

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Instituto de Geociências

Programa de Pós-Graduação em Geologia

Mateus Alfenas De Filippo

**COMPORTAMENTO HIDRÁULICO DO AQUÍFERO CÁRSTICO LAGOA DO
JACARÉ E SUA RELAÇÃO COM O RIO VERDE GRANDE, EM REGIÃO DE
CONFLITO HÍDRICO NO NORTE DE MINAS GERAIS**

Nº 239

BELO HORIZONTE

DATA 28/10/2022

Mateus Alfenas De Filippo

**COMPORTAMENTO HIDRÁULICO DO AQUÍFERO CÁRSTICO LAGOA DO
JACARÉ E SUA RELAÇÃO COM O RIO VERDE GRANDE, EM REGIÃO DE
CONFLITO HÍDRICO NO NORTE DE MINAS GERAIS**

Versão final

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Geologia.

Área de Concentração: Geologia Econômica e Aplicada

Orientador: Dr. Paulo Henrique Ferreira Galvão

Coorientadora: Dra. Marília Carvalho de Melo

Belo Horizonte - MG

2022

D313c
2022

De Filippo, Mateus Alfenas.

Comportamento hidráulico do Aquífero Cárstico Lagoa do Jacaré e sua relação com o rio Verde Grande, em região de conflito hídrico no norte de Minas Gerais / Mateus Alfenas De Filippo. – 2022.

244 f., enc. il. (principalmente color.)

Orientador: Paulo Henrique Ferreira Galvão.

Coorientadora: Marília Carvalho de Melo.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2022.

Área de concentração: Geologia Econômica e Aplicada.

Bibliografia: f. 91-96.

Inclui apêndice e anexo.

1. Hidrogeologia – Teses. 2. Aquíferos – Minas Gerais – Teses. 3. Carste – Minas Gerais – Teses. 4. Poços – Teses. I. Galvão, Paulo. II. Melo, Marília Carvalho de. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. Sampaio. IV. Título.

CDU: 556.3(815.1)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA DO IGC-UFMG



FOLHA DE APROVAÇÃO

Comportamento hidráulico do aquífero cárstico Lagoa do Jacaré e sua relação hidráulica com o rio Verde Grande, em região de conflito hídrico no norte de Minas Gerais

MATEUS ALFENAS DE FILIPPO

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOLOGIA, como requisito para obtenção do grau de Mestre em GEOLOGIA, área de concentração GEOLOGIA ECONÔMICA E APLICADA, pelo Programa de Pós-graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais.

Aprovada em 28 de outubro de 2022, pela banca constituída pelos membros:

Prof. Paulo Henrique Ferreira Galvão – Orientador
UFMG

Prof. Rodrigo Sérgio de Paula
UFMG

Prof. Lucas Padoan de Sá Godinho
USP

Belo Horizonte, 28 de outubro de 2022.

À Isadora

AGRADECIMENTOS

À Pró-reitoria de pós-graduação e ao Programa de Pós-graduação em Geologia do Instituto de Geociências da UFMG.

Às empresas do *Grupo A.R.G.: Fortaleza de Santa Terezinha Agricultura e Pecuária e Carapreta Carnes Nobres*, em nome dos Srs. Bruno L. M. Carneiro, Frederico Q. V. Campos e Rodolfo Giannetti Geo, pelo fornecimento de todos os dados necessários ao estudo.

À *MDGEO Hidrogeologia e Meio Ambiente* e ao Antônio C. Bertachini, pelo tempo em que estive a frente dos trabalhos de pesquisa hidrogeológica na área.

À *IGEO Hidrogeologia* e ao meu sócio e amigo Breno A. Pereira, por fazerem parte da minha vida. E ao Luan M. F. Meireles, pela ajuda na confecção dos mapas.

Ao meu orientador Paulo H. F. Galvão, por todo apoio, compreensão, disponibilidade e direcionamentos.

E principalmente, à minha esposa Isadora P. Tavares De Filippo, grande apoiadora, conselheira e motivadora incondicional, sem a qual, eu não chegaria até aqui.

RESUMO

A bacia do rio Verde Grande, assim como outras na região norte de Minas Gerais, passa por episódios de escassez hídrica. No município de São João da Ponte, há um megaempreendimento do setor agropecuário, cujo abastecimento e irrigação é realizado pela exploração de água subterrânea, via bateria de poços tubulares. Ainda que o recurso hídrico superficial local seja escasso, a bateria explora o Aquífero Cárstico Lagoa do Jacaré, de grande potencial hídrico. Assim, foi feito um estudo hidrogeológico na área para avaliar a sustentabilidade da exploração no que se refere a potenciais impactos no rio Verde Grande, principal rio da região e foco de conflitos hídricos. As questões levantadas são: qual o comportamento do aquífero cárstico frente à exploração de água subterrânea? Existe conexão hidráulica local entre o aquífero cárstico e o rio Verde Grande? Para tal, foram avaliados, entre outubro de 2017 e junho de 2019, os dados mensais de vazão de exploração da bateria de poços, níveis d'água em poços de monitoramento, descargas do rio Verde Grande, precipitações, e dos ensaios de bombeamento, para estimar parâmetros hidráulicos do aquífero. Os resultados indicam um comportamento resiliente do aquífero cárstico frente à exploração de água subterrânea pela bateria de poços e a ausência de conexão hidráulica direta com o rio Verde Grande na área, contrariando a hipótese de existência de impacto na disponibilidade hídrica desse rio decorrente de superexploração localizada de água subterrânea.

Palavras-chave: Hidrogeologia. Aquífero cárstico. Bateria de poços. Conexão hidráulica. Rio Verde Grande.

ABSTRACT

The Verde Grande watershed, like others in the Minas Gerais state northern region, goes through episodes of water scarcity. At the São João da Ponte municipality, there is an agricultural mega-enterprise, whose water supply and irrigation are carried out by the exploitation of groundwater via a set of tubular wells. The local surface water resource is restricted; thus, the tubular wells exploit the Lagoa do Jacaré Karstic Aquifer, with high water availability. In this study, a hydrogeological study was carried out in the area to assess the sustainability of this exploitation in terms of potential impacts to the Verde Grande river, the main river in the region, a focus of water conflicts. The questions raised are: what is the karst aquifer response in relation to groundwater exploitation? Is there a local hydraulic connection between the karst aquifer and the Verde Grande river? Aiming to answer these questions, series of hydrological and hydrogeological data were collected and analyzed between october/17 and june/19, including monthly data on pumping rates and water level from wells, discharges from the Verde Grande river, rainfall, and pumping tests were carried out in order to estimate the aquifer hydraulic parameters. The results indicate a resilient behavior of the karst aquifer against the groundwater exploitation by the set of wells, and the absence of direct hydraulic connection with the Verde Grande river in the area, contradicting the hypothesis of an impact on the water availability to this river due to localized overexploitation of groundwater.

Keywords: Hydrogeology. Karst aquifer. Set of wells. Hydraulic connection. Verde Grande river.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Bloco diagrama conceitual dos componentes principais de um ambiente cárstico bem desenvolvido. Fonte: Modificado de Grotzinger & Jordan (2014) por Pereira (2021).	20
Figura 2: Bloco diagrama de um aquífero cárstico e seus tipos de recarga (alogenica e autogenica) e formas de infiltração (pontual e difusa). Fonte: Modificado de Goldscheider & Drew (2007), in Tavares (2019).....	23
Figura 3: Esquema conceitual de reservas renovável e permanente de um aquífero cárstico, submetido à recarga e à exploração de água subterrânea por poços tubulares. Fonte: Pereira, 2022.	24
Figura 4: Localização e acessos à área, com os limites da Fazenda Santa Mônica (em vermelho).	28
Figura 5: Mapa geológico esquemático do Cráton São Francisco (Fonte: Retirado de Romano <i>et al</i> , 2015).	30
Figura 6: Mapa Geológico-estrutural do Município de São João da Ponte – Escala 1:100.000 (Fonte: Modificado de CODEMIG e UFMG, 2015).	32
Figura 7: Geologia da área de estudo, com destaque para os calcários aflorantes da Formação Lagoa do Jacaré na calha do Riacho Salobro e sobrepostos por coberturas detrito-lateríticas na maior parte da área e por coberturas aluvionares ao longo da calha do rio (Fonte: adaptado de CODEMIG & UFMG, 2013 e 2015, e de MDGEO, 2017a).....	34
Figura 8: Histórico plurianual de precipitações registradas no pluviômetro da fazenda entre os anos de 1981 e 2019 (totais referenciados ao ano hidrológico).	39
Figura 9: Médias mensais de precipitações, a partir dos registros no pluviômetro da fazenda entre os anos de 1981 e 2019.	40
Figura 10: Contexto hidrográfico regional – Bacia do Rio Verde Grande (Fonte: ANA, 2018).	42
Figura 11: Contexto hidrográfico municipal - Sub-bacia do Riacho Salobro.....	43
Figura 12: Aquíferos e poços de bombeamento e de monitoramento existentes na área de estudo.	45
Figura 13: Localização dos poços de bombeamento, poços de monitoramento do nível d'água e das estações fluviométricas.....	56
Figura 14: Volumes de água subterrânea explorados mensalmente pela bateria de poços de bombeamento no período de outubro/2017 a junho/2019.....	69
Figura 15: Evolução do nível d'água nos poços de monitoramento situados entre a bateria de poços e o rio Verde Grande, e pluviometria mensal, no período de outubro/2017 a junho/2019.....	70
Figura 16: Extrato do balanço hídrico da região no período de outubro/2017 a junho/2019.	75
Figura 17: Gráficos de frequência dos parâmetros de produção dos poços tubulares e dos parâmetros hidráulicos do aquífero cárstico fissural obtidos nos ensaios de bombeamento.....	76
Figura 18: Mapas de cargas hidráulicas e fluxos subterrâneos representativos do auge dos períodos chuvoso (fevereiro/2018, acima) e seco (setembro/2018, abaixo) no mesmo ano.....	82
Figura 19: Aquíferos, traçado dos perfis hidrogeológicos e demais elementos importantes a compreensão da conexão hidráulica ilustrada nas seções verticais adiante.....	84
Figura 20: Perfis hidrogeológicos com a relação hidráulica entre o aquífero cárstico e rio Verde Grande. Os níveis estáticos dos períodos seco e chuvoso são semelhantes e a diferença entre as cotas de fundo do rio e do NA do aquífero nos PM mais próximos é da ordem de 12 m, ou seja, a calha do rio está cerca de 12 m acima do NA do aquífero.	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Sequência estratigráfica regional simplificada do Grupo Bambuí.	31
Tabela 2: Variação do nível d'água nos poços de monitoramento em períodos comparativos distintos. (Sinal positivo: elevação do NA naquele período avaliado. Sinal negativo: diminuição do NA naquele período avaliado).	71
Tabela 3: Resultados obtidos nos ensaios de bombeamento individuais realizados nos poços tubulares por Aguacenter e MDGEO, 2016.....	79

LISTA DE FOTOS

Foto 1: Feições cársticas dos calcários Lagoa do Jacaré. A – Lapiás. B – Estruturas circulares de dissolução. C – Plano de dissolução paralelo ao acamamento. D condutos cársticos (Fonte: Adaptado de MDGEO, 2017a).....	35
Foto 2: A e B – blocos de calcarenito na calha do Salobro; C – feições de dissolução em calcarenito e D – bandamento de calcarenito e calcário cinza escuro (Fonte: Modificado de MDGEO, 2017a).	36
Foto 3: A – Afloramento em laje de folhelho no leito do rio Verde Grande. B – Intercalação pelítica de cor avermelhada. C e D – Lateritas próximas ao leito do Riacho Salobro (Fonte: MDGEO, 2017a).	36
Foto 4: Feições cársticas e domínios geomorfológicos: A – Lapiás, condutos e planos de dissolução paralelos ao acamamento dos calcários. B – Superfície de aplainamento, ausência de afloramentos – região norte do Riacho Salobro. C – Maciço de calcário (antiga pedreira) no leito do Riacho Salobro – região oeste da fazenda. D – Laje de calcário (Fonte: Modificado de MDGEO, 2017a).	37
Foto 5: Poços tubulares de bombeamento da bateria, exemplificados em cada um dos distintos setores da fazenda Santa Mônica (STM-07, ITA-08, J-06, CPA-02, JD-02 e STI-07).	48
Foto 6: Poços da rede de monitoramento do nível d'água, no ato das leituras. Exemplos de poços novos, construídos em outubro de 2017 (PM's 01, 03, 08 e 10) e de antigos poços de bombeamento desativados, destinados exclusivamente ao monitoramento do nível d'água (ITA-10 e CPA-11).....	53
Foto 7: Estações Fluviométricas instaladas no riacho Salobro e no Rio Verde Grande. A) VZ-01 (salobro), B) VZ-02, C) VZ-03, D) VZ-05, E) VZ-06, F) VZ-07. (Fonte: acervo A.R.G).	55
Foto 8: Exemplo de hidrômetro (A) e painel com horímetro (B) instalados nos poços tubulares.	57
Foto 9: Leituras de nível d'água com medidor de nível manual.	58
Foto 10: Exemplo ilustrativo de micromolinetes fluviométricos com contador de pulsos (A) e das régua fluviométricas instaladas (B).	58
Foto 11: Equipamento GPS GNSS High Target V60 utilizado levantamento topográfico planialtimétrico da calha do rio Verde Grande pela Nedro (2020).	65
Foto 12: Levantamento topográfico planialtimétrico da calha do rio Verde Grande. Fonte: Nedro (2020).	66

LISTA DE SIGLAS

ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas

ANA – Agência Nacional de Águas

CODEVASF - Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba

CODEMIG - Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CERH – Conselho Estadual de Recursos Hídricos

CPMTC – Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa (UFMG)

CPRM – Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais do Brasil (atual Serviço Geológico Brasileiro)

DNOCS - Departamento Nacional de Obras Contra a Seca

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FSTAP - Fortaleza de Santa Teresinha Agricultura e Pecuária

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

SEMAD – Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais

SIAGAS - Sistema de Informação de Águas Subterrâneas (CPRM)

SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

UPGRH - Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais

LISTA DE ABREVIATURAS

BH – Balanço Hídrico

ETP – Evapotranspiração Potencial

ETR – Evapotranspiração Real

NA – Nível d'água

PM – Poço de monitoramento do nível d'água

PT – Poço tubular

RNA – Rebaixamento do nível d'água

RVG – Rio Verde Grande

UTM - Universal Transversa de Mercator

VZ – Estação fluviométrica

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Objetivos.....	18
<i>1.1.1 Objetivo geral.....</i>	<i>18</i>
<i>1.1.2 Objetivos específicos.....</i>	<i>18</i>
1.2 Justificativas.....	19
1.3 Revisão bibliográfica	20
<i>1.3.1 Referencial teórico sobre carste e aquíferos cársticos.....</i>	<i>20</i>
<i>1.3.2 Estudos hidrogeológicos acadêmicos na região da bacia do rio Verde Grande</i>	<i>26</i>
<i>1.3.3 Projetos de gestão pública de recursos hídricos na região da bacia do rio Verde Grande</i>	<i>27</i>
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	28
2.1 Localização.....	28
2.2 Geologia	30
2.3 Geomorfologia, solo e cobertura vegetal.....	37
2.4 Climatologia.....	39
2.5 Hidrografia.....	41
2.6 Hidrogeologia.....	44
3. BATERIA DE POÇOS TUBULARES E REDE DE MONITORAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS	47
3.1 Bateria de poços tubulares de bombeamento	47
<i>3.1.1 Perfis litológicos dos poços tubulares</i>	<i>49</i>
3.2 Poços de monitoramento de nível d'água	52
3.3 Estação meteorológica	54
3.4 Estações fluviométricas	54
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	57
4.1 Avaliações da exploração dos poços e do monitoramento hidrogeológico.....	57
4.2 Balanço hídrico.....	60
4.3 Superfícies potenciométricas e fluxos subterrâneos	62

4.4	Ensaios de bombeamento e parâmetros hidráulicos do aquífero	63
4.5	Levantamento topográfico da calha do rio Verde Grande	65
4.6	Perfis hidrogeológicos	67
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
5.1	Exploração da bateria de poços.....	68
5.2	Monitoramento do nível d'água.....	69
5.2	Monitoramento de níveis e vazões do rio Verde Grande.....	73
5.3	Balanço hídrico.....	75
5.4	Ensaios de bombeamento e parâmetros hidráulicos	76
5.5	Superfícies potenciométricas	81
5.6	Altimetria da calha do RVG, perfis hidrogeológicos e conexão hidráulica	84
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	88
7.	REFERÊNCIAS	91
	ANEXO – Perfis litológicos e construtivos dos poços tubulares.....	98
	APÊNDICE - Artigo: Comportamento hidráulico do aquífero cárstico Lagoa do Jacaré e sua relação hidráulica com o rio Verde Grande, norte de Minas Gerais.....	244

1. INTRODUÇÃO

Aquíferos cársticos são conhecidos pela anisotropia, heterogeneidade e grande potencial de produção de água subterrânea que, por sua vez, estão associados às descontinuidades geradas pelo processo de dissolução de rochas carbonáticas, assim como às falhas e fraturas. Por esse motivo, apresentam ampla variabilidade de parâmetros hidráulicos, com diferenças de muitas ordens de magnitude, a depender da característica da rocha, tipo de porosidade, direção de fluxo e escala de avaliação, entre outros (Ford e Williams, 2007).

Outra característica marcante de aquíferos cársticos é a complexidade da relação de conexão hidráulica com corpos hídricos superficiais, cujo fluxo de água subterrânea pode ocorrer em diferentes condições de porosidade (granular, de fraturas, ou de condutos), e em um regime de fluxo em que o aquífero pode se comportar de maneira influente, efluente ou mesmo independente, desconectado de corpos hídricos da área (Feitosa *et al.* 2008). O conhecimento dessa relação é de suma importância, sobretudo, em situações em que há grande exploração de água subterrânea em aquífero cárstico, associado à escassez hídrica superficial ou conflito pelo uso de água (Goldscheider & Drew, 2007).

Estudos semelhantes recentes, envolvendo a conexão hidráulica de corpos hídricos superficiais com aquíferos cársticos também associados aos calcários do Grupo Bambuí em Minas Gerais, podem ser citados, como Tavares (2020) e Alves (2020), que estudaram a relação entre aquíferos cársticos e a redução do volume de água em lagoas, respectivamente, no Parque Estadual do Sumidouro e no município de Sete Lagoas. Ambos os estudos indicaram que o aumento da demanda hídrica subterrânea cárstica interferem diretamente na dinâmica hidráulica entre o aquífero e

as lagoas, impactando no volume de água e, conseqüentemente, na redução do espelho d'água.

A área em estudo está localizada na zona rural do município de São João da Ponte, no norte do estado de Minas Gerais, em região de clima semiárido, geologicamente caracterizado por rochas calcárias da Formação Lagoa do Jacaré (Grupo Bambuí) e hidrograficamente inserida na sub-bacia do Riacho Salobro, próximo a sua foz no rio Verde Grande, importante afluente da margem direita do Rio São Francisco e principal rio da região.

A bacia do rio Verde Grande, assim como outras na região norte de Minas Gerais, vem passando por episódios de racionamento no abastecimento público e conflitos pelo uso da água. Há uma demanda de abastecimento hídrico que, predominantemente, supera a oferta de água superficial em grande parte da bacia, acarretando assim em uma demanda cada vez maior de abastecimento por água subterrânea. Por esse motivo, estudos no âmbito da gestão pública de recursos hídricos têm sido realizados por órgãos gestores, e de pesquisa, nessa bacia, onde se destacam o Novo Marco Regulatório da bacia do Rio Verde Grande (ANA, 2018), o Projeto Águas do Norte de Minas – PANM (CPRM, 2021) e, mais recentemente, o Projeto Verde Grande, em desenvolvimento por esses dois órgãos desde 2021.

Nesse contexto de escassez hídrica da bacia do Rio Verde Grande, encontra-se um megaempreendimento do setor agropecuário, denominado Fazenda Santa Mônica, de propriedade do Grupo A.R.G., cujo suprimento de água para abastecimento e irrigação é obtido principalmente pela exploração de água subterrânea em uma bateria de poços tubulares de grandes proporções. Ainda que o recurso hídrico superficial seja escasso, a bateria de poços explora um sistema

aquífero cárstico bem desenvolvido nos calcários da Formação Lagoa do Jacaré, de grande potencial hídrico, atestada por altas vazões de poços tubulares.

No âmbito do licenciamento ambiental do empreendimento agropecuário, mais precisamente, no que se refere à gestão e regulação de recursos hídricos, o Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM, órgão gestor público estadual, solicitou ao empreendedor a realização de uma pesquisa hidrogeológica na área, no intuito de avaliar a sustentabilidade do empreendimento, no que se refere à potencialidade de impactos causados pela exploração de água subterrânea pela bateria de poços tubulares na disponibilidade de recursos hídricos local.

A pesquisa hidrogeológica para a avaliação da captação de água subterrânea pelos poços da Fazenda Santa Mônica foi desenvolvida na esfera profissional entre os anos de 2017 e 2018 pela empresa MDGEO Hidrogeologia em Meio Ambiente Ltda (MDGEO, 2018), sob a coordenação do hidrogeólogo autor do presente estudo acadêmico. O monitoramento quantitativo dos recursos hídricos (volumes, vazões e níveis) foi continuado pelo próprio empreendedor, que disponibilizou o banco de dados até o mês de junho de 2019 para este estudo.

Ressalta-se a importância da realização dessa pesquisa hidrogeológica no que diz respeito à gestão de água subterrânea no estado de Minas Gerais, tanto por se tratar de uma das principais bacias em situação de conflito hídrico no estado, quanto pela abordagem hidrogeológica pioneira empregada pelas entidades envolvidas, no que se refere à avaliação da sustentabilidade do empreendimento, sob a perspectiva de exploração de água subterrânea por bateria de poços, em escala regional, contrapondo a avaliação poço a poço até então praticada pelo IGAM nos processos de outorga de captação de água subterrânea, fora do segmento da mineração.

No entanto, ao longo do trabalho realizado na esfera profissional (MDGEO, 2018), algumas questões técnico-científicas não foram abordadas, o que motivou o desenvolvimento deste estudo na esfera acadêmica, cujas principais perguntas científicas são: qual o comportamento do aquífero cárstico frente à exploração de água subterrânea por meio da bateria de poços? Existe uma conexão hidráulica entre o aquífero cárstico e o rio Verde Grande na área de estudo?

Para responder essas perguntas, durante os anos de 2020 e 2021 foram consolidadas e reavaliadas todas as informações disponíveis até o período pós-estudos hidrogeológicos (junho de 2019), referentes à produção da bateria de poços de bombeamento (volumes e vazões) e ao monitoramento dos recursos hídricos (níveis de água em poços de monitoramento, chuvas em estação pluviométrica e níveis e vazões em estações fluviométricas); elaborado o balanço hídrico e mapas de superfícies potenciométricas, reavaliados os dados de ensaios de bombeamento para determinação dos parâmetros hidráulicos do aquífero, bem como o levantamento topográfico da calha do rio Verde Grande e a elaboração de mapa e perfis hidrogeológicos, para elucidar o entendimento da conexão hidráulica entre aquífero e o rio. Como fruto deste estudo, também foi produzido um artigo científico.

Por fim, o estudo é aqui apresentado no formato tradicional de dissertação de mestrado, contemplando uma revisão bibliográfica, a caracterização da área de estudos, com destaque no seu contexto hidrogeológico e na bateria de poços; a apresentação dos materiais e métodos utilizados no desenvolvimento do trabalho, resultados obtidos, discussão, conclusões e recomendações.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Caracterizar o comportamento hidráulico do aquífero cárstico Lagoa do Jacaré e sua relação hidráulica com o rio Verde Grande na área da Fazenda Santa Mônica, em região caracterizada por conflitos pelo uso da água superficial e subterrânea.

1.1.2 Objetivos específicos

- Atualizar o modelo hidrogeológico conceitual da área, a luz dos dados produzidos após a conclusão dos estudos hidrogeológicos anteriores;
- Avaliar o comportamento do aquífero cárstico Lagoa do Jacaré diante da exploração de água subterrânea pela bateria de poços;
- Conceituar e caracterizar uma bateria de poços, no âmbito da gestão de recursos hídricos;
- Confrontar os dados da rede de monitoramento hidrogeológica com os dados do levantamento topográfico da calha do rio Verde Grande;
- Avaliar se existe ou não uma conexão hidráulica local entre o aquífero e o rio Verde Grande, na área da fazenda.

1.2 Justificativas

Ao longo da pesquisa hidrogeológica anterior realizada na esfera profissional para fins de consultoria, sob coordenação do presente autor, algumas questões técnico-científicas não foram esclarecidas, justificando o desenvolvimento deste estudo acadêmico, com uma abordagem complementar.

A realização deste estudo foi motivada pela vasta disponibilidade de dados hidrogeológicos gerados durante e posterior à referida pesquisa hidrogeológica anterior, pela possibilidade de se trabalhar esses dados, de maneira complementar aos trabalhos já realizados e obter as respostas até então desconhecidas, em uma bacia hidrográfica de grande importância econômica, social e para a gestão pública de recursos hídricos.

Acrescenta-se também às justificativas, os recorrentes questionamentos, tanto da sociedade civil quanto dos órgãos ambientais nas esferas municipal, estadual e federal, no que diz respeito ao suposto impacto, causado pelo bombeamento de água subterrânea pela bateria de poços da Fazenda Santa Mônica, na disponibilidade hídrica do rio Verde Grande nesta região.

Assim sendo, entende-se que este estudo tem potencial de referência bibliográfica para outros estudos na bacia do Rio Verde Grande e, como embasamento técnico relevante para o empreendedor e para órgãos públicos de pesquisa e/ou de gestão de recursos hídricos.

1.3 Revisão bibliográfica

1.3.1 Referencial teórico sobre carste e aquíferos cársticos

Carste é um termo da língua portuguesa derivado do alemão *Karst*, popularizado no estudo de Cvijić (1893) na região do planalto de Kras, região localizada entre a Itália e a Eslovênia. É nessa região que foram desenvolvidos os primeiros estudos científicos que difundiram essa terminologia (Pessoa, 2005), comumente utilizada na definição de ambientes com formas de relevo e sistemas de drenagem diferenciados pelos processos de dissolução das rochas carbonáticas, dando origem a feições típicas como cavernas, dolinas, sumidouros, drenagens descontínuas em superfície e, sistemas de drenagens subterrâneas (Ford e Williams, 2007).

A representação das principais estruturas e feições geomorfológicas características de um carste teórico bem desenvolvido são ilustradas na Figura 1.

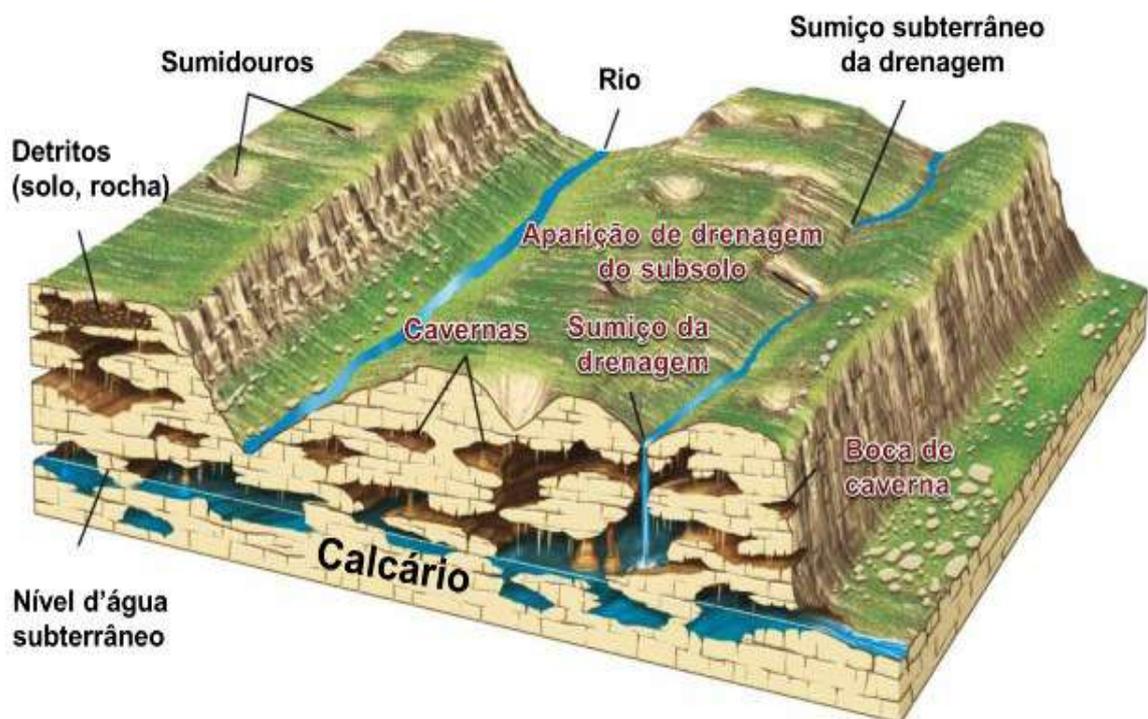


Figura 1: Bloco diagrama conceitual dos componentes principais de um ambiente cárstico bem desenvolvido. Fonte: Modificado de Grotzinger & Jordan (2014) por Pereira (2021).

