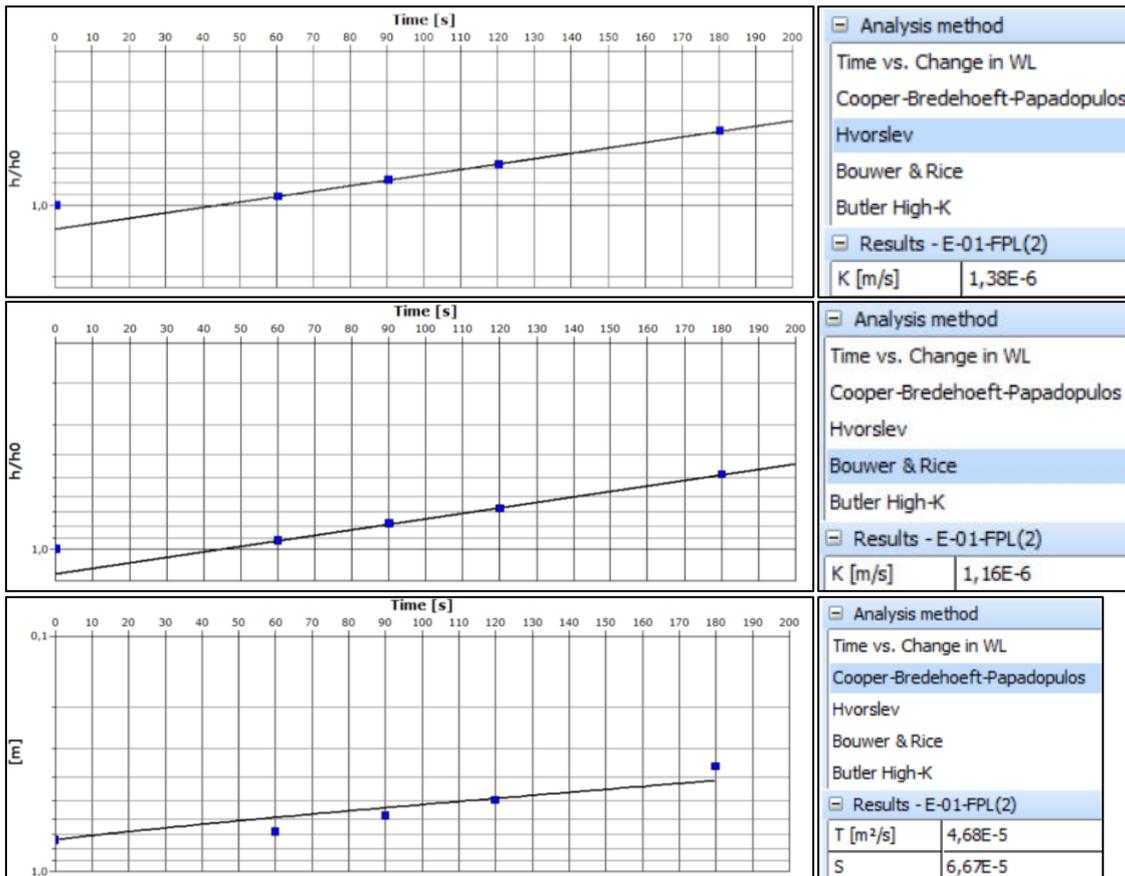


POÇO – C-15-SLS

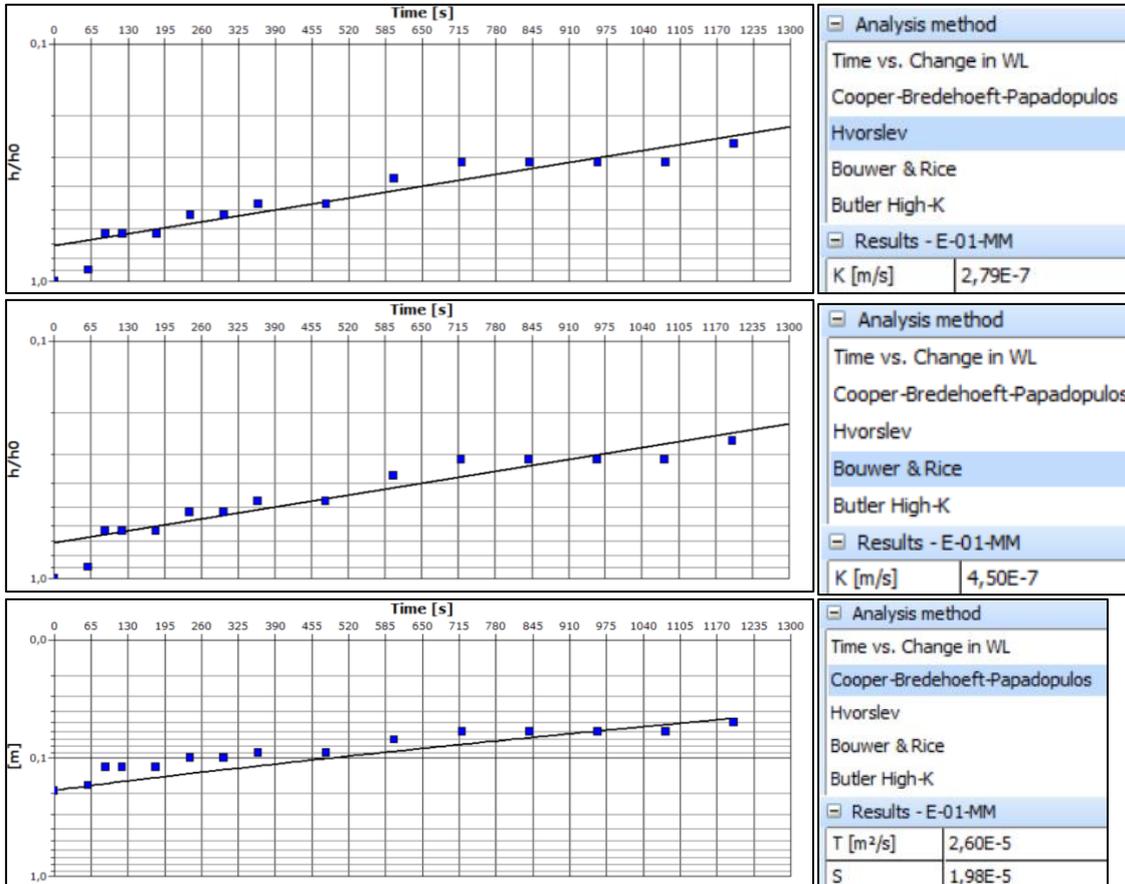


POÇO – E-01-FPL(1)

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

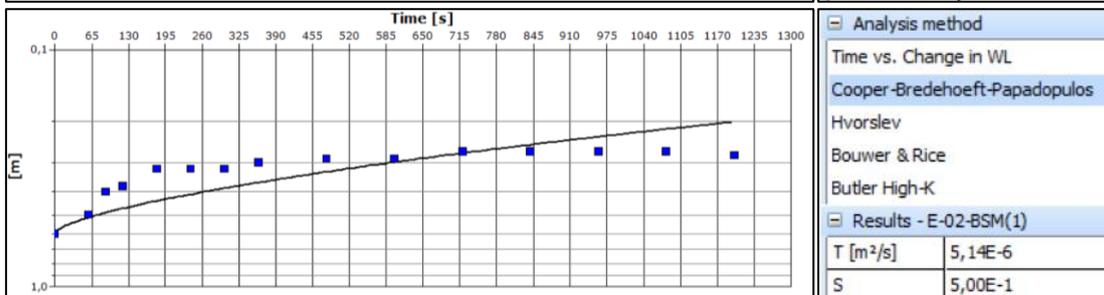
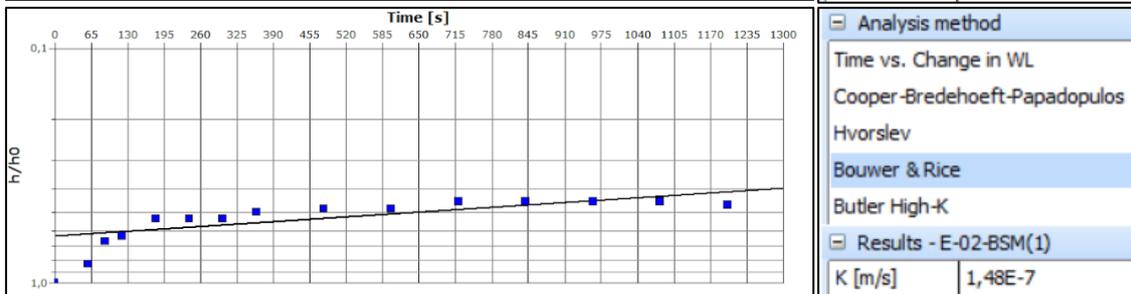
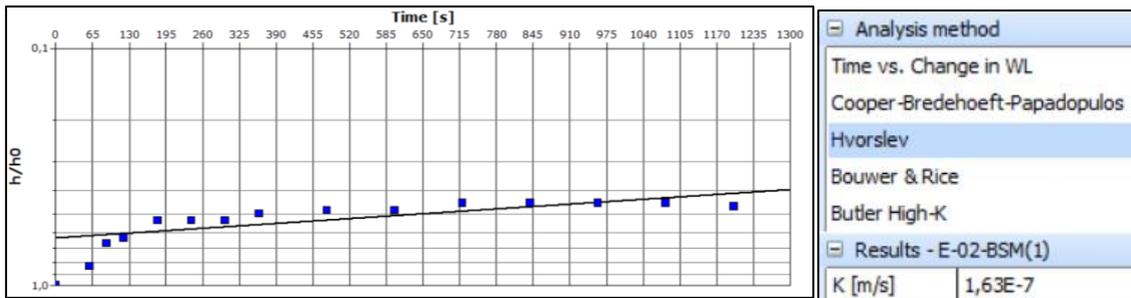


POÇO – E-01-FPL(2)

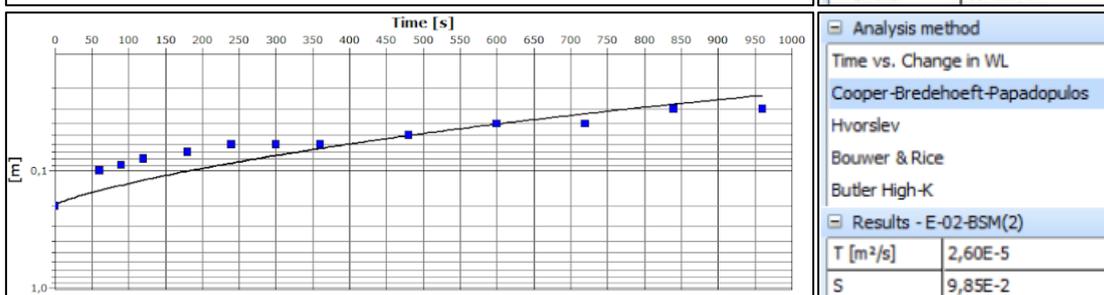
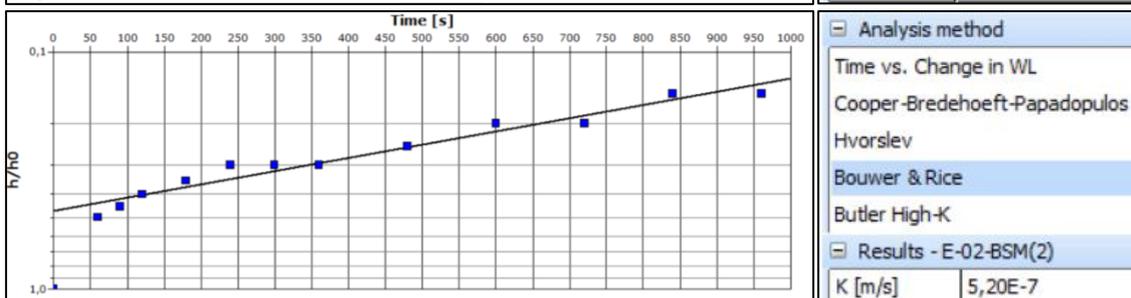
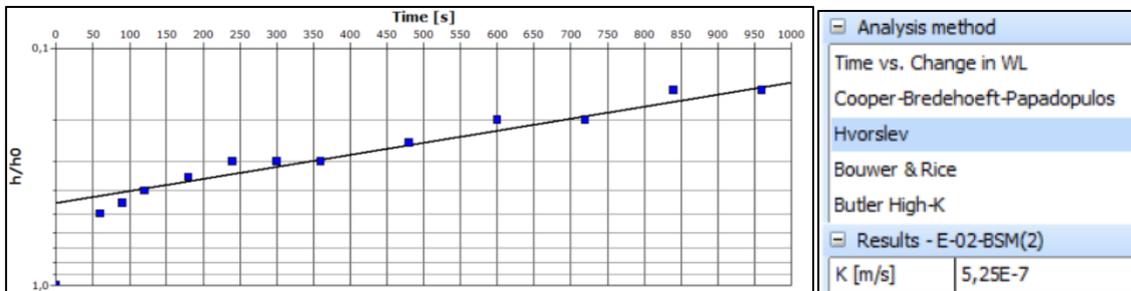


POÇO – E-01-MM

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

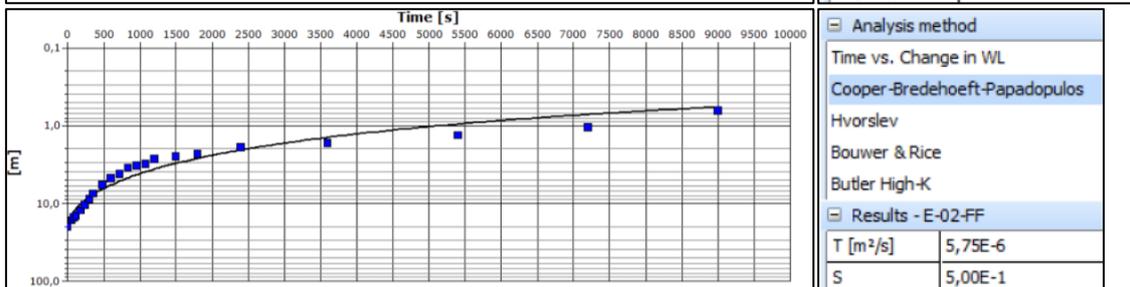
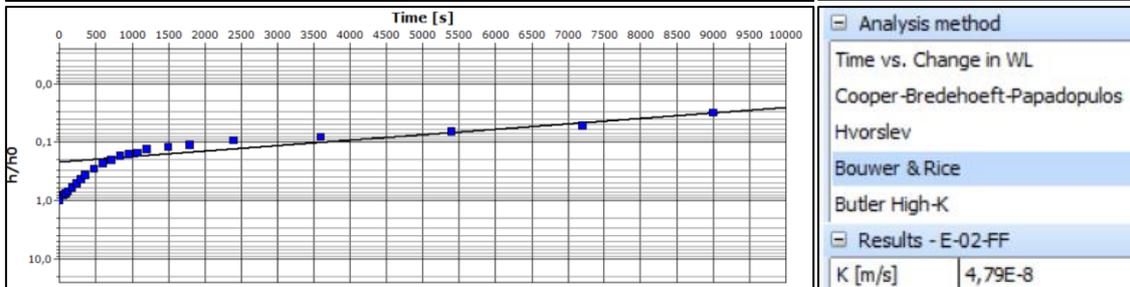
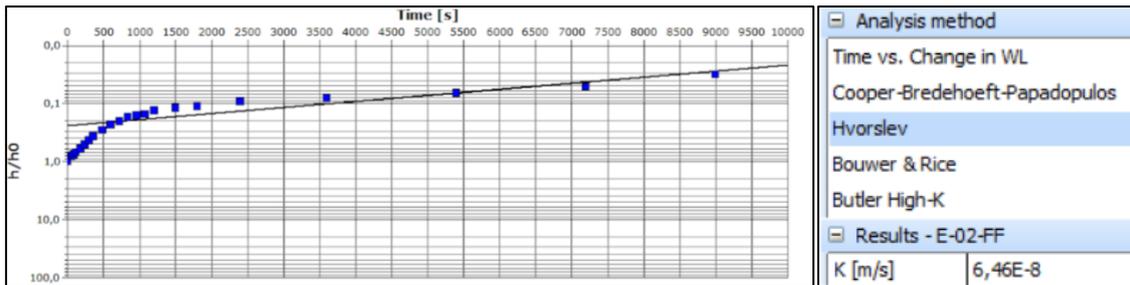


POÇO – E-02-BSM(1)

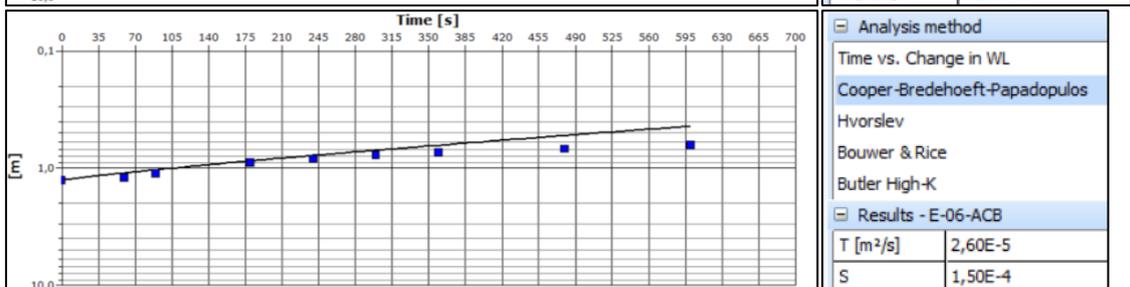
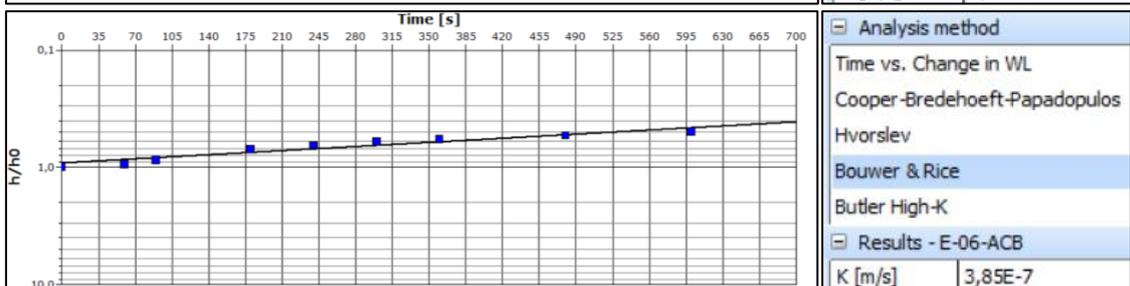
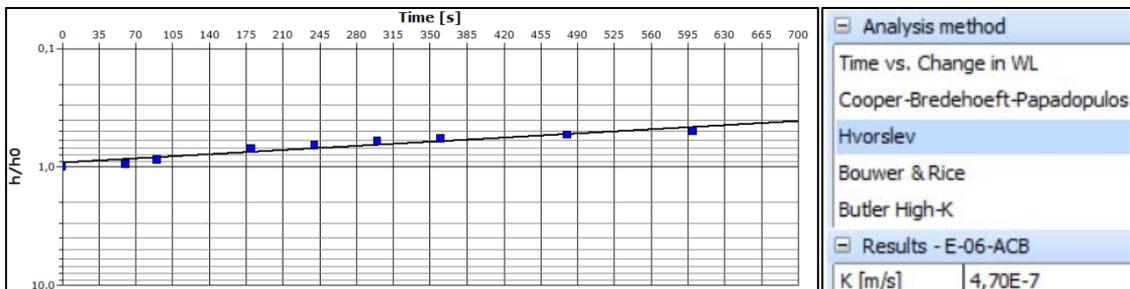


POÇO – E-02-BSM(2)