O carste pode então ser entendido como um ambiente hidrogeológico típico, derivado da dissolução de rochas solúveis, geralmente os calcários e dolomitos (ou evaporitos), em que é comum a presença de feições de relevo como dolinas, uvalas, lapíás e sumidouros; grutas e cavernas; rede de drenagem superficial pouco desenvolvida (ou inexistente) e rede de fluxo subterrâneo bem desenvolvida em condutos.

O processo de carstificação ocorre principalmente a partir do intemperismo químico sobre as rochas carbonáticas, que sofrem dissolução ao contato com água naturalmente acidulada pelo gás carbônico, que percola, primeiramente, em descontinuidades, e atua na formação e ampliação de condutos e cavernas (Ford & Williams, 2007). A renovação do fluxo e da acidez, que promove a dissolução dos carbonatos, é promovida de forma natural majoritariamente pelos sucessivos ciclos de recarga, fluxo e descarga do sistema aquífero, ou, em escala muito pontual e de curta duração, de forma artificial, como por exemplo no caso do bombeamento por poços tubulares.

Em relação à profundidade em que ocorrem, o carste pode ser classificado como exocarste (na superfície do terreno), epicarste (logo abaixo, na região de transição do solo/saprolito para rocha sã) e endocarste (na rocha dura, em maiores profundidades). O que se vê nos mapas topográficos ou geomorfológicos são, predominantemente, as feições do exocarste, que por sua vez, são as expressões de superfície do desenvolvimento do epicarste (Goldscheider & Drew, 2007).

Na perspectiva hidrogeológica, um aquífero cárstico é um meio descontínuo (heterogêneo e anisotrópico), regido por leis de fluxo e condições específicas, cujo entendimento e caracterização das condições (recarga, armazenamento, fluxo e descarga) é mais complexa, se comparada a aquíferos em meios contínuos.

A fim de descrever o comportamento do fluxo subterrâneo em aquíferos cársticos, foi definida a porosidade terciária (ou tripla porosidade), em que o fluxo de água pode ocorrer na matriz da rocha, nas fraturas e nos condutos (White, 2002). Essa condição resulta em diferentes padrões de rebaixamento e recuperação de nível d'água observados durante a realização e interpretação de ensaios de bombeamento de poços que exploram água de aquíferos cársticos.

O fluxo de água em condutos é comumente rápido (frequentemente maior que 100 m/h) e turbulento, enquanto na matriz fraturada, sua velocidade é reduzida (Goldscheider & Drew, 2007). E desta forma, a lei de Darcy, base da teoria de fluxo de água subterrânea para meios contínuos (e válida para fluxo laminar), não é plenamente aplicável ao fluxo de água subterrânea em meios cársticos, vez que a velocidade de fluxo nas fraturas e condutos não é linearmente proporcional ao gradiente hidráulico (White et. al. 2019, in Pereira, 2022).

De acordo com Paula & Velásquez (2019), como em aquíferos cársticos o fluxo subterrâneo é, muitas vezes, independente do gradiente de relevo (os divisores de águas subterrâneas geralmente não coincidem com os divisores topográficos), para caracterizar adequadamente as entradas e saídas de um sistema aquífero cárstico, além do monitoramento climático e fluvial sistemático, é necessário conhecer as principais rotas do fluxo de água subterrânea. Nesses sistemas, regionalmente, o fluxo é predominantemente determinado pelo gradiente hidráulico, mas localmente pode variar, de acordo com a densidade, tamanho e distribuição das fraturas e condutos (Ford & Williams, 2007).

Em contrapartida, ainda que seja um meio aquífero peculiar, entende-se que muitos conceitos e princípios da hidrogeologia clássica podem ser aplicados para a caracterização e classificação dos aquíferos cársticos. Assim, um aquífero cárstico

também pode ser classificado em relação à porosidade (tripla porosidade: granular, fissural e de condutos), condição de confinamento (livre, confinado ou semiconfinado) e capacidade de armazenar e produzir água (aquífero, aquífero, aquíclode ou aquífugo).

Segundo Goldscheider & Drew (2007) a recarga em aquíferos cársticos pode ocorrer de duas formas: a) Recarga autogênica, em que a água infiltra diretamente na área cárstica (em afloramentos e em feições cársticas como dolinas, sumidouros, cavernas e grutas) ou b) Recarga alogênica, em que a água infiltra em áreas adjacentes não-cársticas, geralmente sobrepostas ou em contato lateral, proporcionando o fluxo de água para o aquífero cárstico (Figura 2).

No primeiro caso, a infiltração de água pode se dar de maneira concentrada e rápida através de sumidouros ou dolinas (pontual), ou de forma difusa, através do solo e/ou fraturas na rocha, como ilustrado na figura abaixo.

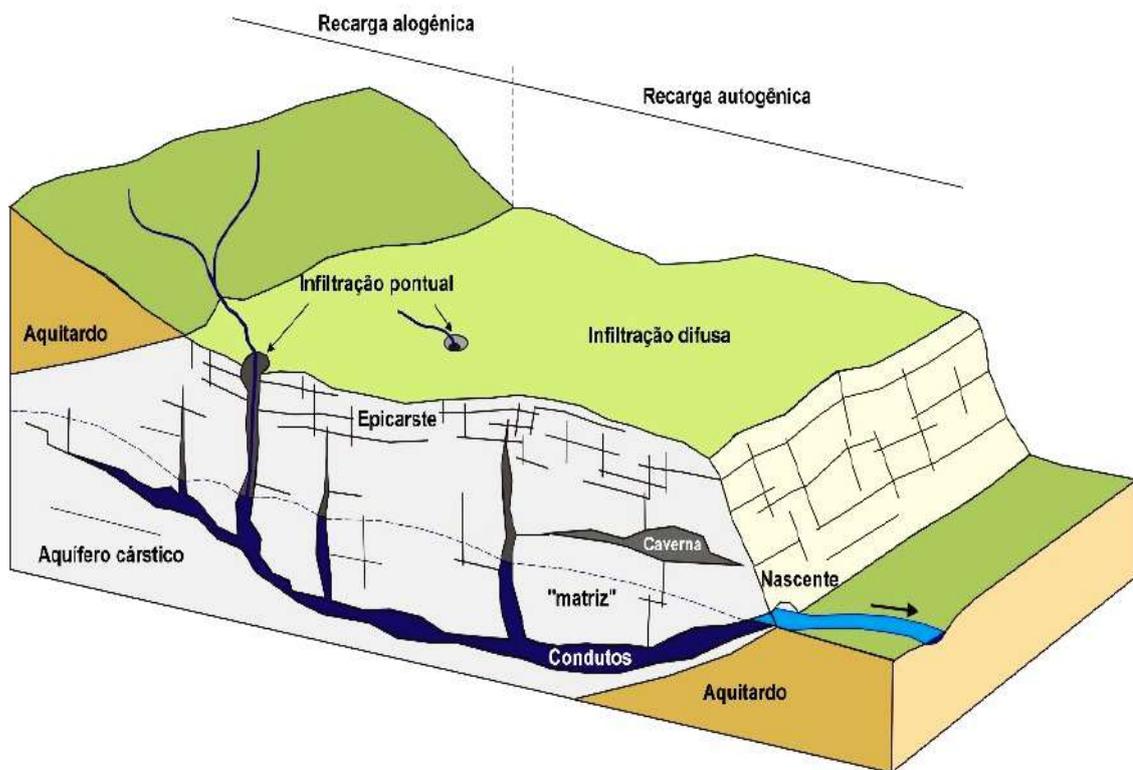


Figura 2: Bloco diagrama de um aquífero cárstico e seus tipos de recarga (alogênica e autogênica) e formas de infiltração (pontual e difusa). Fonte: Modificado de Goldscheider & Drew (2007), in Tavares (2019).

A descarga dos aquíferos cársticos se dá naturalmente em surgências, comumente grandes e pontuais (quando alimentadas por condutos), ou artificialmente, no contexto de exploração de águas subterrâneas típico das regiões cársticas, pelo bombeamento em poços tubulares.

Segundo Pereira (2022), o processo de exploração de água subterrânea, ainda que em vazões sustentáveis (menor que a reserva renovável do aquífero) pode acarretar o processo de rebaixamento do nível d'água do reservatório subterrâneo, reduzindo as descargas naturais. Mas em contrapartida, essa exploração pode também aumentar a recarga, ao incorporar parcelas de água supostamente vindas de aquíferos adjacentes, cursos d'água superficiais, reservatórios ou lagoas.

Se o bombeamento for intensificado para a exploração acima do volume da reserva renovável, inicia-se a captação da reserva permanente do aquífero, e o volume armazenado no sistema será gradativamente reduzido (Figura 3), o que poderá levá-lo a uma condição insustentável a longo prazo (Foster *et al.*, 2003, in Pereira, 2022).

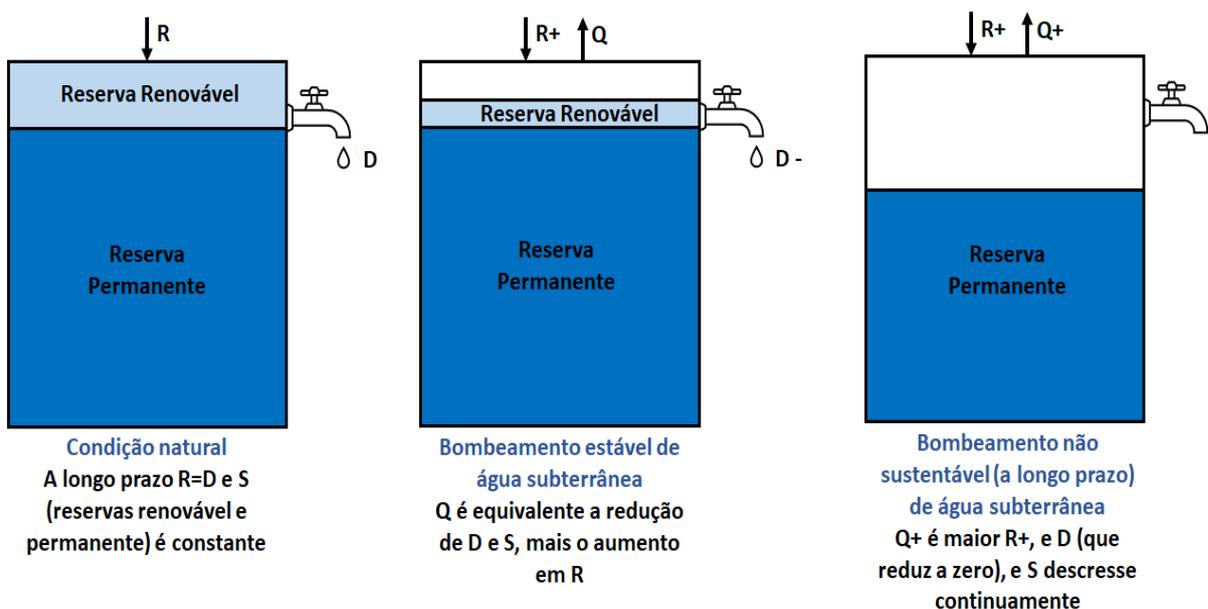


Figura 3: Esquema conceitual de reservas renovável e permanente de um aquífero cárstico, submetido à recarga e à exploração de água subterrânea por poços tubulares. Fonte: Pereira, 2022.

Em termos de produção de água subterrânea, pode-se dizer que no geral, os aquíferos cársticos são comumente excelentes produtores. No entanto, considerando a heterogeneidade do meio e distintas porosidades, os poços tubulares perfurados nesse tipo de aquífero podem produzir vazões igualmente heterogêneas, que podem variar de poucas unidades a milhares de metros cúbicos por hora, como relatado em poço perfurado no *Edwards Aquifer*, no Texas/EUA, com vazão de 1.300 m³/h (Custódio & Llamas, 1983). Com relação ao consumo de água, segundo Ford & Williams (2007), cerca de 20 a 25% da população mundial é abastecida por recursos hídricos provenientes de sistemas cársticos, tornando-os importantes fontes de suprimento de água para a humanidade.

Por outro lado, devido às feições de relevo e características supracitadas, os aquíferos cársticos são mais vulneráveis a intervenções antrópicas (principalmente, captação, desmatamento, agricultura, mineração e urbanização) se comparados a outros tipos de aquífero, uma vez que a interação entre a água superficial e a água subterrânea ocorre, em tese, de forma mais rápida e direta. Dentre os efeitos e impactos potencialmente causados por essas intervenções, podem ser citados o rebaixamento do nível d'água do aquífero, processos de subsidência e abatimento de terreno, alteração da qualidade e contaminação das águas subterrâneas e a redução da disponibilidade hídrica local. Por esse motivo, qualquer intervenção em meios aquíferos cársticos deve ser realizada com bastante cautela, além de ser monitorada sistematicamente.