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

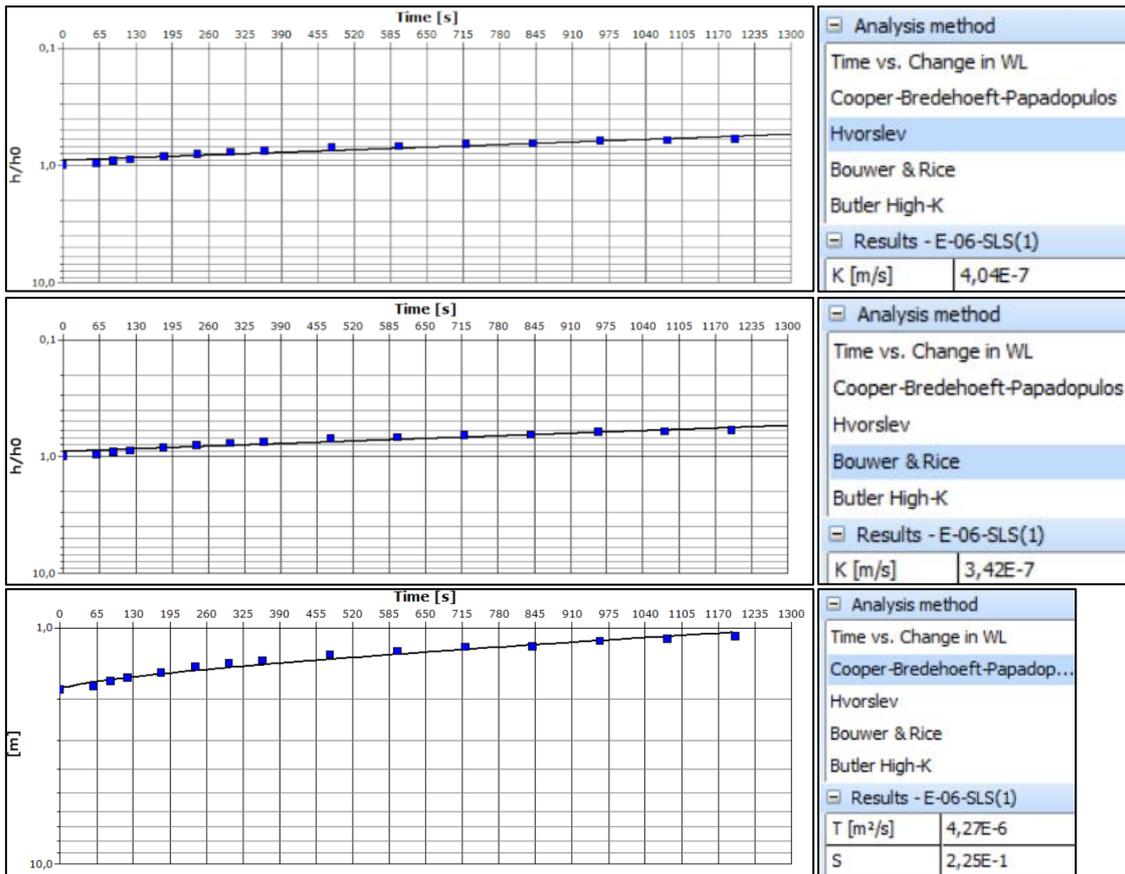


POÇO – E-02-FF

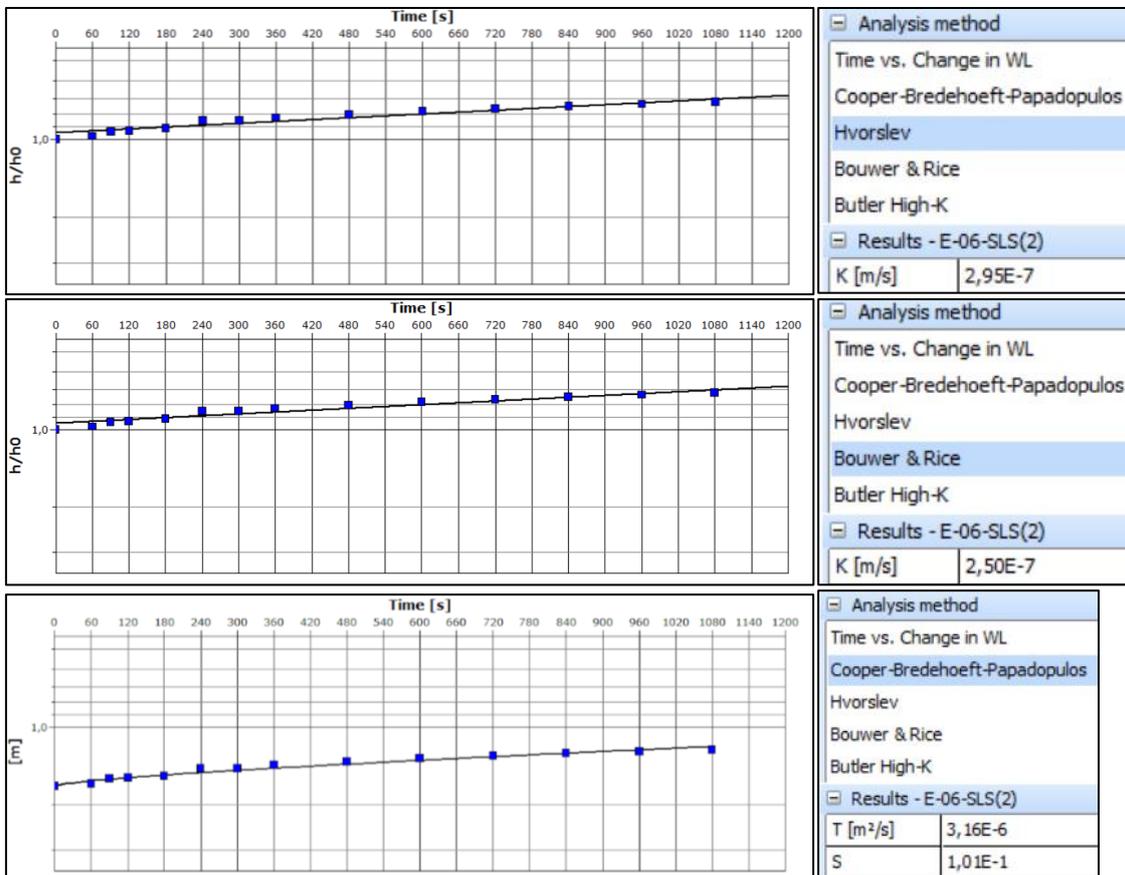


POÇO – E-06-ACB

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

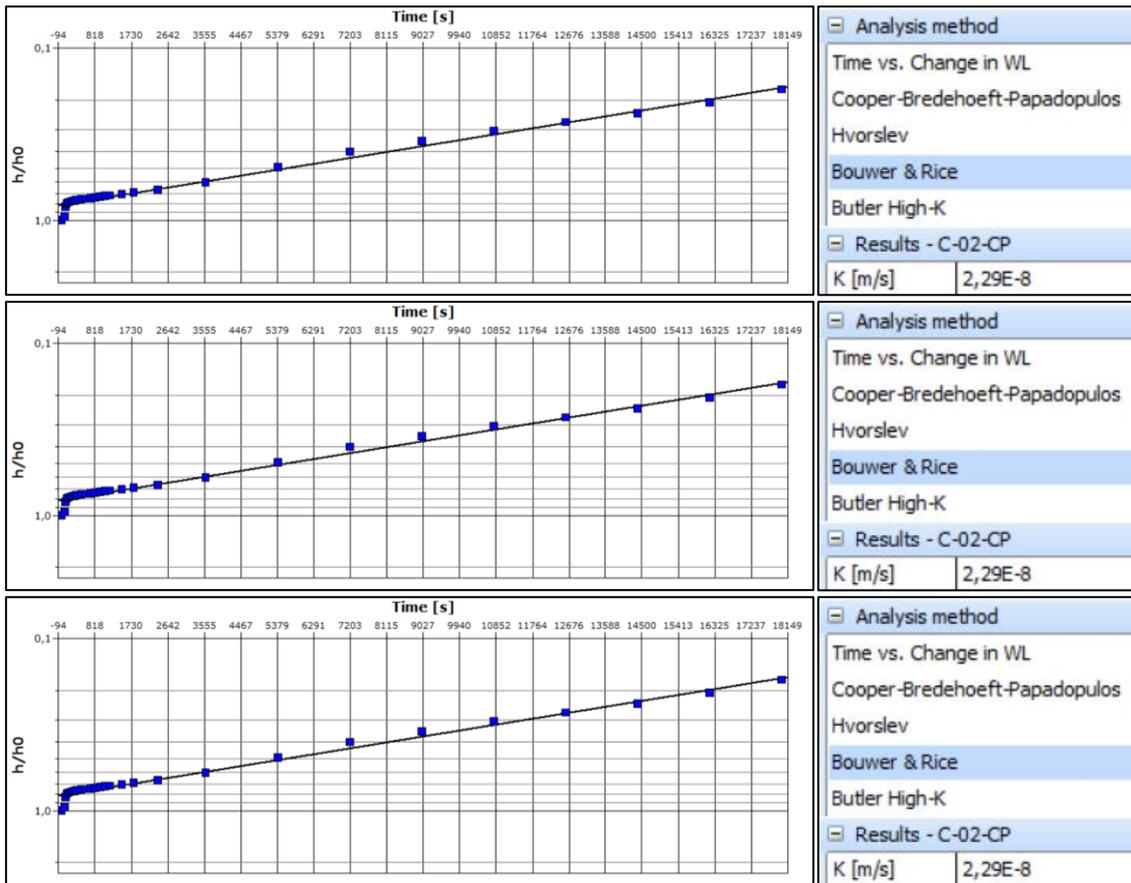


POÇO – E-06-SLS(1)



POÇO – E-06-SLS(2)

APÊNDICE – II: GRÁFICOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS



POÇO – C-02-CP

APÊNDICE III

BOOK DE FOTOS

Sumário

Book de Fotos de Córregos

Book de Fotos do Rio Velhas

Book de Fotos de Nascentes

Book de Foto de Poços Tubulares

APÊNDICE – III: BOOK DE FOTOS

BOOK DE FOTOS MONITORAMENTO CÓRREGOS



Foto Superior Esquerda: Régua vista por cima no Córrego Flor / Foto Superior Central: Canal do Córrego Flor vista por cima / Foto Superior Direita: Medição de vazão no Córrego Flor / Foto Inferior Esquerda: Detalhe da aparelhagem instalada para alojar o transdutor de pressão no Córrego Flor / Foto Inferior Central: Posição da régua no Córrego Gordura / Foto Inferior Direita: Canal do Córrego Gordura e régua

APÊNDICE – III: BOOK DE FOTOS

BOOK DE FOTOS MONITORAMENTO CÓRREGOS



Foto Superior Esquerda: Medição de vazão com o *Flowtracker* no Córrego Gordura / Foto Superior Central: Medição de vazão com o *Micro Molinete* no Córrego Gordura / Foto Superior Direita: Posição da régua no Córrego Jaguará / Foto Inferior Esquerda: : Medição de vazão com o *Micro Molinete* no Córrego Jaguará / Foto Inferior Central: Detalhe da aparelhagem instalada para alojar o transdutor de pressão no Córrego Jaguará / Foto Inferior Direita: Medição de vazão com o *Flowtracker* no Córrego Jaguará

APÊNDICE – III: BOOK DE FOTOS

BOOK DE FOTOS MONITORAMENTO CÓRREGOS



Foto Superior Esquerda: Posição da régua no Córrego Jaque / Foto Superior Central: Detalhe da régua durante a época de chuvas no Córrego Jaque / Foto Superior Direita: Detalhe da aparelhagem instalada para alojar o transdutor de pressão no Córrego Jaque / Foto Inferior Esquerda: Medição de vazão com o *Micro Molinete* no Córrego Jaque / Foto Inferior Central: Posição da régua no Córrego Palmeiras / Foto Inferior Direita: Detalhe da aparelhagem instalada para alojar o transdutor de pressão no Córrego Palmeiras

APÊNDICE – III: BOOK DE FOTOS

BOOK DE FOTOS MONITORAMENTO CÓRREGOS



Foto Superior Esquerda: Detalhe da régua e tubos onde fica alojado o transdutor de pressão no Córrego Palmeiras / Foto Superior Central: Sumidouro do Córrego Palmeiras / Foto Superior Direita: Posição da régua no Córrego Samambaia / Foto Inferior Esquerda: Medição de vazão com o *Flowtracker* no Córrego Samambaia / Foto Inferior Central: Sumidouro do Córrego Samambaia/ Foto Inferior Direita: Imagem do Barramento do Córrego Samambaia

APÊNDICE – III: BOOK DE FOTOS

BOOK DE FOTOS MONITORAMENTO RIO VELHAS



Foto Superior Esquerda: Posição da régua no Rio Velhas / Foto Superior Direita: Medição do comprimento da seção do Rio Velhas/
Inferior Esquerda: Detalhe do *Barologger* da *Schlumberger* no Rio Velhas/ Foto Inferior Direita: Medição de vazão com o *Molinete* no Rio Velhas

APÊNDICE – III: BOOK DE FOTOS

BOOK DE FOTOS CADASTRAMENTO DE NASCENTES

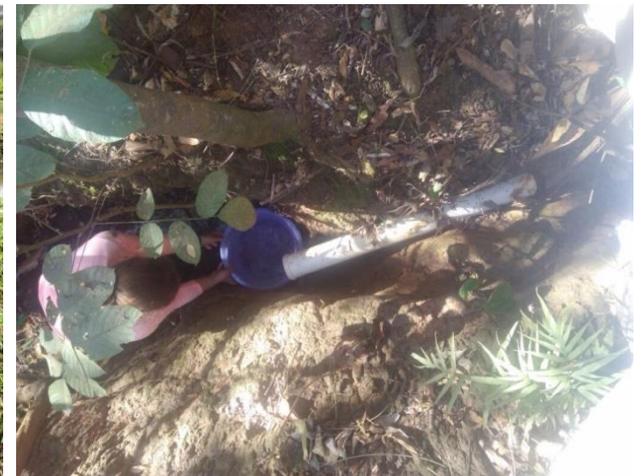
**NASC. 01****NASC. 02****NASC. 04**

APÊNDICE – III: BOOK DE FOTOS

BOOK DE FOTOS CADASTRAMENTO DE NASCENTES

**NASC. 06****NASC. 07****NASC. 08**

BOOK DE FOTOS CADASTRAMENTO DE NASCENTES



NASC. 10

NASC. 11

NASC. 12

APÊNDICE – III: BOOK DE FOTOS

BOOK DE FOTOS CADASTRAMENTO DE NASCENTES



NASC. 16



NASC. 18

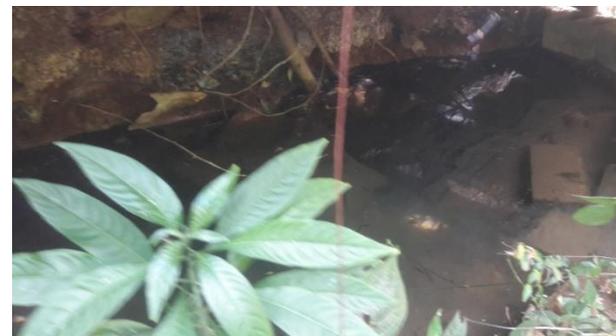


NASC. 19

BOOK DE FOTOS CADASTRAMENTO DE NASCENTES

**NASC. 20****NASC. 21****NASC. 23**

BOOK DE FOTOS CADASTRAMENTO DE NASCENTES

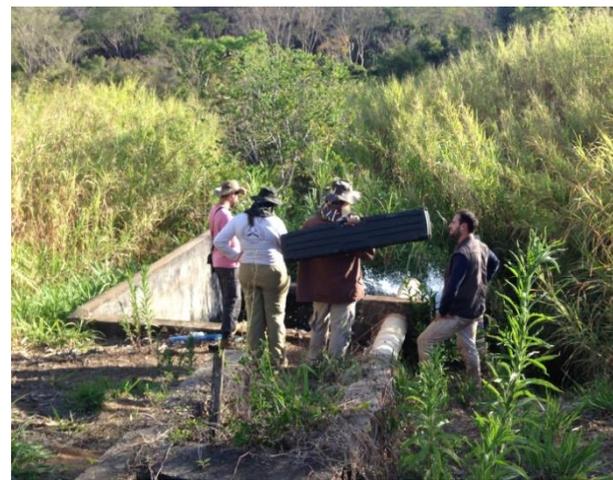


NASC. 24

NASC. 25

NASC. 26

BOOK DE FOTOS CADASTRAMENTO DE NASCENTES



NASC. 27

NASC. 31

NASC. 32

BOOK DE FOTOS CADASTRAMENTO DE NASCENTES



NASC. 34



NASC. 35



NASC. 36

APÊNDICE – III: BOOK DE FOTOS

BOOK DE FOTOS MONITORAMENTO POÇOS TUBULARES



POÇO C-08-SC



POÇO 00681-2004



POÇO N49

BOOK DE FOTOS MONITORAMENTO POÇOS TUBULARES



POÇO HP1

POÇO N1

POÇO P5

BOOK DE FOTOS MONITORAMENTO POÇOS TUBULARES



POÇO N39

POÇO 17613-PT

POÇO C-03-CP

BOOK DE FOTOS MONITORAMENTO POÇOS TUBULARES



POÇO N-40-COP



POÇO C-03-JF



POÇO C-02-ALS

BOOK DE FOTOS MONITORAMENTO POÇOS TUBULARES



POÇO E-06-ACB

POÇO N10

POÇO 03056-PT

BOOK DE FOTOS MONITORAMENTO POÇOS TUBULARES



POÇO C-01-PP



POÇO 02047-2010

ANEXO I

HISTÓRICO PLUVIOMÉTRICO

Sumário

Histórico Pluviométrico

Histórico de Dias de Chuva

ANEXO – I: HISTÓRICO PLUVIOMÉTRICO

Histórico Pluviométrico (1980 a 2017) Estação Sete Lagoas - A569 - Código: OMM 8670 - INMET (mm)