1.3.2 Estudos hidrogeológicos acadêmicos na região da bacia do rio Verde Grande

Silva (1984) em sua tese de doutorado aplicou técnicas de análise morfoestrutural, hidrogeológica e hidroquímica para o estabelecimento de potencialidades hidrogeológicas e definição de aspectos metodológicos de interpretação dos dados do aquífero cárstico do Grupo Bambuí na bacia do rio Verde Grande, entre os municípios de Jaíba e Matias Cardoso, no extremo norte de Minas Gerais.

Paixão (2006), que trabalhou por anos com a gestão das águas subterrâneas no estado de Minas Gerais, especialmente no desenvolvimento de redes de monitoramento quali-quantitativas de águas subterrâneas na região, apresentou em 2006 sua monografia de pós-graduação, atrelada a implantação do monitoramento qualitativo das águas subterrâneas no âmbito do Projeto Águas do Norte de Minas – PANM, com os resultados obtidos em campanhas de amostragem nas sub-bacias do rio Verde Grande, Jequitai e Riachão.

Santos (2013) em sua dissertação de mestrado, realizou a caracterização hidrogeológica e hidroquímica da bacia do Rio Verde Grande, em que definiu quatro domínios hidrogeológicos (aquífero cárstico, fissurado-cárstico, fissurado e granular) e dois domínios climáticos (sub-úmido e semiárido) na bacia e, os correlacionou a diferentes condições de recarga e tipos hidroquímicos das águas amostradas ao longo de toda a bacia.

Diversos estudos acadêmicos de cunho hidrogeológico e hidrogeoquímico, entre teses de doutorado, dissertações de mestrado e trabalhos de graduação, foram realizados na bacia do Rio Verde Grande no norte de Minas Gerais, concluídos entre os anos de 2010 e 2011. Destacam-se aqui os estudos publicados por Costa (2011), Costa, Velásquez & Fantinel (2010 e 2011), entre outros, e por Silva (2011), com

enfoque na hidrogeoquímica e nas concentrações de fluoreto no sistema aquífero cárstico-fissural do Grupo Bambuí na região. Mais recentemente, Santos (2012) apresentou estimativas de taxa de recarga aquífera mínima e máxima potencial para a bacia do Rio Riachão através de diferentes métodos e, Braga (2014 e 2016) investigou a recarga do tipo localizada em ambiente semiárido, com estudo de caso em duas dolinas situadas na bacia do rio Verde Grande.

1.3.3 Projetos de gestão pública de recursos hídricos na região da bacia do rio Verde Grande

Foi elaborado em 2018, pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2018) uma atualização do Marco Regulatório do rio Verde Grande, visando uma regulação mais restritiva das captações superficiais outorgadas na bacia, frente ao cenário de conflito hídrico instalado.

Em 2019 o convênio formado pela Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais do Brasil – CPRM (atual Serviço Geológico Brasileiro) e o Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM, publicou os resultados obtidos no Projeto Águas do Norte de Minas (CPRM, 2019), a partir dos quais a Bacia do rio Verde Grande foi classificada como uma área em que a demanda por água subterrânea é maior que a disponibilidade hídrica calculada, elevando a atenção para essa bacia.

Em decorrência desses resultados, foi proposto pela CPRM e ANA, o aprofundamento dos estudos hidrológicos e hidrogeológicos na bacia do rio Verde Grande, por meio de três áreas piloto, entre as quais está a sub-bacia do riacho Salobro. O então Projeto Verde Grande, atualmente em desenvolvimento na região, tem como objetivo principal a proposta de diretrizes para a implantação da gestão integrada de recursos hídricos, através de um Marco Regulatório integrado, para os recursos hídricos superficial e subterrâneo.

O acesso principal à área é realizado a partir de Montes Claros por meio da localmente denominada “Estrada da Produção”, composta pelas rodovias BR-122 e LMG-631, passando pela comunidade de São Pedro da Garça em direção a São João da Ponte, de onde parte uma estrada vicinal para o vilarejo de Agreste, acessando a Fazenda Santa Mônica (Figura 4).

No contexto hidrográfico, a área está localizada na sub-bacia do riacho Salobro, em seu baixo curso, próximo à sua foz no rio Verde Grande, importante afluente da margem direita do Rio São Francisco e principal rio da região, que define o limite leste da área de estudos, como será apresentado adiante.

A Fazenda Santa Mônica é um empreendimento de propriedade do Grupo A.R.G, controlado pela subsidiária Fortaleza de Santa Terezinha Agricultura e Pecuária - F.S.T.A.P e opera no setor agropecuário, com foco em bovinocultura de corte, além de piscicultura e produção de silagem e forrageiras. Trata-se de um empreendimento de grande porte (83 km²) que demanda um volume considerável de água para abastecimento de suas instalações e, principalmente, para a irrigação dos cultivos de milho e forrageiras, nos diversos pivôs existentes. Uma vez que essa demanda supera a disponibilidade hídrica superficial local, o suprimento de água é obtido principalmente pela exploração de água subterrânea por meio de uma bateria de poços tubulares de grandes proporções.

Salienta-se que todos os mapas apresentados neste estudo estão referenciados ao Datum SIRGAS 2000, UTM zona 23S.

2.2 Geologia

No contexto geológico regional, a área de estudo está inserida na porção centro sul do Crátão do São Francisco, composto por um conjunto de rochas pré-cambrianas, de idades proterozóicas, sobrepostas por coberturas fanerozoicas (Figura 5).

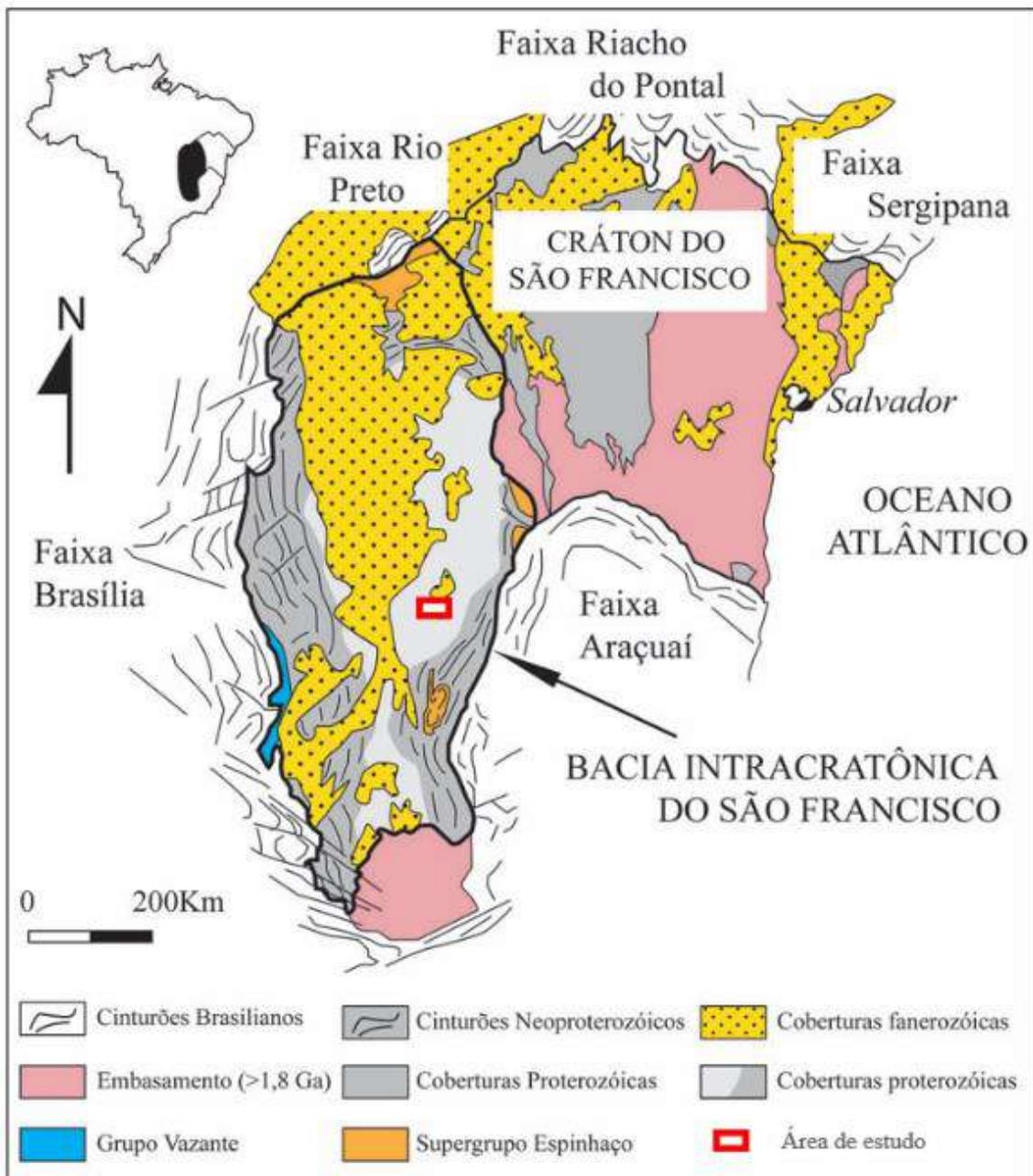


Figura 5: Mapa geológico esquemático do Crátão São Francisco (Fonte: Retirado de Romano *et al*, 2015).

O Supergrupo São Francisco recobre grande parte do Cráton, representado no estado de Minas Gerais principalmente pelos grupos Macaúbas e Bambuí. O Grupo Bambuí (750-600 Ma) possui maior distribuição no Cráton do São Francisco e na região estudada, composto por um conjunto de rochas sedimentares silicáticas e carbonáticas (químicas, bioquímicas e de retrabalhamento), depositados em ambiente de plataforma marinha epicontinental (Iglesias & Uhlein, 2009).

Segundo Dardene (1978) e Iglesias & Uhlein (2009), o Grupo Bambuí é dividido em cinco formações, sendo da base para o topo: Formação Sete Lagoas, Formação Serra de Santa Helena, Formação Lagoa do Jacaré, Formação Serra da Saudade e Formação Três Marias. A Tabela 1 apresenta de forma simplificada a sequência estratigráfica regional e as principais rochas que compõem o Grupo Bambuí, no norte de Minas Gerais.

Tabela 1: Sequência estratigráfica regional simplificada do Grupo Bambuí.

Formação geológica	Rochas predominantes
Três Marias	Siltitos e arcóseos
Serra da Saudade	Folhelhos, pelitos e siltitos
Lagoa do Jacaré	Calcários, siltitos e margas
Serra de Santa Helena	Siltitos, folhelhos e lentes de calcário
Sete Lagoas	Dolomitos, calcários, siltitos e pelitos

A Formação Lagoa do Jacaré é a que ocorre em maior abundância na região, composta predominantemente por calcários, além de margas e intercalações de siltitos e folhelhos, aflorantes ou sobrepostos por coberturas detrito-lateríticas de origem eluvio-coluvionar (Ndl), ou por aluviões (N4a), ao longo da Calha do Rio Verde

Grande. A oeste da área, próximo ao centro urbano de São Joao da Ponte, afloram as coberturas fanerozóicas dos grupos Areado e Urucuia (arenitos vermelhos localmente conglomeráticos) de idade cretácea, sobrepostos às rochas do Grupo Bambuí (Figura 6).

O mapa a seguir ilustra a geologia dentro dos limites de São João da Ponte, destacando a área da Fazenda Santa Mônica, elaborado com base no mapeamento geológico realizado entre 2013 e 2015 na escala 1:100.000, pelo convênio formado pela Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG) e a Universidade Federal de Minas Gerais (CPMTC/IGC/UFMG). Nesta composição foram utilizadas as folhas São João da Ponte (SD.23-Z-C-V), Barreiro da Jaíba (SD.23-Z-C-VI), Brasília de Minas (SE.23-X-A-II) e Capitão Enéas (SE.23-X-A-III).

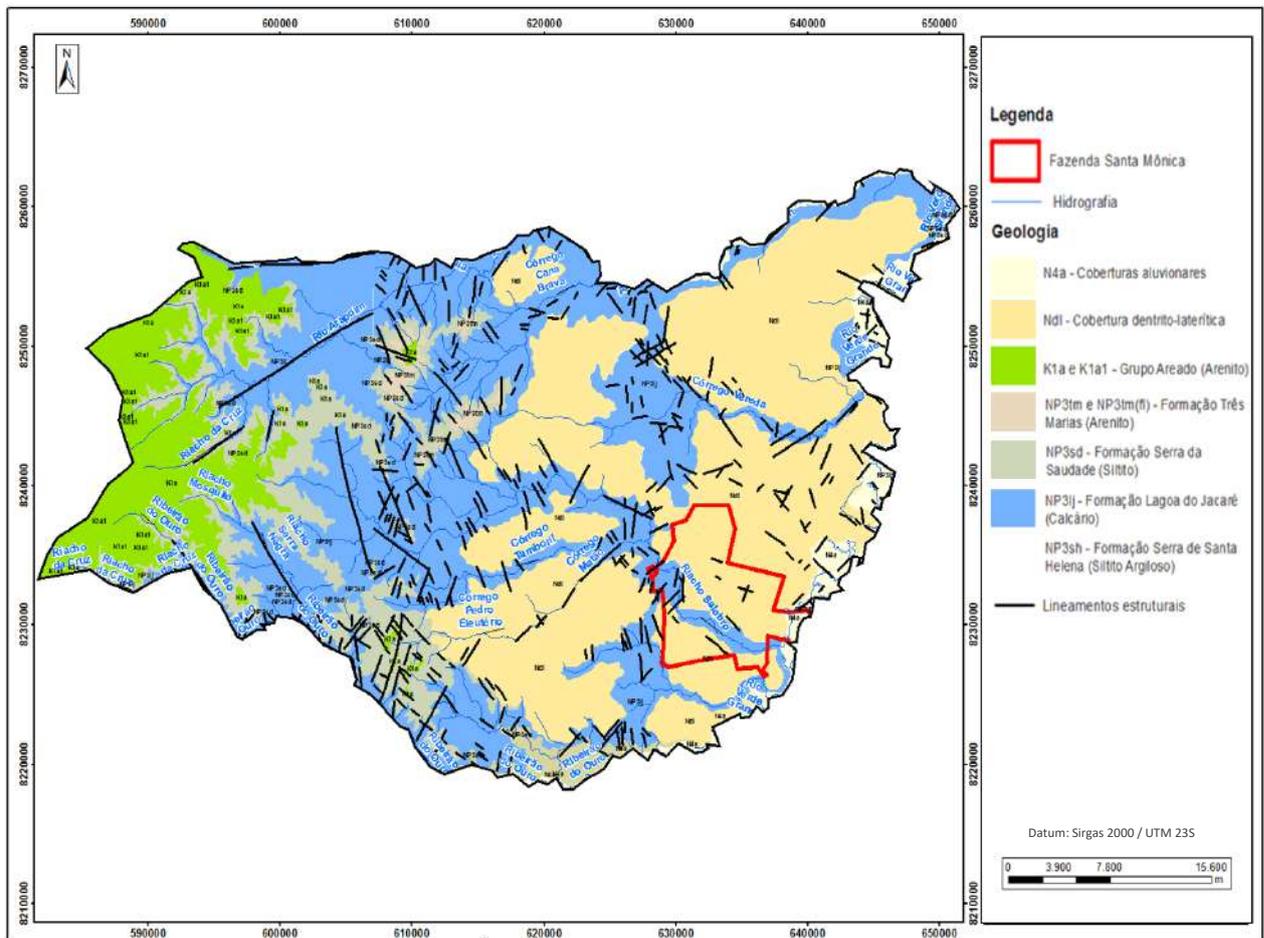


Figura 6: Mapa Geológico-estrutural do Município de São João da Ponte – Escala 1:100.000 (Fonte: Modificado de CODEMIG e UFMG, 2015).