Pluviometria	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	TOTAL
1980	249,40	98,10	31,30	164,80	10,90	45,30	0,00	0,50	14,40	34,40	324,90	344,40	1318,4
1981	237,80	20,70	119,10	19,20	11,30	37,90	0,00	36,3	1,2	233,5	403,6	346,9	1467,5
1982	285,90	36,10	316,00	51,90	34,10	0,00	3,60	0,00	7,80	64,80	62,40	221,10	1083,7
1983	471,10	305,10	261,30	107,40	44,50	2,30	19,20	1,50	85,50	174,70	235,60	284,60	1992,8
1984	191,50	5,50	113,10	54,30	0,00	0,00	2,10	45,40	96,60	134,80	107,70	341,70	1092,7
1985	646,20	169,60	428,10	19,70	43,10	12,50	0,00	4,50	57,20	72,40	194,80	205,10	1853,2
1986	247,70	119,30	36,20	24,00	63,60	4,20	30,60	36,40	5,30	0,30	95,00	273,80	936,4
1987	230,60	49,80	200,30	117,80	37,60	16,00	3,60	1,40	52,90	73,50	185,80	381,00	1350,3
1988	216,80	434,40	244,40	82,00	10,50	11,00	0,00	0,00	75,30	48,10	183,70	200,10	1506,3
1989	149,70	124,20	145,40	0,50	1,40	58,70	74,20	8,40	7,80	98,10	229,60	350,70	1248,7
1990	115,50	196,10	126,00	2,60	18,70	1,70	22,20	29,80	26,70	57,30	229,60	83,10	909,3
1991	551,50	200,10	270,80	91,00	6,40	0,00	1,10	0,00	57,90	73,70	205,90	187,90	1646,3
1992	574,90	273,30	21,10	131,40	9,70	40,60	12,40	4,00	108,20	106,90	407,10	305,60	1995,2
1993	133,60	167,20	31,20	68,10	3,50	17,40	0,00	3,80	105,20	102,60	187,50	230,80	1050,9
1994	409,60	74,40	308,90	49,60	46,50	12,30	0,90	0,00	0,80	50,20	145,80	313,10	1412,1
1995	94,90	218,40	257,70	57,50	24,60	0,00	0,00	0,00	64,60	105,60	123,70	552,60	1499,6
1996	149,90	231,60	93,60	45,50	34,80	0,20	1,00	13,70	86,10	55,80	484,50	346,20	1542,9
1997	437,00	135,30	182,80	169,10	40,90	40,30	1,10	3,00	41,10	43,50	163,20	387,70	1645
1998	339,80	223,20	79,40	34,50	96,60	0,10	0,00	53,40	0,60	82,60	258,90	198,00	1367,1
1999	175,00	75,00	261,40	4,70	2,40	0,30	0,00	0,00	45,90	95,20	245,20	314,10	1219,2
2000	387,00	216,50	151,70	13,20	2,60	0,10	8,90	38,30	60,20	40,60	216,30	282,30	1417,7
2001	105,50	50,60	134,90	19,80	37,40	0,00	0,10	29,70	65,30	130,70	338,50	528,40	1440,9
2002	196,20	247,10	74,80	17,30	11,90	0,00	15,70	0,00	44,00	52,20	199,30	327,70	1186,2
2003	436,20	73,10	133,90	18,80	28,10	0,00	0,00	6,00	28,40	18,50	197,20	255,60	1195,8
2004	379,30	313,00	108,60	104,00	5,00	0,30	46,10	0,00	0,00	32,80	104,10	384,90	1478,1
2005	313,40	148,10	275,20	35,60	26,50	1,10	1,40	8,60	108,20	54,80	293,40	275,00	1541,3
2006	68,60	141,60	317,10	24,50	27,70	2,80	11,80	17,50	38,40	92,80	202,40	375,50	1320,7
2007	389,80	90,20	91,80	119,50	8,50	1,90	6,60	0,00	0,00	65,60	147,30	205,80	1127
2008	324,50	108,80	237,60	88,90	0,00	0,10	0,00	15,90	39,40	85,50	169,80	401,10	1471,6
2009	327,70	208,60	174,10	67,70	31,70	1,90	0,00	12,40	54,90	282,10	110,00	364,00	1635,1
2010	153,80	118,20	190,90	55,30	46,20	6,30	0,00	0,00	33,50	106,30	265,00	358,30	1333,8
2011	163,60	69,40	354,60	15,30	0,90	5,40	0,00	0,00	0,00	119,30	264,90	452,90	1446,3
2012	383,40	31,80	203,40	55,30	33,70	14,40	0,00	0,70	7,90	29,10	211,10	96,20	1067
2013	159,50	54,40	119,10	71,20	57,00	7,50	0,00	0,00	30,50	57,80	122,90	475,50	1155,4
2014	59,40	0,40	74,00	73,50	0,40	0,60	51,00	0,20	5,20	51,70	130,60	104,20	551,2
2015	221,80	362,50	244,70	53,60	31,60	7,30	2,80	0,00	33,10	125,50	117,70	215,80	1416,4
2016	364,50	55,60	117,40	40,60	2,40	5,20	0,0	11,8	67,2	67,20	374,20	251,20	1357,3
2017	119,20	128,80	97,20	15,60	27,80	9,60	0,20	0,00	10,00	51,80	214,20	148,60	823
MÍNIMO	59,4	0,4	21,1	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	62,4	83,1	
MÉDIA	275,3	146,7	174,5	57,5	24,2	9,6	8,3	10,1	41,2	83,5	214,6	299,3	
MÁXIMO	646,2	434,4	428,1	169,1	96,6	58,7	74,2	53,4	108,2	282,1	484,5	552,6	

ANEXO – I: HISTÓRICO PLUVIOMÉTRICO

Histórico de Dias de Chuva (1980 a 2017) Estação Sete Lagoas - A569 - Código: OMM 8670 - INMET (mm)

Dias de Chuva	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	TOTAL
1980	22	10	5	12	3	4	0	1	6	3	12	20	98
1981	18	8	14	6	3	4	0	2	2	14	21	20	112
1982	20	7	21	6	5	0	2	0	3	9	7	22	102
1983	27	13	17	9	4	1	3	1	8	11	20	24	138
1984	11	3	13	3	0	0	2	5	8	6	12	23	86
1985	28	10	17	5	6	2	0	2	7	8	14	18	117
1986	16	12	5	10	4	2	1	5	2	1	8	23	89
1987	16	5	11	8	7	4	2	2	8	5	13	21	102
1988	13	16	12	10	5	3	0	0	1	15	13	18	106
1989	13	13	12	1	1	4	4	1	3	12	17	13	94
1990	9	13	12	3	4	1	6	6	2	8	11	11	86
1991	25	13	18	6	3	0	1	0	7	7	18	21	119
1992	26	15	7	10	2	1	2	2	10	12	20	20	127
1993	14	14	8	11	3	5	0	5	5	8	10	19	102
1994	23	4	20	5	5	3	1	0	1	7	16	18	103
1995	12	16	11	6	5	0	0	0	6	11	12	23	102
1996	9	13	12	4	5	1	1	3	9	12	16	26	111
1997	16	7	14	8	6	5	1	1	6	7	15	18	104
1998	17	14	6	6	5	1	0	5	2	14	17	17	104
1999	18	9	15	3	1	1	0	0	5	8	15	16	91
2000	19	17	13	7	2	1	3	6	7	7	19	17	118
2001	11	4	10	3	6	0	1	2	6	11	18	19	91
2002	16	19	9	4	4	0	3	0	9	6	14	19	103
2003	24	6	14	5	4	0	0	3	7	4	16	16	99
2004	17	22	15	14	3	1	4	0	0	7	13	21	117
2005	25	11	18	3	4	2	4	2	8	4	23	18	122
2006	6	11	22	8	1	2	1	4	6	15	20	22	118
2007	23	15	4	7	2	1	2	0	0	4	12	12	82
2008	18	11	18	7	0	1	0	2	8	4	17	20	106
2009	17	13	17	6	2	5	0	4	9	17	10	23	123
2010	10	5	16	7	5	1	0	0	3	11	19	18	95
2011	12	6	17	4	2	1	0	0	0	14	12	24	92
2012	14	7	14	6	5	4	0	4	3	4	21	11	93
2013	19	8	17	10	7	1	0	0	4	8	10	22	106
2014	5	1	10	9	1	1	4	1	2	8	13	7	62
2015	9	13	17	7	6	2	1	0	4	4	11	14	88
2016	20	7	10	2	1	4	0	2	7	7	20	17	97
2017	8	13	7	5	4	4	1	0	2	4	21	17	86
MÍNIMO	5,0	1,0	4,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	7,0	7,0	
MÉDIA	16,7	10,6	13,3	6,5	3,6	1,9	1,3	1,9	5,0	8,5	15,0	18,7	
MÁXIMO	28,0	22,0	22,0	14,0	7,0	5,0	6,0	6,0	10,0	17,0	23,0	26,0	

ANEXO – I: HISTÓRICO PLUVIOMÉTRICO

Histórico Pluviométrico (1980 a 2017) Estação Pedro Leopoldo - Código: 1944009 (mm)

Pluviometria	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	TOTAL
1980	265,40	72,80	33,00	209,10	1,50	33,20	0,00	0,00	21,30	6,30	211,80	391,20	1245,60
1981	209,70	9,40	179,40	21,40	6,00	34,00	0,00	23,20	5,00	182,60	396,90	271,20	1338,80
1982	201,60	16,20	297,20	17,60	14,20	0,00	3,00	2,00	5,10	90,30	120,00	280,80	1048,00
1983	451,40	225,60	259,70	34,60	87,00	8,60	15,00	2,00	74,60	278,60	205,20	347,80	1990,10
1984	91,00	2,00	163,00	49,50	0,00	0,00	8,40	54,10	95,60	129,80	107,40	297,60	998,40
1985	566,80	168,60	86,30	49,60	20,20	8,00	0,00	7,00	58,40	105,60	228,10	224,60	1523,20
1986	194,90	177,00	61,60	55,40	62,90	1,20	27,30	37,30	4,40	0,40	105,20	332,60	1060,20
1987	164,30	19,40	124,20	100,50	36,80	23,90	1,60	3,70	41,70	70,50	86,40	371,20	1044,20
1988	159,80	307,20	159,20	40,60	20,00	5,00	0,00	0,00	76,20	51,00	200,70	270,90	1290,60
1989	187,40	158,50	180,40	0,00	0,00	92,50	77,80	33,20	17,30	147,20	289,40	364,80	1548,50
1990	57,40	246,70	64,30	14,50	28,70	0,00	22,70	35,80	16,00	89,65	147,00	125,20	847,95
1991	438,50	208,00	207,40	60,80	16,10	0,00	0,00	0,00	66,10	137,10	198,40	187,00	1519,40
1992	443,10	209,60	17,90	76,60	25,40	0,80	0,00	2,40	116,80	95,60	277,90	142,10	1408,20
1993	90,00	58,90	37,00	75,20	4,60	6,00	0,00	3,60	97,20	70,80	207,50	131,80	782,60
1994	340,20	52,00	266,80	10,20	37,90	1,70	7,50	0,00	12,10	67,80	172,70	226,00	1194,90
1995	67,10	175,00	245,90	99,80	17,40	0,40	0,00	0,00	79,20	95,20	136,00	550,90	1466,90
1996	36,50	2,90	160,02	51,89	16,20	0,00	10,80	18,00	57,40	63,00	465,60	292,10	1174,41
1997	448,00	125,80	134,90	108,20	40,20	48,50	0,00	0,90	69,60	79,60	138,60	388,30	1582,60
1998	300,80	247,00	31,80	28,90	41,10	0,00	0,00	34,60	12,80	104,80	220,20	177,70	1199,70
1999	198,60	53,00	202,50	25,50	0,50	0,20	7,40	0,00	9,70	39,30	284,50	274,70	1095,90
2000	278,00	121,60	271,50	6,30	2,80	0,00	13,60	26,00	63,80	32,00	243,80	187,30	1246,70
2001	189,90	17,40	82,20	16,30	20,70	0,00	6,00	57,90	44,90	99,90	274,20	421,30	1230,70
2002	268,70	285,20	95,90	13,60	15,20	0,00	24,40	0,00	61,50	45,50	136,90	373,90	1320,80
2003	550,00	79,30	107,40	11,80	24,50	0,00	0,00	13,20	13,20	25,50	151,00	269,50	1245,40
2004	366,50	333,60	188,00	82,00	30,00	27,90	39,30	0,00	0,00	43,60	124,60	290,40	1525,90
2005	238,70	191,70	294,80	33,10	21,90	8,80	0,90	1,80	80,90	37,50	390,00	295,40	1595,50
2006	75,40	112,50	265,30	14,70	18,30	2,80	6,70	5,20	39,60	71,00	226,70	404,20	1242,40
2007	337,00	149,60	120,20	101,10	14,20	0,80	4,90	0,00	1,10	119,20	93,00	185,50	1126,60
2008	286,60	164,70	274,60	101,90	0,00	0,60	0,00	22,80	92,10	31,20	135,10	433,30	1542,90
2009	284,10	178,70	182,60	43,00	13,90	4,20	0,00	18,80	74,50	282,40	92,10	392,60	1566,90
2010	152,30	68,90	178,70	62,40	39,20	2,90	0,00	0,00	22,60	110,80	349,80	367,10	1354,70
2011	169,40	28,30	322,70	33,70	5,10	3,40	0,00	0,00	0,30	161,40	274,70	426,40	1425,40
2012	334,00	9,40	183,30	80,80	34,50	1,30	0,00	1,10	12,70	35,10	243,70	127,20	1063,10
2013	154,60	28,40	133,40	76,70	37,20	10,80	0,00	0,00	48,10	117,50	161,20	507,20	1275,10
2014	54,30	10,70	48,40	58,40	3,90	2,30	53,00	0,00	6,40	74,50	124,60	127,50	564,00
2015	109,00	210,40	150,80	28,30	35,60	6,00	14,50	0,70	32,20	84,20	157,10	190,10	1018,90
2016	547,30	61,90	108,40	26,00	0,00	5,00	0,00	8,20	76,40	40,70	311,60	236,00	1421,50
2017	111,00	125,80	90,80	19,80	43,70	40,80	0,00	0,00	0,00				431,90
MÍNIMO	59,40	0,40	21,10	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	62,40	83,10	
MÉDIA	275,31	146,74	174,45	57,51	24,22	9,61	8,33	10,08	41,24	83,48	214,56	299,25	
MÁXIMO	646,20	434,40	428,10	169,10	96,60	58,70	74,20	53,40	108,20	282,10	484,50	552,60	

ANEXO – I: HISTÓRICO PLUVIOMÉTRICO

Histórico de Dias de Chuva (1980 a 2017) Estação Pedro Leopoldo - Código: 1944009

Dias de Chuva	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	TOTAL
1980	22	7	1	13	1	2	0	0	2	4	14	17	83
1981	17	2	11	3	1	6	0	2	2	16	22	20	102
1982	20	5	21	6	3	0	1	1	3	13	5	24	102
1983	30	20	19	10	7	2	2	1	11	23	21	27	173
1984	8	1	18	6	0	0	2	4	10	3	7	24	83
1985	28	10	9	6	5	1	0	1	8	10	15	17	110
1986	17	12	5	5	4	1	4	5	2	1	10	24	90
1987	13	4	9	12	7	2	2	3	9	5	10	19	95
1988	12	16	8	6	3	2	0	0	2	10	12	17	88
1989	11	13	15	0	0	5	4	1	3	15	20	13	100
1990	6	12	8	5	4	0	5	8	1	8	9	11	77
1991	22	11	10	4	2	0	0	0	5	6	18	17	95
1992	22	10	3	10	5	1	0	1	7	10	12	11	92
1993	10	8	6	7	3	1	0	1	3	6	9	10	64
1994	18	6	14	2	4	1	1	0	1	6	15	15	83
1995	9	13	8	4	4	1	0	0	2	10	12	21	84
1996	4	1	11	6	5	0	1	3	6	8	14	25	84
1997	15	8	9	8	5	6	0	1	6	8	13	18	97
1998	14	11	5	5	6	0	0	5	2	14	17	18	97
1999	17	7	12	2	1	1	3	0	4	8	15	17	87
2000	18	13	13	3	1	0	3	3	7	6	18	16	101
2001	11	5	9	5	5	0	1	2	5	8	21	17	89
2002	17	17	9	4	4	0	5	0	8	4	17	18	103
2003	22	5	14	4	4	0	0	5	7	6	15	17	99
2004	21	20	15	13	5	3	4	0	0	7	12	22	122
2005	24	10	17	3	5	3	3	5	8	3	20	16	117
2006	8	10	19	6	2	2	1	3	5	14	19	22	111
2007	22	15	2	7	2	1	1	0	1	7	10	12	80
2008	17	10	15	7	0	1	0	2	7	4	12	20	95
2009	18	12	14	6	3	2	0	4	7	15	10	21	112
2010	12	8	15	4	5	1	0	0	2	9	21	20	97
2011	12	6	15	6	1	2	0	0	1	15	12	22	92
2012	16	6	10	3	5	1	0	2	2	4	15	11	75
2013	19	5	13	9	5	1	0	0	5	7	11	24	99
2014	8	3	10	8	2	2	4	0	4	9	15	10	75
2015	8	12	13	6	5	1	1	1	6	3	11	15	82
2016	20	6	8	3	0	4	0	2	10	6	19	15	93
2017	7	8	7	3	3	2	0	0	0				30
MÍNIMO	4,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	5,0	10,0	
MÉDIA	15,9	9,2	11,2	5,9	3,4	1,5	1,3	1,8	4,7	8,4	14,3	17,9	
MÁXIMO	30,0	20,0	21,0	13,0	7,0	6,0	5,0	8,0	11,0	23,0	22,0	27,0	

ANEXO – I: HISTÓRICO PLUVIOMÉTRICO

Histórico Pluviométrico (1980 a 2017) Estação Lagoa Santa - Código: 1943049 (mm)

Pluviometria	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	TOTAL
1980	355,80	99,00	27,00	210,00	0,00	29,50	2,00	0,00	20,00	64,00	154,00	283,00	1244,30
1981	198,00	75,00	71,20	22,20	7,00	24,20	0,00	15,40	12,70	223,60	418,90	260,70	1328,90
1982	290,30	21,00	378,00	34,30	28,50	0,00	3,50	0,30	5,40	73,70	85,90	224,30	1145,20
1983	353,00	224,00	231,80	120,30	56,50	1,60	24,00	3,80	59,40	139,80	260,20	332,30	1806,70
1984	107,80	5,90	93,00	15,50	0,30	0,00	1,00	45,60	65,00	117,30	119,30	322,60	893,30
1985	490,70	137,40	230,90	20,40	53,10	9,40	5,10	4,30	43,90	42,60	156,60	267,30	1461,70
1986	219,10	160,20	38,30	45,00	85,80	11,80	27,70	37,80	0,40	0,00	83,90	284,30	994,30
1987	244,20	18,50	84,50	165,00	19,40	19,00	4,20	4,50	53,00	108,30	129,20	523,70	1373,50
1988	31,70	147,00	136,20	57,00	33,00	10,00	0,60	0,50	66,50	39,20	173,40	287,40	982,50
1989	195,70	162,20	25,30	0,00	0,20	72,60	24,20	10,20	18,30	118,40	178,90	187,30	993,30
1990	46,30	0,00	6,60	0,00	0,00	0,00	33,70	17,90	51,00	23,60	232,90	112,40	524,40
1991	490,40	132,30	147,30	62,10	16,00	0,00	0,00	0,00	46,80	78,60	109,40	138,00	1220,90
1992	418,80	186,30	29,70	28,60	12,70	0,00	2,40	0,00	15,80	67,60	289,10	264,40	1315,40
1993	118,50	0,00	157,02	137,50	7,80	11,90	0,00	0,00	25,50	76,36	197,74	265,20	997,52
1994	330,30	27,80	311,20	81,10	20,90	15,60	0,00	0,00	0,00	35,90	130,70	196,90	1150,40
1995	74,30	236,00	235,70	48,20	13,00	0,00	0,00	0,00	54,80	98,50	191,30	436,30	1388,10
1996	207,70	142,10	231,20	32,70	14,10	0,00	0,40	17,10	45,00	87,70	428,70	341,90	1548,60
1997	31,60	109,05	157,02	53,70	33,00	46,00	0,00	3,00	57,10	43,60	186,40	301,80	1022,27
1998	260,60	182,60	93,20	31,10	54,90	0,00	0,00	18,50	13,30	139,40	167,80	343,80	1305,20
1999	158,70	52,60	236,20	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	2,50	47,20	242,60	264,90	1006,20
2000	314,60	316,00	269,30	10,30	0,00	0,00	1,50	37,40	35,50	19,20	264,20	256,20	1524,20
2001	117,40	11,30	134,20	64,70	20,60	0,00	1,90	35,40	64,00	120,40	258,80	393,60	1222,30
2002	318,50	211,20	52,00	5,80	38,40	0,00	18,50	0,00	55,40	46,90	168,30	269,70	1184,70
2003	439,10	11,50	87,10	16,80	31,60	0,00	0,00	8,30	17,60	29,40	150,10	279,80	1071,30
2004	349,50	222,60	161,50	92,00	55,80	6,70	32,00	0,00	0,00	21,00	109,50	422,70	1473,30
2005	202,80	211,90	290,60	39,80	31,70	9,00	0,00	1,70	97,70	18,10	280,20	246,50	1430,00
2006	66,20	87,10	327,30	19,10	13,80	0,00	8,60	10,40	33,10	88,20	223,90	226,40	1104,10
2007	284,90	185,90	50,20	44,20	11,50	0,00	9,60	0,00	0,00	85,90	104,50	171,30	948,00
2008	235,90	130,40	170,60	52,20	0,00	0,00	0,00	24,10	75,80	50,00	139,80	318,00	1196,80
2009	292,70	133,30	212,70	50,30	2,80	3,80	0,00	20,60	66,70	168,70	105,90	506,80	1564,30
2010	121,30	12,20	142,60	28,40	39,20	1,60	0,00	0,00	21,30	107,50	308,50	262,90	1045,50
2011	117,00	18,90	265,60	77,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	140,10	227,70	215,20	1061,90
2012	318,80	20,70	223,60	30,60	39,70	20,80	0,00	0,00	3,20	20,50	194,70	52,90	925,50
2013	198,70	42,80	108,10	110,00									459,60
2014													
2015						0,00	6,10	0,00	28,20	65,70	135,20	120,50	355,70
2016	456,60	65,30	78,80	73,20	0,10	8,60	0,00	6,10	65,90	65,70	312,70	227,00	1360,00
2017	64,40	125,80	147,60	8,10	24,90	33,80	0,00	0,00	0,00				404,60
MÍNIMO	59,40	0,40	21,10	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	62,40	83,10	
MÉDIA	275,31	146,74	174,45	57,51	24,22	9,61	8,33	10,08	41,24	83,48	214,56	299,25	
MÁXIMO	646,20	434,40	428,10	169,10	96,60	58,70	74,20	53,40	108,20	282,10	484,50	552,60	

ANEXO – I: HISTÓRICO PLUVIOMÉTRICO

Histórico de Dias de Chuva (1980 a 2017) Estação Lagoa Santa - Código: 1943049

Dias De Chuva	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	TOTAL
1980	14	6	2	13	0	4	1	0	2	2	11	11	66
1981	19	3	11	5	1	2	0	1	4	12	26	16	100
1982	17	6	21	5	4	0	2	1	1	4	15	7	100
1983	23	9	15	4	5	1	12	26	11	12	17	23	158
1984	13	1	16	3	3	0	2	5	13	6	9	23	94
1985	24	22	23	20	27	28	17	6	10	10	12	18	217
1986	21	27	17	16	25	26	17	12	2	0	12	23	198
1987	18	10	9	21	16	23	12	3	10	7	8	20	157
1988	6	7	10	6	4	2	6	5	1	10	13	19	89
1989	21	13	3	0	1	6	4	2	4	12	9	7	82
1990	5	0	1	0	0	0	5	6	2	6	12	11	48
1991	21	15	11	6	1	0	0	0	7	7	18	18	104
1992	21	11	5	5	3	0	2	0	3	5	14	14	83
1993	10	0	11	5	1	2	0	0	1	7	13	7	56
1994	20	5	20	10	4	3	0	0	0	4	15	16	97
1995	10	18	10	3	3	0	0	0	5	13	11	19	92
1996	11	15	16	5	5	0	1	3	6	8	13	25	108
1997	2	8	11	5	4	5	0	1	6	7	12	19	80
1998	14	9	3	4	3	0	0	4	2	12	11	13	75
1999	9	5	11	0	1	0	0	0	2	7	13	17	65
2000	18	20	14	1	0	0	1	5	4	3	22	11	99
2001	6	3	6	3	2	0	1	2	4	8	12	8	55
2002	11	14	6	2	4	0	3	0	8	4	10	14	76
2003	16	2	7	2	3	0	0	3	5	2	8	10	58
2004	15	10	8	4	2	2	2	0	0	4	8	16	71
2005	12	12	15	2	1	2	0	1	6	2	20	12	85
2006	7	4	13	3	2	0	1	2	4	8	14	13	71
2007	17	8	2	5	1	0	1	0	0	4	11	11	60
2008	14	7	12	4	0	0	0	2	8	4	14	17	82
2009	16	7	13	4	1	1	0	5	6	12	7	19	91
2010	8	2	8	3	3	1	0	0	2	8	18	15	68
2011	8	1	13	5	0	0	0	0	0	11	10	11	59
2012	10	1	13	4	4	2	0	0	2	7	14	4	61
2013	14	3	10	6									33
2014													
2015						0	2	0	4	3	8	11	28
2016	16	5	7	3	1	5	0	1	8	4	15	9	74
2017	4	8	7	2	2	1	0	0	0				24
MÍNIMO	2,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0	4,0	
MÉDIA	13,6	8,3	10,5	5,3	3,9	3,2	2,6	2,7	4,3	7,0	12,8	14,9	
MÁXIMO	24,0	27,0	23,0	21,0	27,0	28,0	17,0	26,0	13,0	15,0	26,0	25,0	

ANEXO – I: HISTÓRICO PLUVIOMÉTRICO

Histórico Pluviométrico (1980 a 2017) Estação Vespasiano - Código: 1943009 (mm)