No contexto geológico local, a Formação Lagoa do Jacaré é a única que ocorre na área de estudo, constituída principalmente por calcários pretos a cinzas e calcarenitos, aflorantes ou sobrepostos por coberturas detrito-lateríticas de origem elúvio-coluvionar, ou por coberturas aluvionares, próximo ao rio Verde Grande. Com base em mapeamentos regionais (CODEMIG e UFMG, 2015) e local (MDGEO, 2017a), foram individualizadas três principais unidades geológicas (Figura 7):

1) Calcários, calcarenitos e pelitos da Formação Lagoa do Jacaré: coloração cinza a preto, aflorando, ao longo da calha e da planície de inundação do riacho Salobro, como blocos ou lajes e em maciços rochosos residuais na região oeste da fazenda, onde se explorava uma pedreira de calcário no passado.

2) Coberturas detríticas-lateríticas: constituídos por material argilo-arenoso de coloração avermelhada, decorrentes da decomposição das rochas subjacentes. Foi estimada uma espessura de até 30 m para as coberturas detrito-lateríticas, corroborada pela análise de perfis litológicos de poços tubulares, nos quais as espessuras variam entre 5 e 30 m (item 3.1.1).

3) Sedimentos aluvionares: depósitos detríticos inconsolidados resultantes do retrabalhamento fluvial, dispostos ao longo da planície de inundação do rio Verde Grande. Material mal selecionado composto principalmente por bancos métricos de areia branca e/ou amarelada, intercalados por estratos argilo-arenosos de cor marrom, camadas de cascalho e seixos de quartzo arredondados. Sua espessura foi estimada em, no mínimo, 8 m (MDGEO, 2017a).

A Figura 7 a seguir apresenta a geologia da área de estudo, com base na compilação de informações e adaptações realizadas a partir das folhas geológicas regionais (CODEMIG e UFMG, 2015) e do trabalho de mapeamento geológico local (MDGEO, 2017a).

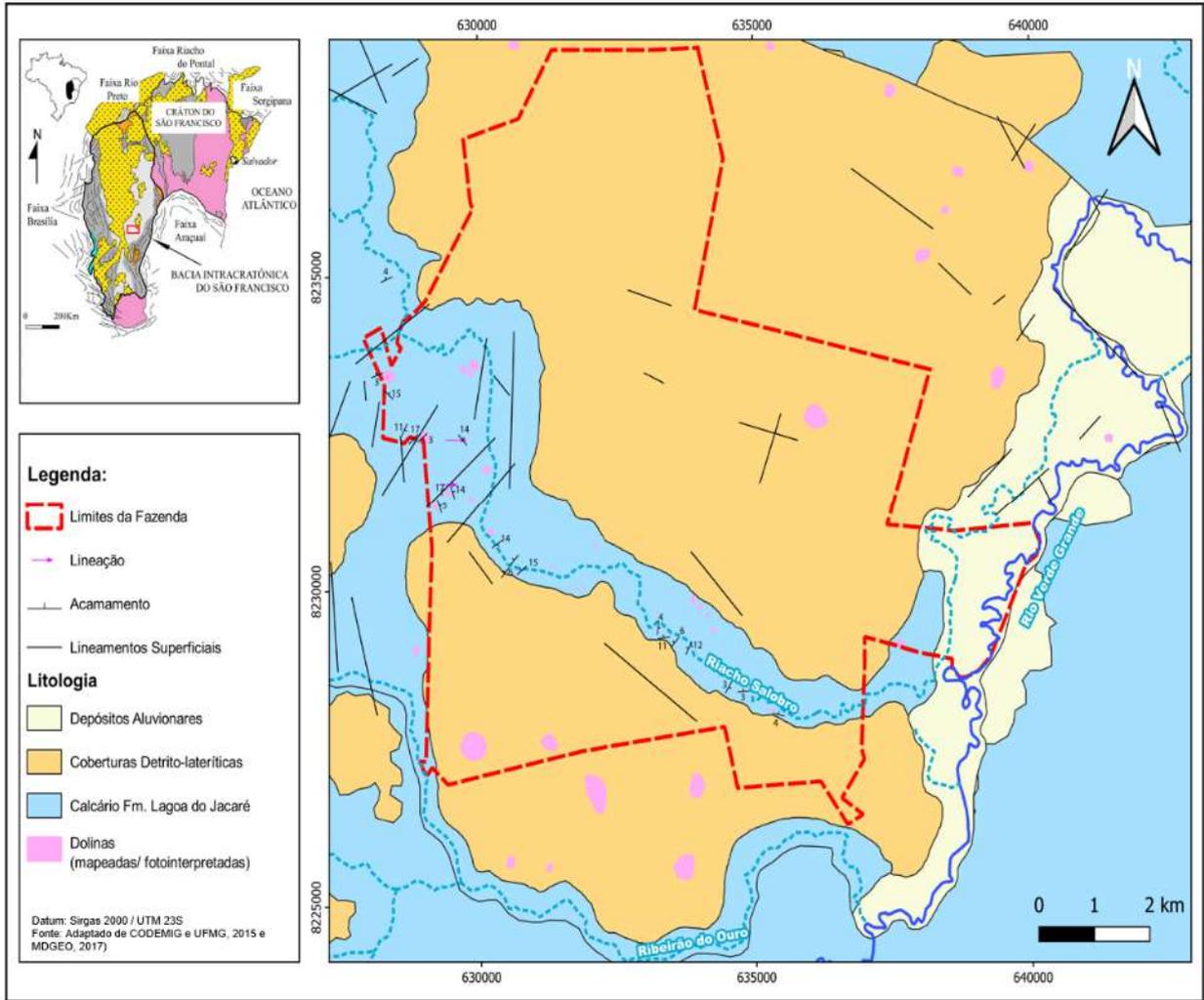


Figura 7: Geologia da área de estudo, com destaque para os calcários aflorantes da Formação Lagoa do Jacaré na calha do Riacho Salobro e sobrepostos por coberturas detrito-lateríticas na maior parte da área e por coberturas aluvionares ao longo da calha do rio (Fonte: adaptado de CODEMIG & UFMG, 2013 e 2015, e de MDGEO, 2017a).

Destaca-se também a abundância de dolinas na área de estudo, muitas das quais não contempladas nos trabalhos de mapeamento geológico e geomorfológico supracitados. O mapeamento em detalhe dessas dolinas foi realizado posteriormente, no ano de 2021, pela empresa EME Engenharia Ambiental (EME, 2021), no âmbito do processo de licenciamento ambiental da área.

As fotografias a seguir ilustram as unidades litológicas e as feições cársticas observadas em campo, obtidas durante o trabalho de mapeamento geológico local realizado pela empresa MDGEO (MDGEO, 2017a), e adaptadas para apresentação neste estudo.



Foto 1: Feições cársticas dos calcários Lagoa do Jacaré. A – Lapiás. B – Estruturas circulares de dissolução. C – Plano de dissolução paralelo ao acamamento. D condutos cársticos (Fonte: Adaptado de MDGEO, 2017a).

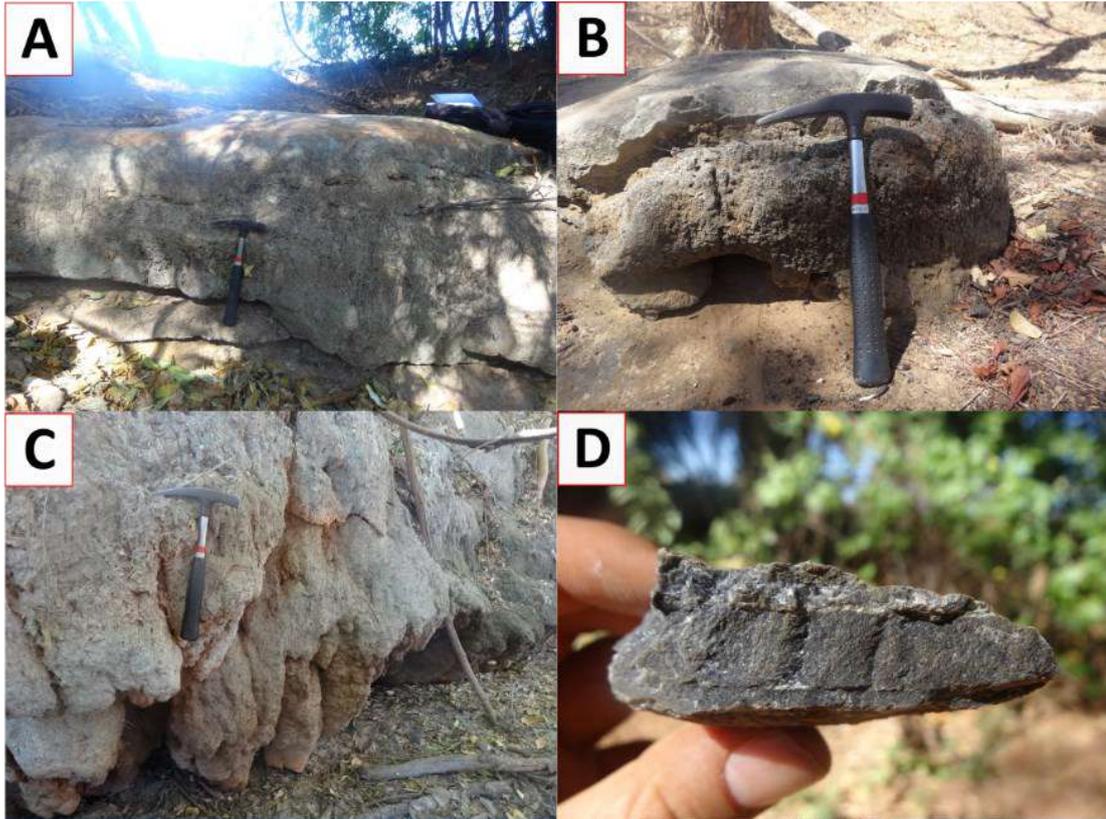


Foto 2: A e B – blocos de calcarenito na calha do Salobro; C – feições de dissolução em calcarenito e D – bandamento de calcarenito e calcário cinza escuro (Fonte: Modificado de MDGEO, 2017a).



Foto 3: A – Afloramento em laje de folhelho no leito do rio Verde Grande. B – Intercalação pelítica de cor avermelhada. C e D – Lateritas próximas ao leito do Riacho Salobro (Fonte: MDGEO, 2017a).

2.3 Geomorfologia, solo e cobertura vegetal

O relevo da área é suavemente ondulado a plano, com o rio Verde Grande, formando grandes planícies de inundação e áreas alagadiças. Nas regiões onde aflora o calcário de maneira expressiva, sobretudo ao longo da calha do riacho Salobro, encontram-se paredões que chegam a atingir dezenas de metros de altura, como o que aflora a oeste da fazenda (Foto 4).

Por se tratar de região bastante carstificada, são comuns estruturas de dissolução como dolinas, sumidouros e lapiás (Fotos 1 e 4), que configuram a porção externa do relevo cárstico (exocarste), assim como condutos, cavernas e outras estruturas de dissolução (Foto 1 - C e D) causada pela circulação de água subterrânea (endocarste).