Pluviometria	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	TOTAL
1980	329,10	57,90	46,50	211,40	0,40	27,60	1,70	0,80	9,80	38,40	228,60	333,80	1286,00
1981	247,60	47,40	87,40	15,80	7,20	29,40	0,00	24,00	0,80	168,50	387,20	226,50	1241,80
1982	336,40	35,80	306,80	34,10	35,40	0,00	2,40	0,20	7,90	74,60	51,20	226,60	1111,40
1983	408,80	224,20	155,90	36,40	30,10	0,00	15,50	0,00	114,00	85,00	214,00	301,30	1585,20
1984	10,80	0,40	114,40	32,00	0,00	0,00	0,00	52,00	102,00	83,00	181,00	257,00	832,60
1985	590,80	122,40	311,80	14,00	48,40	5,90	0,00	6,70	39,10	42,80	207,10	222,60	1611,60
1986	250,30	113,50	108,20	51,60	77,50	3,70	23,10	24,80	3,00	0,00	104,10	314,10	1073,90
1987	160,40	76,70	95,30	96,70	30,00	27,30	11,40	14,40	39,50	55,70	120,10	391,90	1119,40
1988	166,60	329,70	196,70	66,60	29,40	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	183,90	309,00	1282,90
1989	0,00	105,00	208,30	0,00	24,24	6,65	57,00	15,60	29,20	129,90	228,60	18,20	822,69
1990	258,55	130,88	66,10	8,50	21,90	0,00	30,60	56,20	33,60	78,50	142,60	116,90	944,33
1991	490,90	205,80	191,10	22,10	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40	26,30	269,60	170,20	1384,40
1992	459,20	177,20	27,90	48,40	22,30	0,00	0,00	2,40	107,30	107,40	292,30	332,50	1576,90
1993	69,90	216,50	58,80	84,80	2,80	10,20	0,00	2,70	116,50	121,50	125,00	211,10	1019,80
1994	259,40	78,10	342,80	65,40	29,80	20,10	0,00	0,00	3,00	41,60	151,70	161,00	1152,90
1995	111,00	137,30	292,40	36,20	7,20	0,00	0,00	0,00	24,00	99,80	70,30	526,00	1304,20
1996	114,10	154,10	167,70	0,00	24,50	0,00	0,00	12,50	66,80	80,00	321,20	443,60	1384,50
1997	455,00	214,40	93,90	87,50	50,10	32,10	0,00	0,30	71,30	74,60	174,60	341,70	1595,50
1998	348,30	202,80	79,80	24,50	100,80	0,00	0,00	34,70	5,40	71,10	189,30	169,10	1225,80
1999	244,50	117,20	192,70	11,10	3,20	0,00	0,60	0,00	5,20	71,00	238,10	309,70	1193,30
2000	321,10	84,00	162,40	17,40	26,30	0,00	6,70	28,10	57,30	19,10	240,20	249,90	1212,50
2001	204,50	54,90	182,20	28,20	29,20	0,00	16,60	10,58	39,91	76,13	254,30	448,10	1344,63
2002	299,20	288,40	58,20	1,30	22,50	0,00	8,80	0,00	68,20	38,60	216,40	380,00	1381,60
2003	486,70	66,50	108,60	38,00	21,60	0,00	0,00	6,10	10,60	29,00	271,60	209,40	1248,10
2004	392,60	302,30	132,00	75,50	27,60	3,90	36,40	0,00	0,00	36,30	128,50	295,80	1430,90
2005	234,20	174,00	391,30	21,70	26,70	14,30	7,10	3,00	91,70	8,00	305,80	237,10	1514,90
2006	70,50	109,90	261,70	24,40	22,90	2,90	3,40	10,90	43,60	81,00	211,50	294,90	1137,60
2007	356,00	150,30	56,10	78,60	12,40	2,00	6,90	0,00	0,00	93,20	130,30	164,10	1049,90
2008	218,00	170,30	159,80	122,50	0,00	0,00	0,00	53,40	83,20	71,30	128,80	453,60	1460,90
2009	286,70	121,40	187,40	47,80	7,30	19,00	0,00	42,10	122,80	180,90	109,40	445,40	1570,20
2010	67,60	72,00	217,20	61,60	48,10	1,60	0,00	0,00	23,10	120,60	325,00	291,50	1228,30
2011	213,50	57,80	337,60	37,80	7,70	4,60	0,00	0,00	0,00	217,30	298,00	433,10	1607,40
2012	353,70	8,80	204,40	49,20	42,40	9,10	0,00	0,30	11,30	55,40	203,80	107,10	1045,50
2013	178,80	54,40	85,00	62,90	33,80	6,10	0,00	0,00	56,00	137,80	102,70	390,60	1108,10
2014	40,60	8,00	108,30	43,60	1,20	5,60	47,40	0,00	3,30	63,20	184,50	111,00	616,70
2015	87,90	288,40	182,20	64,40	21,70	5,90	2,80	0,40	22,90	97,40	93,90	122,70	990,60
2016	443,10	84,00	87,50	28,10	0,30	7,00	0,00	0,00	86,00	41,90	252,50	329,90	1360,30
2017	73,10	234,40	84,80	12,40	56,20	24,80	0,00	0,00	10,00				495,70
MÍNIMO	0,00	0,40	27,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	51,20	18,20	
MÉDIA	253,67	133,61	161,87	46,38	25,08	7,12	7,33	10,58	39,91	76,13	198,32	279,65	
MÁXIMO	590,80	329,70	391,30	211,40	100,80	32,10	57,00	56,20	122,80	217,30	387,20	526,00	

ANEXO – I: HISTÓRICO PLUVIOMÉTRICO

Histórico de Dias de Chuva (1980 a 2017) Estação Vespasiano - Código: 1943009

Dias De Chuva	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	TOTAL
1980	18	11	3	13	1	3	1	2	4	2	15	19	92
1981	19	3	17	6	3	4	0	2	1	16	20	16	107
1982	17	5	21	4	4	0	1	1	1	13	6	24	97
1983	25	13	17	2	2	0	2	0	7	11	16	21	116
1984	9	1	12	3	0	0	0	4	6	5	10	20	70
1985	27	11	16	4	6	1	0	1	6	6	14	17	109
1986	16	13	4	5	4	1	2	2	2	0	7	20	76
1987	13	6	9	7	6	6	2	2	7	6	6	17	87
1988	11	13	8	5	3	1	0	0	0	0	5	19	65
1989	0	6	12	0	3	1	4	2	3	12	12	1	56
1990	15	9	10	2	2	0	5	5	2	4	10	7	72
1991	24	13	10	2	0	0	0	0	1	4	16	15	85
1992	21	11	2	3	2	0	0	2	9	9	15	16	90
1993	6	10	4	7	1	1	0	1	7	4	6	13	60
1994	17	4	13	7	3	1	0	0	1	5	11	10	72
1995	9	9	8	2	1	0	0	0	1	4	7	21	62
1996	9	12	9	0	3	0	0	2	6	6	16	26	89
1997	16	10	11	6	5	5	0	1	5	7	14	19	99
1998	17	11	4	6	5	0	0	5	1	11	14	15	89
1999	13	8	13	2	1	0	1	0	2	7	15	16	78
2000	17	10	10	3	3	0	2	3	7	6	19	15	95
2001	10	4	8	4	4	0	1	1	4	7	20	18	82
2002	18	16	7	1	4	0	3	0	8	3	16	21	97
2003	23	4	13	3	4	0	0	3	5	7	14	14	90
2004	17	22	15	15	6	2	3	0	0	7	11	18	116
2005	25	13	14	3	4	3	1	1	7	5	23	17	116
2006	8	13	22	8	2	2	1	5	5	13	20	22	121
2007	26	14	3	7	3	1	2	0	0	6	12	13	87
2008	16	12	13	4	0	0	0	2	7	4	12	18	88
2009	16	13	13	6	2	3	0	4	8	18	11	21	115
2010	6	5	15	7	5	1	0	0	2	10	22	19	92
2011	12	4	18	6	2	2	0	0	0	15	15	21	95
2012	17	5	12	4	5	4	0	1	3	8	18	11	88
2013	20	7	17	10	6	1	0	0	4	9	13	22	109
2014	6	2	10	6	2	1	4	0	2	5	13	9	60
2015	7	12	13	6	5	2	1	1	5	4	11	13	80
2016	19	10	8	3	1	5	0	0	7	5	18	14	90
2017	7	11	7	3	3	2	0	0	2				35
MÍNIMO	0,0	1,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	1,0	
MÉDIA	15,1	9,4	11,1	4,9	3,1	1,4	0,9	1,4	3,9	7,1	13,6	16,7	
MÁXIMO	27,0	22,0	22,0	15,0	6,0	6,0	5,0	5,0	9,0	18,0	23,0	26,0	

ANEXO II

HISTÓRICO FLUVIOMÉTRICO

Sumário

Histórico de Vazões Mínimas

Histórico de Vazões Máximas

Histórico de Vazões Médias

ANEXO – II: HISTÓRICO FLUVIOMÉTRICO

Histórico de Vazões Mínimas (1980 a 2017) Estação Fluviométrica Ponte Preta - Código: 41380000 (m³/s)

Período	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Média Anual
1980	6,67	87,80	5,00	5,18	4,30	3,96	3,30	2,83	2,53	1,95	1,81	5,91	10,94
1981	6,55	4,28	3,96	3,49	3,18	2,89	2,46	2,46	1,93	2,19	4,95	4,61	3,58
1982	7,88	6,73	7,11	5,64	5,29	4,45	3,80	3,34	2,74	2,74	2,46	2,89	4,59
1983	5,64	7,84	7,44	6,29	5,21	4,51	4,02	3,69	3,54	3,23	4,51	6,11	5,17
1984	5,21	4,28	3,94	3,61	3,14	2,98	2,68	2,38	2,68	2,09	1,82	4,28	3,26
1985	7,30	6,86	8,05	6,10	5,00	4,47	3,96	3,30	2,99	2,68	2,68	4,30	4,81
1986	5,36	5,73	4,30	3,63	3,30	2,99	2,83	2,38	2,09	1,68	1,55	2,99	3,24
1987	2,99	2,68	2,38	2,68	2,38	2,09	1,68	1,42	1,05	1,29	1,55	2,38	2,05
1988	3,54	6,07	5,75	4,84	3,54	2,89	2,29	1,73	1,24	1,24	1,24	2,29	3,06
1989	2,52	2,31	3,22	2,31	1,71	1,52	1,52	1,52	0,88	1,52	1,52	4,02	2,05
1990	2,88	2,11	2,36	1,87	1,87	1,64	1,42	1,22	1,02	1,02	1,22	1,87	1,71
1991	2,88	7,50	5,29	4,64	3,44	2,61	2,11	1,87	1,87	1,22	2,36	2,88	3,22
1992	7,71	7,71	4,64	3,44	3,44	2,11	1,87	1,42	1,42	1,64	2,88	2,88	3,43
1993	5,84	5,84	3,96	3,96	3,60	3,42	2,91	2,41	2,25	2,58	2,58	2,91	3,52
1994	6,23	3,60	4,69	4,14	3,60	3,25	2,91	2,41	2,09	1,94	1,94	3,78	3,38
1995	3,78	4,50	3,78	3,25	3,60	2,91	2,58	1,35	1,19	1,19	1,35	2,98	2,71
1996	8,66	8,66	4,35	4,06	3,08	2,66	2,13	1,97	1,69	1,32	2,30	5,65	3,88
1997	9,29	4,96	7,22	6,02	5,30	4,06	3,30	2,47	2,13	1,97	1,97	4,65	4,45
1998	4,65	4,88	4,88	3,73	3,47	2,98	2,10	1,71	1,19	1,35	2,98	3,73	3,14
1999	4,11	3,04	4,11	3,04	2,52	2,17	2,00	1,67	1,34	1,17	1,67	3,22	2,51
2000	3,57	4,88	3,95	3,10	2,53	2,02	1,87	1,45	1,72	0,98	1,08	2,71	2,49
2001	3,20	2,27	2,27	1,38	1,26	1,14	1,14	1,03	1,03	1,26	1,38	1,95	1,61
2002	5,35	6,76	4,48	2,89	2,58	2,18	1,92	1,67	1,41	1,16	2,05	1,67	2,84
2003	6,47	3,65	3,20	2,74	2,30	1,92	1,79	1,41	1,29	0,98	1,29	2,18	2,44
2004	5,00	4,57	4,48	3,81	3,04	2,43	2,18	1,67	1,07	0,98	0,98	1,60	2,65
2005	3,96	3,12	5,35	3,20	2,58	2,18	1,92	1,41	1,29	0,98	1,54	2,74	2,52
2006	1,50	1,34	3,75	2,35	2,00	1,67	1,34	1,01	0,70	1,01	2,00	4,31	1,92
2007	5,26	3,13	3,39	3,04	2,53	2,03	1,72	1,41	1,19	0,59	0,55	1,26	2,18
2008	1,01	2,35	2,69	2,00	1,50	1,17	1,01	0,70	0,26	0,72	1,12	1,41	1,33
2009	4,12	3,75	2,69	3,04	2,36	2,03	1,41	1,12	1,19	1,41	1,72	4,03	2,41
2010	3,75	2,69	2,69	2,03	2,03	1,41	1,41	1,12	0,59	0,85	1,72	2,03	1,86
2011	4,12	2,19	4,49	3,04	2,69	2,03	1,72	1,27	0,85	0,85	1,41	7,08	2,65
2012	6,46	4,12	3,75	3,04	2,69	2,36	1,72	1,41	1,12	0,85	1,19	1,72	2,54
2013	1,41	1,87	2,03	2,19	1,56	1,56	0,98	0,59	0,35	0,59	0,59	2,03	1,31
2014	2,53	1,41	1,41	1,27	0,98	0,85	0,59	0,35	0,15	0,03	0,35	1,41	0,94
2015	0,35	1,05	2,03	1,12	1,12	1,12	1,01	0,93	0,85	1,12	1,27	1,27	1,10
2016	1,12	1,56	1,40	1,12	1,19	1,05	0,93	0,85	0,81	0,85	0,85	1,64	1,12
2017	1,30	1,24	1,24	1,10	1,05	1,01	0,93	0,85	0,81				
MÍNIMO	0,35	1,05	1,41	1,12	0,98	0,85	0,59	0,35	0,15	0,03	0,35	1,26	
MÉDIA	4,66	6,57	4,14	3,39	2,91	2,46	2,10	1,72	1,47	1,40	1,82	3,16	
MÁXIMO	9,29	87,80	8,05	6,29	5,30	4,51	4,02	3,69	3,54	3,23	4,95	7,08	

ANEXO – II: HISTÓRICO FLUVIOMÉTRICO

Histórico de Vazões Máximas (1980 a 2017) Estação Fluviométrica Ponte Preta - Código: 41380000 (m³/s)

Período	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Média Anual
1980	92,70	87,80	6,67	48,10	12,40	7,45	4,47	3,30	3,46	11,50	103,00	88,90	39,15
1981	11,20	13,80	14,50	11,40	5,47	4,78	2,89	4,61	2,46	67,60	94,50	152,00	32,10
1982	107,00	12,50	72,90	17,40	8,27	5,29	4,45	3,96	3,64	8,67	15,50	15,50	22,92
1983	211,00	103,00	64,00	30,80	16,50	6,29	8,04	4,35	9,26	49,70	18,20	82,30	50,29
1984	32,90	6,92	30,60	8,67	3,61	3,14	3,14	6,18	5,12	5,64	42,10	59,90	17,33
1985	170,00	45,00	107,00	10,10	10,80	5,36	4,47	4,13	4,65	4,30	35,20	52,70	37,81
1986	65,20	60,70	11,00	8,87	14,40	4,13	6,29	5,36	2,68	2,99	26,00	33,10	20,06
1987	45,60	5,54	18,30	36,10	7,85	3,30	2,09	1,81	32,80	34,30	14,70	98,40	25,07
1988	41,30	123,00	145,00	10,80	5,75	4,23	2,89	2,29	2,00	2,58	26,40	72,30	36,55
1989	31,40	35,70	68,90	3,73	2,10	10,30	8,35	6,26	15,70	17,70	68,30	67,30	27,98
1990	10,10	44,90	19,30	5,97	3,44	1,87	5,63	3,15	4,33	6,67	58,10	32,30	16,31
1991	168,00	49,60	101,00	11,50	9,66	3,44	2,36	2,11	6,31	8,56	56,50	39,20	38,19
1992	185,00	87,40	9,22	20,80	7,92	3,15	2,11	1,64	6,31	22,90	28,90	120,00	41,28
1993	32,30	11,50	10,80	17,00	4,14	3,60	3,42	2,58	5,64	7,83	9,94	40,40	12,43
1994	58,80	30,80	117,00	13,30	4,32	3,78	3,42	2,74	2,41	5,07	32,00	45,60	26,60
1995	28,00	100,00	41,60	25,30	4,69	3,60	2,91	1,71	3,73	4,00	33,70	236,00	40,44
1996	64,30	38,10	14,30	11,50	4,06	3,30	2,66	2,30	3,30	4,06	174,00	54,00	31,32
1997	257,00	12,60	166,00	12,60	7,63	10,20	4,06	3,30	7,22	9,94	26,90	74,00	49,29
1998	47,10	85,60	18,50	6,26	9,88	6,26	2,98	4,68	5,66	6,46	25,30	55,20	22,82
1999	54,60	7,08	30,60	4,11	5,07	2,52	2,35	2,00	1,67	7,08	21,30	33,10	14,29
2000	81,48	64,95	43,73	8,78	3,10	2,53	2,18	3,73	5,66	3,51	56,20	59,89	27,98
2001	77,36	11,01	33,69	2,62	2,53	1,38	1,14	5,86	3,40	17,73	53,33	210,00	35,00
2002	79,73	85,97	9,20	4,39	3,35	2,58	2,43	1,92	4,22	1,92	23,90	45,22	22,07
2003	196,80	11,66	24,18	5,70	3,58	2,30	2,05	1,73	3,04	4,22	14,90	175,25	37,12
2004	153,50	32,16	56,92	16,77	3,96	3,50	6,47	2,18	1,67	1,41	6,47	85,32	30,86
2005	96,70	27,60	162,00	5,18	5,53	2,74	2,18	1,92	15,15	1,67	26,70	34,08	31,79
2006	6,46	9,66	35,42	7,71	4,31	2,00	1,92	2,00	4,11	5,46	24,23	70,26	14,46
2007	40,72	370,33	15,99	8,35	3,39	2,69	2,03	2,03	1,40	7,71	12,86	23,70	40,93
2008	51,13	35,42	63,64	22,64	2,00	1,50	1,17	3,57	7,92	9,44	7,50	111,10	26,42
2009	99,82	50,82	21,06	12,62	3,21	2,87	2,03	1,41	17,00	21,58	20,28	143,64	33,03
2010	159,74	4,68	21,84	16,73	3,04	2,03	1,41	1,41	1,12	4,88	38,35	116,28	30,96
2011	63,31	8,35	55,56	8,78	3,13	2,69	2,03	1,72	1,12	10,55	57,48	150,08	30,40
2012	187,59	10,55	14,77	5,46	4,12	3,04	2,19	1,72	1,41	1,64	10,78	18,62	21,82
2013	26,40	21,06	20,54	9,88	4,68	4,49	1,56	0,85	0,85	4,97	13,33	155,78	22,03
2014	11,46	2,53	26,95	5,07	1,27	0,98	2,03	1,12	0,41	4,68	23,70	35,42	9,64
2015	13,57	50,82	29,72	3,75	7,08	1,12	1,10	1,01	1,24	2,69	9,66	36,29	13,17
2016	117,77	6,87	12,66	15,50	2,29	1,19	1,01	0,93	3,13	3,19	105,81	2158,64	202,42
2017	8,76	37,48	5,38	1,52	1,38	1,10	0,97	0,93	0,85				
MÍNIMO	6,46	2,53	6,67	2,62	1,27	0,98	1,01	0,85	0,41	1,41	6,47	15,50	
MÉDIA	85,87	47,73	46,35	12,82	5,64	3,67	3,08	2,80	5,44	10,67	38,27	137,35	
MÁXIMO	257,00	370,33	166,00	48,10	16,50	10,30	8,35	6,26	32,80	67,60	174,00	2158,64	

ANEXO – II: HISTÓRICO FLUVIOMÉTRICO

Histórico de Vazões Médias (1980 a 2017) Estação Fluviométrica Ponte Preta - Código: 41380000 (m³/s)

Período	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Média Anual
1980	31,96	87,80	5,98	11,95	5,21	4,39	3,73	3,05	2,66	2,93	8,50	17,45	15,47
1981	8,23	5,77	6,09	4,63	3,56	3,32	2,69	2,65	2,17	9,22	20,06	15,73	7,01
1982	20,49	8,79	17,96	7,66	5,84	4,78	4,11	3,64	3,10	3,79	3,98	6,22	7,53
1983	31,67	20,42	13,53	9,22	6,35	4,99	4,46	3,98	4,14	8,02	8,56	24,38	11,64
1984	8,98	5,30	7,18	4,46	3,31	3,03	2,78	2,82	3,19	3,09	5,29	15,11	5,38
1985	56,18	16,08	23,53	7,66	6,06	4,83	4,15	3,69	3,44	3,34	6,25	9,55	12,06
1986	16,66	15,40	5,63	4,39	4,00	3,24	3,12	2,93	2,43	2,01	3,44	8,96	6,02
1987	11,89	3,76	4,19	6,05	3,00	2,45	1,86	1,64	3,07	3,49	3,14	19,57	5,34
1988	10,12	16,22	13,86	6,21	4,31	3,36	2,59	2,06	1,43	1,71	4,18	12,47	6,54
1989	6,90	8,92	9,70	2,92	1,92	2,81	1,97	1,80	1,83	3,13	15,52	15,15	6,05
1990	4,81	5,97	5,04	2,92	2,10	1,70	1,82	1,56	1,69	1,64	7,03	4,67	3,41
1991	34,05	12,16	14,12	6,68	4,30	2,98	2,28	1,89	2,34	2,85	9,51	11,33	8,71
1992	35,82	18,83	6,13	5,33	4,04	2,58	1,91	1,48	2,48	3,75	10,12	22,16	9,55
1993	9,44	7,21	5,10	5,84	3,90	3,52	3,07	2,50	2,77	3,49	3,99	9,54	5,03
1994	15,75	5,68	10,28	5,38	3,93	3,46	3,07	2,58	2,21	2,47	5,14	11,01	5,91
1995	7,57	14,82	7,72	6,50	4,10	3,26	2,78	1,55	1,36	1,50	6,60	47,79	8,80
1996	18,86	11,38	9,24	5,15	3,37	2,86	2,36	2,04	2,04	1,74	22,98	19,02	8,42
1997	42,61	7,34	19,12	8,01	5,80	5,58	3,56	2,97	2,93	3,46	4,68	15,92	10,16
1998	12,66	15,70	7,48	4,82	4,61	3,71	2,63	2,45	1,72	2,87	7,28	11,95	6,49
1999	13,28	4,36	9,23	3,50	2,97	2,39	2,12	1,77	1,51	2,04	6,19	9,29	4,89
2000	15,33	13,53	9,43	4,03	2,78	2,27	2,01	1,78	2,46	1,48	7,07	10,93	6,09
2001	10,04	3,87	4,65	1,84	1,53	1,23	1,14	1,46	1,41	2,33	7,08	17,92	4,54
2002	17,68	23,91	6,09	3,65	2,84	2,31	2,17	1,74	1,97	1,42	5,74	9,79	6,61
2003	52,53	5,32	7,64	3,54	2,64	2,09	1,89	1,57	1,54	1,42	3,42	13,08	8,06
2004	28,81	14,22	9,79	6,47	3,42	2,70	2,61	1,88	1,40	1,10	1,68	16,56	7,55
2005	10,87	7,45	22,95	3,92	3,12	2,41	1,99	1,66	2,70	1,21	4,87	8,92	6,01
2006	2,75	3,18	11,14	3,41	2,32	1,76	1,60	1,27	1,29	1,65	5,68	18,78	4,57
2007	16,03	12,01	4,73	3,54	2,73	2,31	1,93	1,73	1,30	1,28	1,95	4,55	4,51
2008	5,65	7,07	8,39	4,31	1,75	1,32	1,04	0,86	1,28	1,54	2,14	16,40	4,31
2009	17,95	7,89	5,19	4,64	2,61	2,12	1,73	1,29	1,70	4,26	3,83	20,75	6,16
2010	11,95	3,11	5,32	3,92	2,36	1,70	1,41	1,17	0,72	1,20	7,20	12,17	4,35
2011	14,54	3,55	12,45	4,48	2,88	2,29	1,86	1,41	0,95	2,28	10,87	29,04	7,22
2012	36,13	5,72	5,75	3,72	3,11	2,55	2,01	1,63	1,24	1,09	3,93	4,99	5,99
2013	6,38	4,59	4,38	3,75	2,03	2,22	1,24	0,71	0,58	1,43	2,02	28,84	4,85
2014	4,48	1,79	3,22	2,09	1,12	0,87	0,78	0,63	0,23	1,04	4,37	4,13	2,06
2015	1,76	6,59	5,15	1,95	1,65	1,12	1,07	0,94	0,99	1,91	3,67	4,67	2,62
2016	15,78	3,34	1,89	3,14	1,33	1,12	0,99	0,91	0,97	1,06	3,75	9,16	3,62
2017	1,74	2,55	1,83	1,25	1,14	1,03	0,94	0,88	0,83				
MÍNIMO	1,76	1,79	1,89	1,84	1,12	0,87	0,78	0,63	0,23	1,04	1,68	4,13	
MÉDIA	18,02	11,33	8,90	4,91	3,32	2,75	2,28	1,94	1,92	2,55	6,53	14,54	
MÁXIMO	56,18	87,80	23,53	11,95	6,35	5,58	4,46	3,98	4,14	9,22	22,98	47,79	

ANEXO – II: HISTÓRICO FLUVIOMÉTRICO

Histórico de Vazões Mínimas (1980 a 2017) Estação Fluviométrica Raul Soares - Código: 41340000 (m³/s)