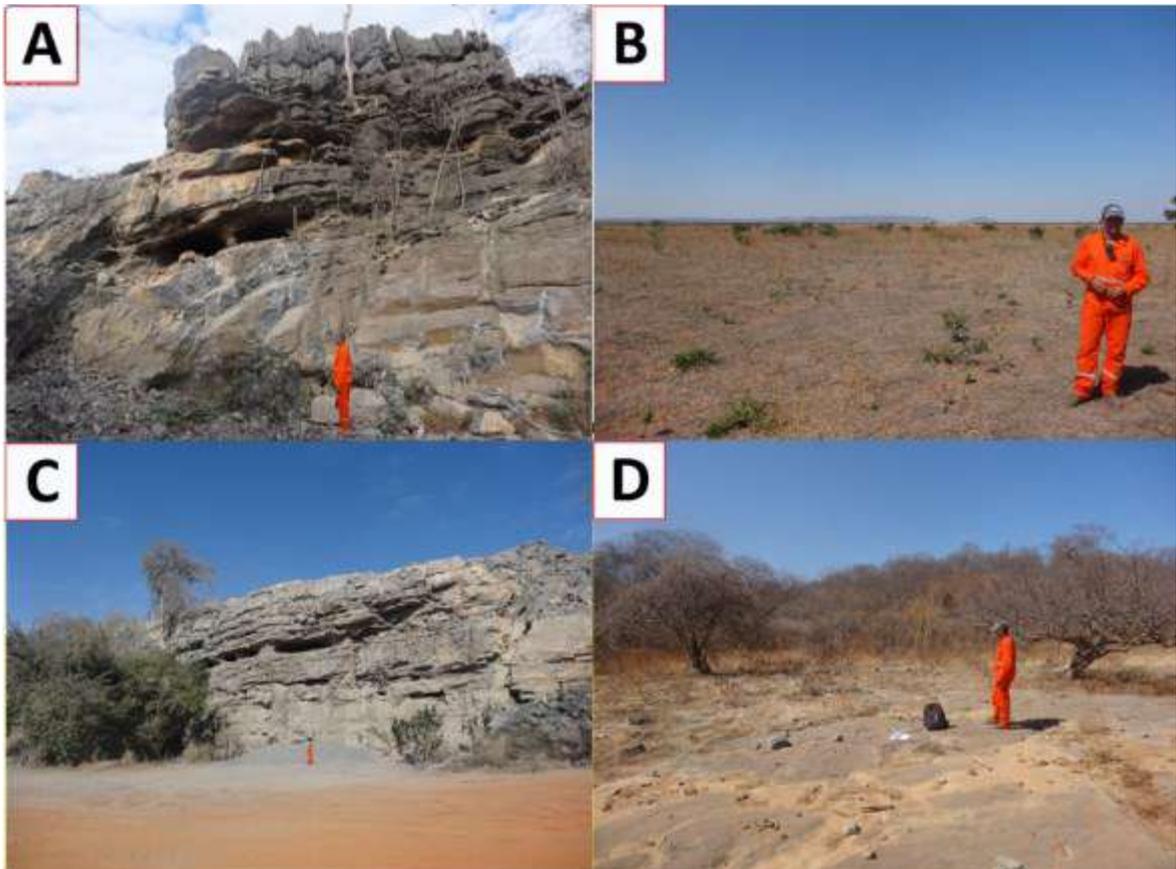


Foto 4: Feições cársticas e domínios geomorfológicos: A – Lapiás, condutos e planos de dissolução paralelos ao acamamento dos calcários. B – Superfície de aplainamento, ausência de afloramentos – região norte do Riacho Salobro. C – Maciço de calcário (antiga pedreira) no leito do Riacho Salobro – região oeste da fazenda. D – Laje de calcário (Fonte: Modificado de MDGEO, 2017a).

O mapeamento geológico realizado pela MDGEO (MDGEO, 2017a), identificou três domínios geomorfológicos na área:

1) Superfície de aplainamento: duas extensas áreas onde não há a ocorrência de afloramentos, observadas nas regiões que se estendem a norte e a sul do riacho Salobro, associadas às coberturas detrito-lateríticas (Foto 4 – B);

2) Calha, planície de inundação e antigos terraços do riacho Salobro onde ocorrem afloramentos de calcário e/ou material de alteração do mesmo (Foto 4 - D);

3) Planície de inundação e antigos terraços do rio Verde Grande, que representa uma imensa área peneplanizada, onde afloram coberturas detríticas aluvionares.

O solo da região, classificado como latossolo vermelho ou amarelo (IBGE & EMBRAPA 2001), ocorre diretamente sobre o calcário, podendo ser produto de alteração intempérica dessa rocha ou das coberturas detrito-lateríticas. Com base em perfis construtivos de poços, foram constatadas espessuras do solo de até 8 m, de composição predominantemente argilosa, geralmente relacionados ao intemperismo do calcário (item 3.1.1 e ANEXO).

Em termos de cobertura vegetal, a região está situada em zona de transição entre os biomas caatinga e cerrado, com formas vegetais que incluem a mata seca, campo de várzea e formações florestais (IBGE, 2004a). Localmente, grande parte da área de estudo é destinada para atividades agropastoris, sendo a maior parte da Fazenda Santa Mônica, ocupada por pastagens e cultivos de milho e forrageiras, em pivôs irrigáveis. Menos de um quarto da área da fazenda é coberta por vegetação típica de cerrado e caatinga, dispostos em áreas de reserva legal e vegetação nativa.

2.4 Climatologia

De acordo com o mapa de climas do Brasil (IBGE, 2019), a região está na Zona Tropical Brasil Central, de umidade do tipo semiárido e temperatura quente, com média superior a 18°C. Conforme classificação de Köppen, o clima é do tipo tropical, com estação seca de inverno, sendo que dentre os subtipos dessa categoria climática, destaca-se na área o clima semiárido com baixa precipitação, podendo haver períodos de estiagem que se prolongam por muitos meses, não sendo suficientes para recarga completa dos aquíferos (CODEMIG & UFMG, 2015).

Para o monitoramento climático, tem-se a estação meteorológica localizada em Montes Claros (código 83437), operada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) desde setembro de 2014 e, principalmente, a estação meteorológica local da fazenda, que monitora a precipitação pluviométrica continuamente, desde junho de 1981 (Figura 8).

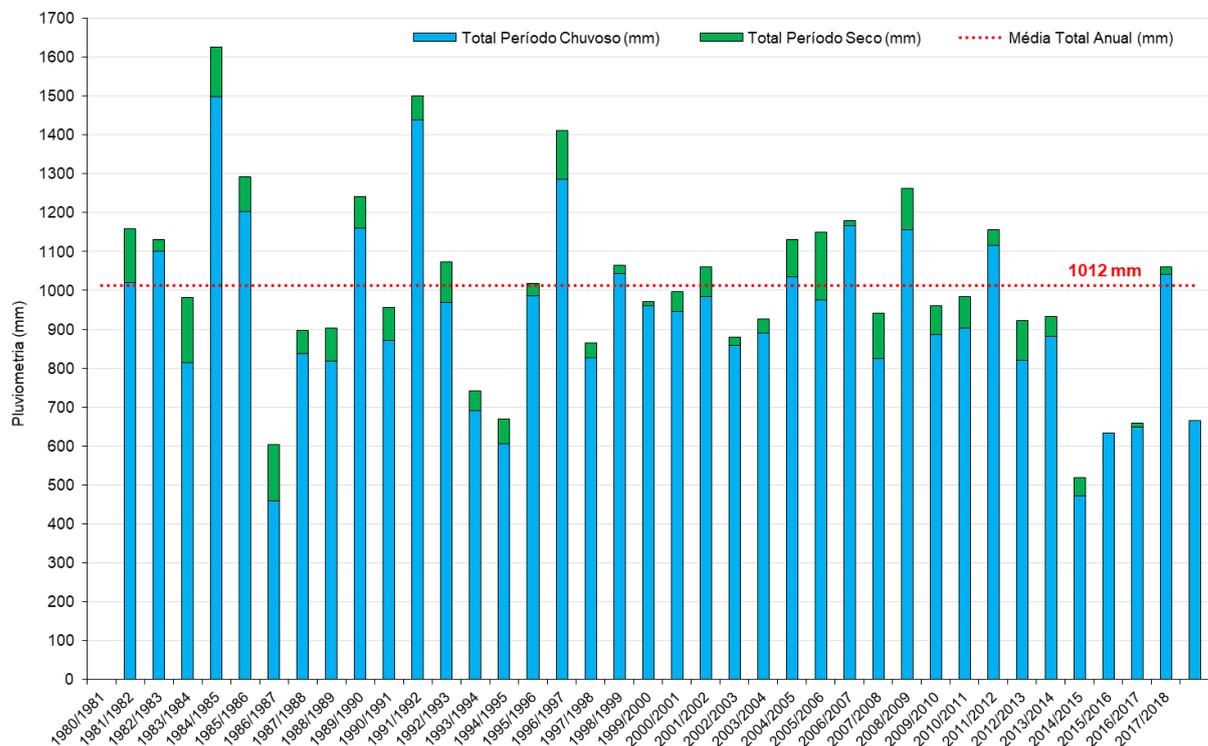


Figura 8: Histórico pluviométrico de precipitações registradas no pluviômetro da fazenda entre os anos de 1981 e 2019 (totais referenciados ao ano hidrológico).

Pela análise dos registros pluviométricos dessa estação entre junho de 1981 e junho de 2019, tem-se que a média pluviométrica plurianual da área é de 1.012 mm, sendo 93% (941 mm), concentrado no período chuvoso, evidenciando os períodos secos de pouquíssimas chuvas na região. O ano hidrológico de 1984/1985 foi o mais chuvoso (1.625 mm) e de 2014/2015, o mais seco (518 mm).

O intervalo de 2014 a 2017 apresentou precipitação anual inferior a 700 mm e corresponde a um período de forte recessão hídrica na região sudeste do Brasil. O ano hidrológico 2018-2019 não está completo, uma vez que os registros coletados finalizam em junho de 2019.

A Figura 9 apresenta os valores médios mensais de precipitação, a partir dos registros no pluviômetro da fazenda entre os anos de 1981 e 2019, caracterizando os períodos seco e chuvoso da região.

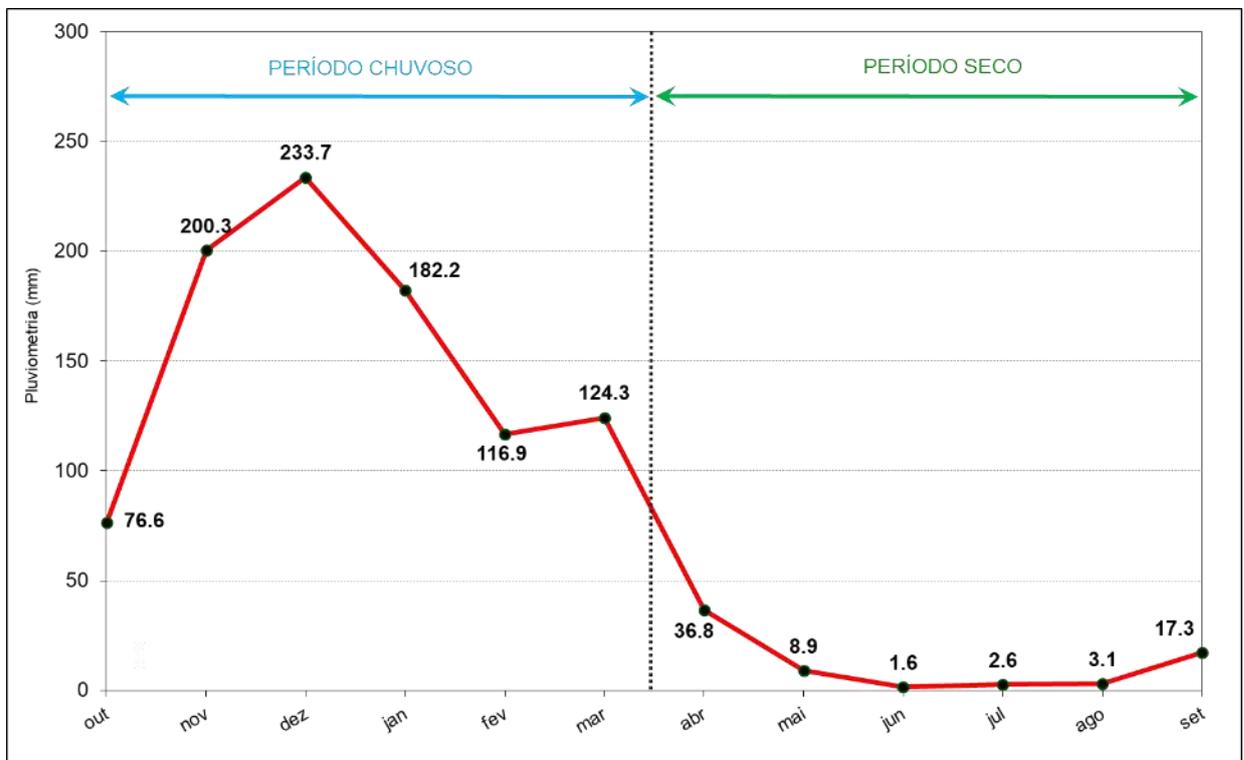


Figura 9: Médias mensais de precipitações, a partir dos registros no pluviômetro da fazenda entre os anos de 1981 e 2019.

Nota-se que as chuvas na região se concentram entre os meses de outubro a março, com maiores picos em dezembro, e o período mais seco vai de junho a agosto, quando praticamente não chove na região.

2.5 Hidrografia

No contexto hidrográfico, a área de estudo está inserida na sub-bacia do riacho Salobro (525 km²), em seu baixo curso, próximo à foz com o rio Verde Grande, principal corpo hídrico da região e afluente da margem direita do rio São Francisco (Figuras 10 e 11).

O rio Verde Grande é um dos principais rios do norte do estado de Minas Gerais, percorrendo uma extensa área, desde o entorno do município de Montes Claros, até sua foz no rio São Francisco, no município de Matias Cardoso (Figura 10). Em seu baixo curso, no extremo norte de Minas, este se encontra com seu afluente rio Verde Pequeno, e juntos, delimitam a fronteira regional entre os estados de Minas Gerais e Bahia. Sendo assim, uma menor parte da bacia do rio Verde Grande, encontra-se no estado da Bahia, como mostra a Figura 10 a seguir.

O riacho Salobro é um curso d'água intermitente e apresenta-se seco em grande parte do ano na área, influenciado principalmente por questões climáticas (clima semiárido e distribuição de chuvas), geológicas (região cárstica com presença de sumidouros) e antrópicas (barragem de captação de água no distrito de Tamboril, a montante da área), assim como a potencial influência de captações por poços tubulares ao longo do seu leito em toda sua bacia, inclusive na própria fazenda.

A Figura 11 ilustra a rede hidrográfica dentro do limite municipal de São João da Ponte, com destaque para a sub-bacia do riacho Salobro (sombreada em amarelo). A montante da fazenda, a sub-bacia do riacho Salobro é composta principalmente pelos córregos Tamboril e Matão, cuja confluência marca o limite oeste da área de estudo. Os divisores de água do baixo curso da sub-bacia do riacho Salobro correspondem aproximadamente aos limites norte e sul da área de estudo, enquanto a leste, a área é delimitada pelo próprio Rio Verde Grande.