Período	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Média Anual
1980													
1981													
1982	164,38	123,31	119,22	159,43	140,61	131,78	101,90	84,69	87,97	69,51	79,93	149,83	39,92
1983	70,14	64,81	63,61	49,36	74,18	66,25	55,96	50,72	50,72	53,32	68,38	95,75	63,60
1984	77,14	58,64	55,29	51,37	40,22	39,63	36,72	32,24	38,46	26,93	27,96	69,10	46,14
1985	94,14	105,57	151,89	101,43	77,89	64,84	57,29	49,45	45,68	40,22	45,68	54,63	74,06
1986	86,27	80,90	66,25	55,96	52,02	44,44	38,35	35,06	28,75	26,73	25,73	39,46	48,33
1987	49,86	36,70	35,61	46,32	41,71	39,46	31,86	27,73	27,23	22,33	24,26	51,05	36,18
1988	102,47	88,19	66,00	40,58	36,70	41,14	35,06	31,34	25,73	32,39	31,86	37,79	47,44
1989	48,08	55,92	48,67	39,46	31,86	30,30	31,86	27,73	25,73	33,45	33,45	39,46	37,16
1990	49,26	45,15	43,42	37,24	33,99	32,39	32,39	31,34	31,34	30,82	32,39	33,45	36,10
1991	40,02	110,57	67,94	65,36	55,30	49,86	43,42	36,15	36,15	34,52	44,00	52,86	53,01
1992	77,88	101,02	59,02	54,69	48,67	45,15	42,85	41,71	41,14	43,42	73,86	51,05	56,71
1993	72,53	72,53	63,61	59,64	49,26	45,15	36,15	35,06	32,92	36,15	37,24	42,28	48,54
1994	92,41	54,69	86,79	56,53	46,32	41,71	18,14	36,15	32,92	33,99	31,86	48,08	48,30
1995	39,46	69,25	51,65	46,90	41,14	32,92	33,99	30,82	23,77	26,73	37,24	41,14	39,58
1996	67,94	57,15	54,08	46,90	42,85	34,52	29,78	28,24	29,78	27,73	44,00	70,56	44,46
1997	165,01	64,81	63,61	49,36	63,44	56,53	46,90	41,71	36,70	34,52	33,99	62,16	59,89
1998	59,02	59,02	59,02	66,65	38,35	42,85	40,58	51,65	61,53	35,61	48,67	54,08	51,42
1999	38,35	36,70	30,30	34,52	31,86	31,34	8,72	19,52	19,06	19,06	25,24	63,44	29,84
2000	59,92	36,66	22,43	39,24	40,81	34,14	33,64	24,20	27,86	22,87	36,15	43,47	35,12
2001	49,58	26,10	35,97	30,00	28,24	24,02	23,61	23,61	22,80	25,26	31,34	36,45	29,75
2002	55,01	94,41	51,13	40,09	37,89	34,16	33,12	27,62	27,62	23,40	38,43	25,24	40,68
2003	126,70	63,70	55,80	56,44	47,06	37,74	34,44	30,73	30,21	24,73	34,98	41,73	48,69
2004	108,48	148,66	230,29	62,35	48,89	46,46				24,73	24,25	37,19	60,94
2005								30,21	28,68	23,77	37,19	49,50	14,11
2006	41,73	38,30	66,41	38,30	34,44	32,83	28,68	24,25	23,77	24,25	27,17	65,73	37,16
2007	70,14	64,81	63,61	49,36	31,25	28,17	25,21	20,54	18,33	16,63	21,90	28,17	36,51
2008	25,21	37,74	50,12	37,19	28,17	25,45	22,36	18,55	17,90	19,20	28,68	23,30	27,82
2009	84,28	79,86	53,88	54,83	40,58	34,98	29,95	27,42	26,18	28,68	31,25	67,79	46,64
2010	58,39	42,31	46,46	36,63	33,90	29,19	26,67	22,83	20,09	23,30	40,58	35,53	34,66
2011	52,61	32,30	54,52	38,30	31,51	29,95	26,67	21,90	19,20	20,54	19,64	72,67	34,98
2012	85,03	56,76	48,27	45,85	42,31	34,44	29,70	24,73	23,77	21,90	28,68	24,25	38,81
2013	23,30	28,17	33,37	27,17									9,33
2014													
2015	105,77	16,29	31,21	21,69	10,40	15,07	10,96	5,65	5,16	5,89	7,68	17,22	21,08
2016	15,07	41,78	105,95	28,44	17,49	23,52	18,14	16,51	16,19	15,87	16,19	48,00	30,26
2017	29,15	110,66	27,37	10,62	8,30	6,90	73,38	56,40	60,03				31,90
MÍNIMO	23,30	16,29	22,43	21,69	10,40	15,07	8,72	5,65	5,16	5,89	7,68	17,22	
MÉDIA	73,14	64,09	63,42	51,22	45,22	41,19	34,90	32,05	31,20	29,14	36,05	50,76	
MÁXIMO	165,01	148,66	230,29	159,43	140,61	131,78	101,90	84,69	87,97	69,51	79,93	149,83	

ANEXO – II: HISTÓRICO FLUVIOMÉTRICO

Histórico de Vazões Máximas (1980 a 2017) Estação Fluviométrica Raul Soares - Código: 41340000 (m³/s)

Período	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Média Anual
1980													
1981													
1982	2268,58	367,83	2296,72	901,61	665,51	454,39	140,61	111,30	251,16	363,61	964,15	4838,66	191,46
1983	550,28	295,19	350,57	139,94	146,25	155,69	106,40	60,68	97,36	217,68	258,72	823,27	266,84
1984	168,29	81,66	106,40	140,68	55,96	43,83	43,22	83,95	80,14	75,65	320,51	784,05	165,36
1985	1108,48	478,56	697,90	230,72	121,80	82,42	72,71	60,00	83,95	92,55	236,23	309,49	297,90
1986	465,84	265,61	188,32	84,72	162,43	58,64	75,86	73,20	35,06	33,99	105,40	233,71	148,57
1987	200,75	80,60	339,05	162,16	112,81	106,87	40,58	34,52	64,07	71,87	95,97	449,39	146,55
1988	184,52	546,95	501,66	103,20	77,88	63,44	44,57	37,24	87,49	88,19	98,84	245,88	173,32
1989	192,57	185,52	242,54	54,08	39,46	83,33	68,59	63,44	75,86	98,84	326,45	794,21	185,41
1990	251,49	240,32	115,82	79,91	131,95	37,79	39,46	59,64	54,08	70,56	203,85	149,11	119,50
1991	890,79	268,63	518,09	178,58	98,12	59,64	51,05	46,32	64,71	118,85	159,33	188,53	220,22
1992	813,90	712,29	128,06	93,83	81,28	56,53	67,29	48,67	103,20	116,58	252,62	601,73	256,33
1993	252,62	225,01	350,57	176,61	73,20	53,47	51,05	38,90	116,58	124,20	139,84	285,03	157,26
1994	392,68	94,54	536,24	132,74	71,87	57,15	28,44	40,02	40,02	62,16	218,58	491,32	180,48
1995	124,97	181,54	286,22	124,20	62,16	49,26	39,46	33,99	99,57	175,63	158,39	1421,41	229,73
1996	494,27	178,58	216,45	98,12	67,94	45,15	38,35	44,57	75,19	110,57	758,92	504,63	219,40
1997	866,70	295,19	350,57	139,94	85,41	84,02	59,64	51,05	90,29	102,47	239,21	395,38	229,99
1998	516,58	367,44	106,87	107,61	103,20	145,47	63,44	67,94	129,61	139,84	166,92	232,62	178,96
1999	238,11	110,57	264,02	59,64	47,49	46,90	36,15	29,26	44,00	76,54	211,16	205,93	114,15
2000	470,89	436,68	178,58	59,92	70,92	47,29	43,47	46,19	95,30	45,10	158,39	455,09	175,65
2001	289,79	60,64	165,96	48,52	49,58	30,89	28,24	45,90	118,20	68,26	146,37	606,52	138,24
2002	650,32	384,36	181,44	77,48	93,65	42,89	41,76	37,35	128,40	55,45	164,26	500,64	196,50
2003	1162,36	73,38	170,65	116,74	72,67	53,88	40,00	37,74	35,53	41,15	207,40	403,92	201,29
2004	603,54	1477,84	520,71	106,04	87,28	62,35							
2005								40,58	186,23	42,89	283,63	527,15	90,04
2006	190,20	298,70	266,58	98,86	53,88	37,74	34,98	32,30	29,70	85,03	136,54	166,83	119,28
2007	550,28	295,19	350,57	139,94	39,43	40,00	31,25	27,67	21,90	77,68	66,41	200,25	153,38
2008	465,44	271,66	373,70	160,23	35,80	29,19	26,92	41,73	66,76	94,16	196,71	633,13	199,62
2009	604,30	266,02	326,65	227,24	62,35	50,12	45,85	45,26	169,70	284,78	125,21	446,39	221,16
2010	788,49	200,25	438,31	157,43	61,69	36,08	31,25	28,17	53,25	125,21	329,68	537,22	232,25
2011	346,80	91,85	322,43	112,58	39,43	42,89	30,47	27,42	22,83	91,85	354,24	888,27	197,59
2012	1011,16	310,49	253,22	112,58	161,17	55,15	33,63	32,83	44,66	37,74	276,76	90,32	201,64
2013	192,19	246,63	101,23	132,14									56,02
2014													
2015	523,20	202,05	210,43	65,01	97,72	23,33	36,59	15,68	38,42	74,61	162,24	91,05	128,36
2016	639,58	116,30	343,81	87,77	76,03	90,86	28,44	19,79	93,09	78,61	173,32	524,46	189,34
2017	239,43	328,31	119,09	47,22	31,32	39,49	95,22	65,87	140,61				92,21
MINIMO	124,97	60,64	101,23	48,52	35,80	23,33	26,92	15,68	21,90	33,99	59,70	90,32	
MEDIA	557,20	299,74	358,02	144,47	100,98	72,12	49,71	46,56	83,97	104,11	236,96	581,50	
MAXIMO	2268,58	1477,84	2296,72	901,61	665,51	454,39	140,61	111,30	251,16	363,61	964,15	4838,66	

ANEXO – II: HISTÓRICO FLUVIOMÉTRICO

Histórico de Vazões Médias (1980 a 2017) Estação Fluviométrica Raul Soares - Código: 41340000 (m³/s)

Período	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Média Anual
1980													
1981													
1982	409,98	199,24	374,86	260,29	176,86	154,02	118,96	98,86	112,08	101,43	143,64	1068,71	82,90
1983	132,44	80,28	163,19	36,13	88,71	78,01	66,49	55,62	61,90	91,61	139,13	274,53	105,67
1984	111,02	70,84	73,16	66,27	49,60	42,02	39,42	42,18	47,40	41,78	68,44	174,77	68,91
1985	392,44	217,05	274,65	134,03	90,89	72,90	61,82	54,57	52,70	54,24	83,93	121,87	134,26
1986	189,88	131,57	91,09	65,29	64,06	49,93	45,34	40,68	32,12	29,30	39,26	108,42	73,91
1987	94,81	55,02	100,70	69,11	50,25	44,95	35,66	30,24	33,93	31,40	41,69	197,04	65,40
1988	133,72	212,69	115,39	60,94	48,24	47,04	38,94	33,76	31,03	40,01	48,24	100,23	75,85
1989	80,77	101,16	97,82	45,41	35,89	40,35	36,40	35,44	32,77	50,62	90,19	220,20	72,25
1990	90,30	80,04	63,83	47,00	46,88	35,18	34,50	36,19	36,74	39,67	58,20	67,00	52,96
1991	292,77	163,21	133,98	95,93	64,94	53,45	46,35	40,45	44,01	55,36	73,75	89,73	96,16
1992	316,82	220,74	85,95	69,24	60,53	48,80	45,85	43,56	51,61	57,80	140,78	175,99	109,81
1993	124,94	117,60	163,19	97,91	55,42	49,15	40,77	36,49	47,97	58,36	68,64	106,27	80,56
1994	218,33	67,44	143,41	77,09	55,49	48,13	22,84	38,24	36,78	44,15	60,77	124,24	78,07
1995	59,32	129,67	104,34	70,66	50,07	40,57	37,13	31,98	32,95	52,97	64,27	294,44	80,70
1996	177,48	89,91	92,39	60,02	47,04	39,24	33,69	32,37	47,00	41,49	152,81	181,85	82,94
1997	432,68	80,28	163,19	36,13	70,04	64,25	53,49	45,26	44,88	50,10	57,04	135,20	102,71
1998	145,85	106,83	79,09	82,67	54,69	62,75	56,29	60,50	76,81	65,68	81,36	90,31	80,24
1999	73,63	56,09	86,08	42,92	39,25	37,51	25,37	25,58	26,71	29,91	85,81	111,94	53,40
2000	162,52	171,17	86,98	50,10	50,53	40,30	39,00	34,73	38,20	28,83	80,48	98,22	73,42
2001	99,67	44,53	58,41	37,46	32,09	27,44	26,06	26,04	31,47	35,67	71,10	128,28	51,52
2002	180,33	200,40	85,04	53,15	47,80	39,08	36,14	30,72	40,35	30,97	69,95	162,69	81,38
2003	408,92	70,43	103,76	70,66	54,45	45,58	37,04	34,18	31,78	28,96	69,59	105,54	88,41
2004	324,72	479,20	349,66	74,56	59,80	52,09				33,48	31,07	60,15	162,75
2005								33,53	47,68	31,10	89,81	153,38	71,10
2006	69,73	93,57	123,48	53,95	45,07	35,34	31,38	27,25	26,31	37,34	56,27	108,31	59,00
2007	132,44	80,28	163,19	36,13	34,94	30,73	27,20	23,78	20,14	28,37	31,58	61,72	55,87
2008	62,79	95,05	103,75	65,48	31,74	26,91	23,96	22,25	30,39	30,25	54,40	194,91	61,82
2009	202,64	120,68	95,10	89,48	48,56	39,86	35,39	30,76	41,23	72,95	59,91	161,43	83,17
2010	131,47	62,81	90,75	51,74	39,39	32,29	28,49	25,28	24,26	39,46	102,98	103,56	61,04
2011	141,47	43,94	119,98	53,30	34,92	31,64	28,08	24,55	21,15	37,39	87,22	255,49	73,26
2012	316,11	95,81	107,84	63,27	55,91	40,81	32,21	29,35	27,33	26,19	63,29	39,51	74,80
2013	74,97	65,67	50,87	44,75									59,06
2014													
2015	218,48	63,65	70,62	32,85	25,30	16,86	15,24	8,82	14,71	14,49	33,03	52,86	47,24
2016	132,44	80,28	163,19	36,13	32,48	31,09	22,84	17,93	24,38	24,50	57,22	160,24	65,23
2017	53,17	174,17	42,05	18,67	13,96	12,17	81,00	63,34	67,98				58,50
MÍNIMO	59,32	43,94	50,87	32,85	25,30	16,86	15,24	8,82	14,71	14,49	31,07	39,51	
MÉDIA	187,61	120,84	125,49	68,56	55,14	47,33	39,98	36,56	40,14	44,10	74,96	166,52	
MÁXIMO	432,68	479,20	374,86	260,29	176,86	154,02	118,96	98,86	112,08	101,43	152,81	1068,71	