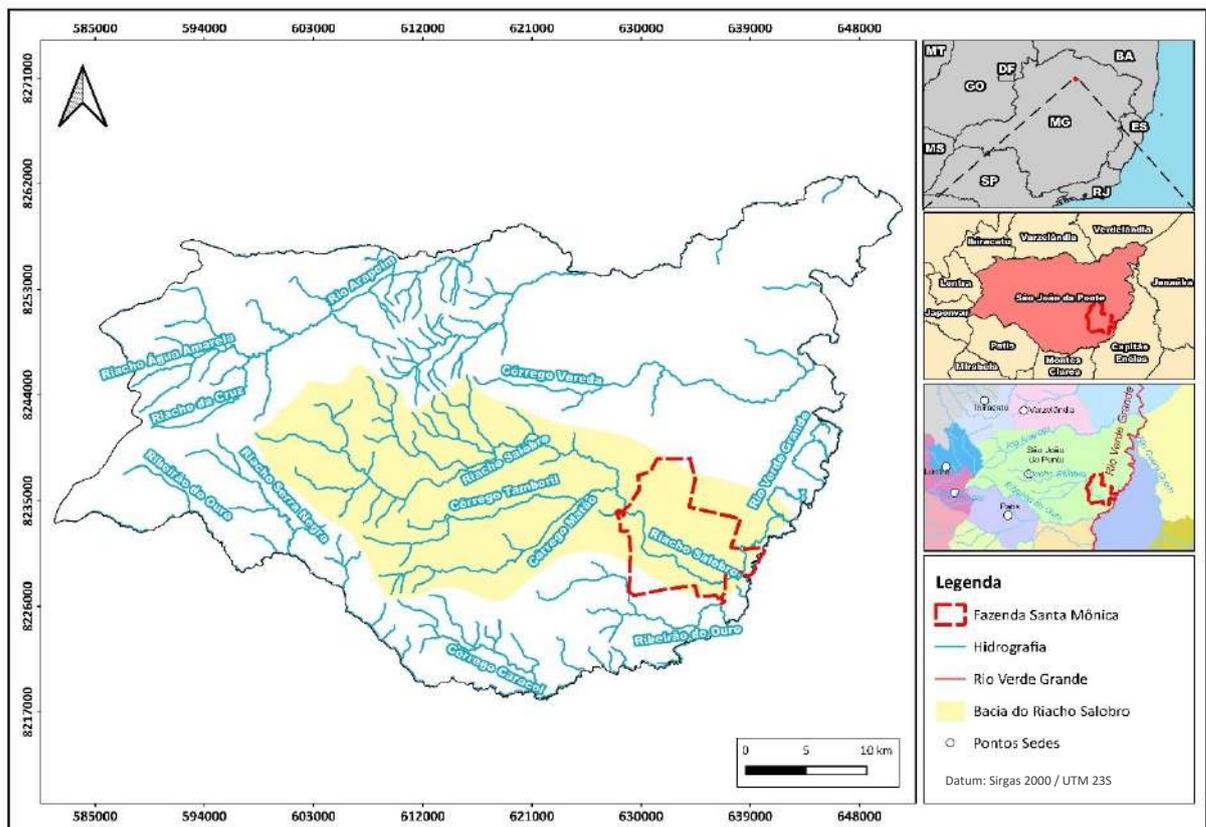


Figura 11: Contexto hidrográfico municipal - Sub-bacia do Riacho Salobro.

2.6 Hidrogeologia

Apresenta-se aqui uma caracterização hidrogeológica simplificada do meio aquífero e de suas condições de circulação e armazenamento das águas subterrâneas na área de estudo. Segundo Custódio & Llamas (1983), um aquífero é todo estrato ou formação geológica que permite a circulação de água por seus poros e fraturas, permitindo a exploração desta em quantidades economicamente viáveis. A água contida em um aquífero pode ocupar tanto os vazios intergranulares (porosidade primária), como falhas e/ou fraturas (porosidade secundária) ou estruturas de dissolução de rochas carbonáticas (porosidade terciária). Neste contexto hidrogeológico, estão presentes na área de estudo dois aquíferos principais (Figura 12):

1) Aquífero Cárstico (porosidade terciária)¹: principal aquífero e predominante na região, com circulação de água subterrânea associada a estruturas de dissolução dos calcários da Formação Lagoa do Jacaré (condutos cársticos) e, em menor proporção, em fraturas (porosidade secundária)¹. Trata-se de um aquífero predominantemente livre, com alta potencialidade hídrica e permeabilidade, resultando em elevadas vazões de poços, alcançando centenas de metros cúbicos por hora. Baseado em perfis litológicos de poços da região (item 3.1.1 e ANEXO), e na experiência de companhia perfuradora local (informação verbal), as estruturas portadoras de água subterrânea são comuns até 80 m de profundidade, a partir da qual são incomuns estruturas abertas com potencial de produção.

2) Aquíferos granulares de coberturas (porosidade primária): aquíferos livres superficiais com espessuras inferiores a 30 m, representados por coberturas detrito-

¹ *Pode ser referido também como aquífero cárstico-fissural, embora alguns autores achem esse termo redundante, entendendo que o carste quase sempre é composto também por fraturas (Todo aquífero cárstico é heterogêneo e possui matriz fraturada).*

lateríticas que cobrem grande parte da área, sobreposta ao aquífero cárstico, além de coberturas aluvionares nas margens do rio Verde Grande. Embora não sejam grandes produtores de água, os aquíferos granulares exercem importante papel na recarga alogênica do aquífero cárstico sotoposto.

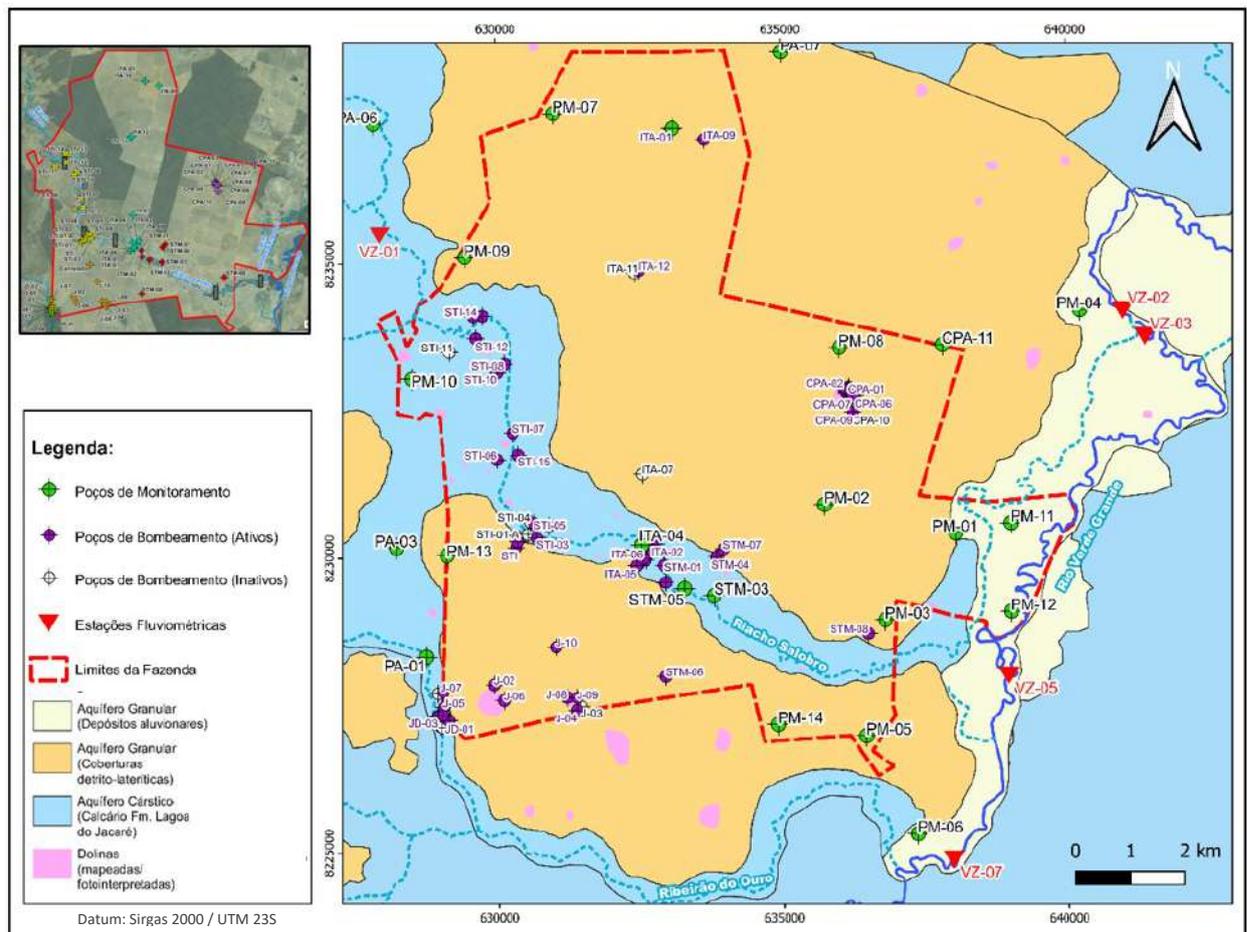


Figura 12: Aquíferos e poços de bombeamento e de monitoramento existentes na área de estudo.

Referente aos parâmetros hidráulicos do aquífero cárstico², de acordo com Custódio & Llamas (1983), genericamente um calcário fraturado possui condutividade hidráulica (K) entre 0,01 e 1 m/d. Silva (1984) interpretou ensaios de bombeamento de 60 poços existentes no aquífero cárstico do Jaíba, a norte do município de São João da Ponte, obtendo transmissividades (T) entre 0,8 e 694 m²/d, e

² As unidades dos parâmetros hidráulicos do aquífero são expressas neste estudo de acordo com as unidades comumente utilizadas em cálculos e estudos hidrogeológicos e não, o ao sistema internacional de medidas.

armazenamentos (S) entre 10^{-2} e 10^{-5} , refletindo a heterogeneidade do comportamento hidráulico, característica de aquíferos cársticos na região. Informações detalhadas sobre os parâmetros hidráulicos do aquífero local², obtidos por ensaios de bombeamento nos poços são apresentadas no item 4.4 adiante.

Conceitualmente, a recarga do aquífero se dá, predominantemente, pela infiltração de água pluvial e ocorre ao longo de toda superfície do terreno, seja por infiltração direta nas áreas de afloramento dos calcários (recarga autogênica), sobretudo na calha do riacho Salobro, ou indiretamente, através do acúmulo e infiltração de água dos aquíferos granulares sobrepostos (recarga alogênica). A recarga concentra-se no período chuvoso (outubro a março), uma vez que, conforme apresentado anteriormente, praticamente não chove na região no período de estiagem. O riacho Salobro é um curso d'água intermitente, que, durante a estação chuvosa, comporta-se como “rio influente”, cedendo água ao aquífero. Na estiagem (abril a setembro), o rio é seco e, portanto, não recarrega o aquífero.

Dentro dos limites da fazenda há 5 barragens de acumulação de água fluvial e pluvial na calha do riacho Salobro que, quando saturadas, favorecem localmente a infiltração, funcionando como potenciais pontos de recarga. Partindo do exposto, a partir dos dados climáticos e do balanço hídrico, apresentado adiante, foi estimada uma taxa de infiltração na bacia do riacho Salobro da ordem de 15,4% da precipitação, baseada em retroanálise desse parâmetro, em modelo numérico (MDGEO, 2018c).

Referente à descarga do aquífero, uma vez que o riacho Salobro é efêmero, se encontra seco na maior parte do ano e, com comportamento influente durante os meses mais chuvosos, pode-se afirmar que esse riacho não configura uma estrutura de descarga do aquífero na área. E a conexão hidráulica e a possibilidade de descarga desse aquífero no rio Verde Grande serão discutidas adiante.

3. BATERIA DE POÇOS TUBULARES E REDE DE MONITORAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS

3.1 Bateria de poços tubulares de bombeamento

Ainda que seja algo compreensível no meio hidrogeológico, não é comum na literatura a definição conceitual de bateria de poços. Como referência bibliográfica encontrada sobre o tema, Feitosa *et al.* (2008) refere-se à bateria de poços como um conjunto de poços no qual cada unidade causa interferências significativas nas demais unidades e sofre interferências significativas dessas mesmas unidades. Assim, segundo esse autor, um poço mais afastado não faz parte de uma bateria de poços se seu bombeamento não afetar os poços dessa bateria, embora ele próprio possa ser afetado pelo bombeamento na bateria (Feitosa *et al.*, 2008).

Contudo, segundo o entendimento do presente autor, em uma análise sob a perspectiva de gestão de recursos hídricos (importante na concepção e no desenvolvimento deste estudo), uma bateria de poços pode ser caracterizada por um conjunto de poços tubulares para exploração de água subterrânea em uma ou mais unidades hidrogeológicas, operando sob um regime de produção controlado, para atendimento da mesma finalidade, na mesma propriedade ou contexto.

Nesse entendimento, não se leva em consideração os volumes, vazões e regimes de operação de um poço unitário, mas da bateria como um todo. E não é relevante também a interferência que um poço eventualmente exerça em outro poço da mesma bateria, mas sim, nas interferências que a exploração da bateria possa causar na disponibilidade hídrica do entorno, bem como em captações de terceiros.

Dentro desse contexto, apresenta-se neste capítulo a bateria de poços tubulares da Fazenda Santa Mônica, composta originalmente por 65 poços, dos quais, no período avaliado neste estudo (até junho de 2019), 55 encontram-se ativos e

equipados com instrumentos de monitoramento de níveis d'água e de vazões (hidrômetro e horímetro). Dos poços restantes, 6 não se mostraram aptos à instalação de instrumentos de monitoramento e 4 foram tamponados.

As fotografias abaixo ilustram alguns poços tubulares de bombeamento que compõem a bateria, exemplificando um poço por cada setor da fazenda. O mapa com a localização de todos os poços tubulares é apresentado na Figura 13, adiante.



Foto 5: Poços tubulares de bombeamento da bateria, exemplificados em cada um dos distintos setores da fazenda Santa Mônica (STM-07, ITA-08, J-06, CPA-02, JD-02 e STI-07).

3.1.1 Perfis litológicos dos poços tubulares

Apresenta-se aqui informações dos poços tubulares da bateria da Fazenda Santa Mônica e uma síntese do perfil litológico, com as profundidades aproximadas dos materiais perfurados, disponibilizadas pelo empreendedor e/ou apresentadas no trabalho da MDGEO denominado “Informações sobre os perfis litológicos – construtivos dos poços tubulares de irrigação da Fazenda Santa Mônica” (MDGEO, 2017b), documento público protocolado no processo da pesquisa hidrogeológica - Portaria nº 0001589/2018, acessível fisicamente no repositório do IGAM.

Segundo MDGEO, 2017b, vários poços apresentavam perfis referenciados às nomenclaturas antigas/originais da época da perfuração (sobretudo os mais antigos) e, nesse caso, foram correlacionados às nomenclaturas atuais, através de sua coordenada ou localização em campo. Os poços antigos apresentavam coordenadas geográficas ou UTM em datum WGS 1984 ou SAD 69 e essas foram transformadas para coordenadas UTM no datum SIRGAS 2000, utilizado no estudo. Nesse trabalho também foram compilados perfis de poços antigos, que não foram possíveis associar aos novos poços.

A Tabela 3 a seguir apresenta a relação dos poços e, no caso daqueles que possuem perfil litológico (48 poços), uma síntese das profundidades aproximadas dos contatos entre as litologias: coberturas, rocha decomposta e rocha dura (fim do furo).

O mapa com a localização de todos os poços tubulares é apresentado na Figura 13 adiante e os perfis litológicos-construtivos disponíveis, apresentados no ANEXO.

Tabela 3: Síntese das informações disponíveis em perfis litológicos dos poços tubulares
(Fonte: F.S.T.A.P. e MDGEO, 2017b).

Poço	E	N	Cota do terreno (m)	Prof. cobertura	Prof. rocha decomposta	Prof. rocha dura (fim furo)
ITA-01	633089	8237238	492	17.0	18.0	100.0
ITA-02	632698	8230081	496	17.0	18.0	100.0
ITA-03	632591	8229910	492	6.0	7.0	65.0
ITA-04	632513	8230157	492	15.0		75.0
ITA-05	632433	8229815	495	13.0		90.0
ITA-06	632546	8229936	493	15.0		63.0
ITA-07	632535	8231372	512	23.0	27.0	150.0
ITA-08	632803	8230257	492			
ITA-09	633652	8237055	519			
ITA-10	633089	8237238	520			
ITA-11	632421	8234791	531			
ITA-12	632490	8234835	532			
CPA-01	636162	8232831	497	17.9	37.9	51.0
CPA-02	636077	8232820	496			
CPA-03	636144	8232780	495	36.0	42.0	51.0
CPA-04	636130	8232729	495	12.0	28.0	53.0
CPA-05	636191	8232734	496	16.0	35.0	51.0
CPA-06	636281	8232685	500			
CPA-07	636208	8232673	499	35.0	49.0	69.0
CPA-08	636230	8232702	498			
CPA-09	636240	8232409	513			
CPA-10	636242	8232406	513			
CPA-11	637815	8233537	516			
J-01	629014	8227294	521	34.0		135.0
J-02	629923	8227807	513	27.0	30.0	135.0
J-03	631450	8227429	504			
J-04	631370	8227370	505	25.0	28.0	81.0
J-05	629026	8227424	521	27.0	31.0	148.0
J-06	630092	8227541	503	9.0	10.0	111.0
J-07	629026	8227687	520	23.5	34.0	150.0

J-08	631202	8227586	503	17.0	19.0	111.0
J-09	631374	8227579	504	15.0	16.0	54.0
J-10	631009	8228442	524			
STM-01	632912	8229822	492	9.0		113.0
STM-02	632938	8229530	491	5.0		120.0
STM-03	633788	8229294	491	14.0	15.0	120.0
STM-04	633828	8229963	497	14.0	18.0	110.0
STM-05	633268	8229415	490	14.0	15.0	120.0
STM-06	632927	8227933	520	11.0		120.0
STM-07	633953	8230086	509	9.0	10.0	123.0
STM-08	636494	8228641	520			
STI	630316	8230136	511	4.0		38.0
STI-01	630347	8230235	501	4.0	6.0	100.0
STI-01-A	630379	8230284	497			
STI-02	630521	8230358	498	3.0	4.3	120.0
STI-03	630680	8230296	498			
STI-04	630566	8230566	496	5.0		100.0
STI-05	630630	8230547	499	6.0		150.0
STI-06	629990	8231628	501	5.0	10.0	165.0
STI-07	630265	8232081	501	3.0		100.0
STI-08	630123	8233258	504	30.0	38.0	103.0
STI-09	630889	8230496	495	15.0		81.0
STI-10	629996	8233102	505	21.0	23.0	111.0
STI-11	629161	8233460	516	8.0		180.0
STI-12	629624	8233692	509	14.0	18.0	150.0
STI-13	629738	8234072	505	14.0	16.0	99.0
STI-14	629588	8234066	506	14.0	16.0	99.0
STI-15	630362	8231709	505			
JD-01	629125	8227201	523	33.0	34.0	150.0
JD-02	628927	8227660	506	20.0		102.0
JD-03	628925	8227269	506	20.0		102.0
JD-04	628926	8227283	506	12.0	18.0	123.0
JD-05	628928	8227247	506	10.0	19.0	120.0
JD-06	628972	8227097	504	27.0	33.0	130.0
JD-07	628997	8227087	505	33.0	34.0	150.0

3.2 Poços de monitoramento de nível d'água

Até setembro de 2017 o monitoramento do nível d'água na região foi realizado nos próprios poços de bombeamento, cujas identificações estão relacionadas aos nomes das sete antigas fazendas que hoje compõem o empreendimento Fazenda Santa Mônica (Capão das Abelhas – CPA, Itatiaia – ITA, Santa Izabel – STI, Santa Mônica – STM, Jataí – J e João de Deus – JD), conforme ilustrado na Figura 13.

A partir de outubro de 2017³, o monitoramento do nível d'água passou a ser realizado em poços de monitoramento (PM) exclusivos para essa finalidade, sendo 19 poços instalados na fazenda (14 novos e 5 antigos poços de bombeamento desativados) além de outros 6 (PA), que são poços de abastecimento localizados em propriedades vizinhas a norte e a oeste da fazenda, incorporados à rede de monitoramento (Figura 13). Esses poços são monitorados mensalmente e captam águas predominantemente do aquífero cárstico Lagoa do Jacaré e, em alguns casos, também da porção saturada da cobertura detrito-laterítica sotoposta (Figura 12). Contudo, não foram encontradas informações sobre as profundidades desses poços, tampouco de suas câmaras filtrantes. Sabe-se que são inferiores a 80 metros.

Importante destacar que ainda que sejam poços de monitoramento de nível d'água de propriedade da fazenda e exclusivos para esta finalidade, os poços PM-04 e PM-06 estão localizados fora dos seus limites, a leste dessa (entre a fazenda e o rio Verde Grande). Esses poços foram instalados somente em 2018, próximos às estações fluviométricas do rio (Figura 13), com o objetivo de avaliar a interferência do bombeamento da bateria no nível d'água do aquífero nestes locais e, só iniciaram seu monitoramento em fev/2018, quando houve acordo com os superficiários locais.

³ *Mês que marca o início do período avaliado neste estudo, em função do início do monitoramento do nível d'água sistemático e contínuo, em poços exclusivos para essa finalidade.*

As fotografias a seguir ilustram os poços de monitoramento do nível d'água da fazenda (poços novos perfurados em 2017 e poços de bombeamento antigos, redirecionados ao monitoramento), na ocasião das leituras com o medidor de nível d'água manual. A localização desses poços é apresentada na Figura 13, adiante.



Foto 6: Poços da rede de monitoramento do nível d'água, no ato das leituras. Exemplos de poços novos, construídos em outubro de 2017 (PM's 01, 03, 08 e 10) e de antigos poços de bombeamento desativados, destinados exclusivamente ao monitoramento do nível d'água (ITA-10 e CPA-11).

3.3 Estação meteorológica

Conforme apresentado anteriormente, o monitoramento dos recursos hídricos da fazenda também conta com leituras diárias de precipitações em pluviômetro particular, que compõe uma estação meteorológica local situada nas imediações da sua sede, próximo aos poços de bombeamento STM-04 e STM-07 (Figura 13).

3.4 Estações fluviométricas

Referente ao monitoramento de vazões do rio Verde Grande e do riacho Salobro, foram construídas 7 estações fluviométricas (VZ 01 a 07) na região da fazenda, compostas por réguas fluviométricas instaladas em pontos estratégicos, a montante e a jusante da fazenda, também ilustradas na Figura 13. Nestas estações, em tese, são monitoradas diariamente o nível da lâmina d'água (leitura direta nas réguas) e, mensalmente, as vazões dos cursos d'água com micromolinetete (idealmente, até que se obtenha leituras suficientes para elaboração de curva chave).

No entanto, as estações VZ-01 e VZ-04, localizadas no riacho Salobro, tiveram que ser descartadas do estudo, devido à forte influência antrópica nesse riacho ao longo de todo seu curso (barramentos e captações tanto dentro da fazenda quanto a montante e a jusante dela). O monitoramento nesses dois pontos deixou de ser relevante, por não se tratar de vazões naturais do riacho. O VZ-06 também não foi considerado devido à sua localização distante, em trecho de escoamento intermitente e fora do contexto do objetivo do estudo.

Portanto, neste estudo serão utilizados os dados de monitoramento de quatro estações fluviométricas (VZ-02, VZ-03, VZ-05 e VZ-07), situadas no leito do rio Verde Grande (Figura 13), ainda que no período avaliado ocorreram irregularidades no monitoramento nessas estações fluviométricas, conforme será abordado adiante.

As fotografias abaixo ilustram as estações fluviométricas do riacho Salobro e do rio Verde Grande, com destaque para as réguas fluviométricas e as medições de vazão com micromolinete também realizadas nesses pontos. O mapa com a localização dessas estações é apresentado na Figura 13, a seguir.



Foto 7: Estações Fluviométricas instaladas no riacho Salobro e no Rio Verde Grande. A) VZ-01 (salobro), B) VZ-02, C) VZ-03, D) VZ-05, E) VZ-06, F) VZ-07. (Fonte: acervo A.R.G).

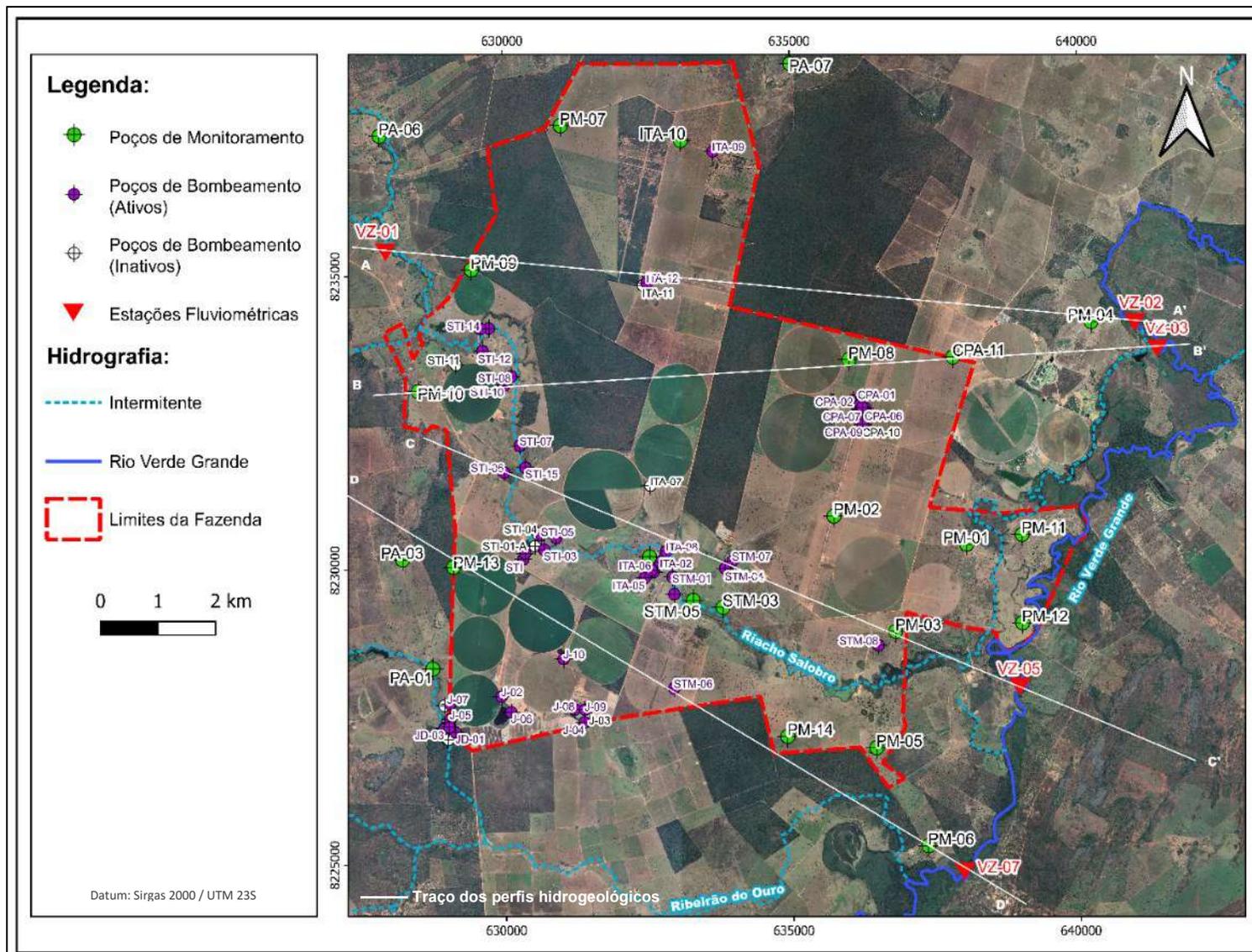


Figura 13: Localização dos poços de bombeamento, poços de monitoramento do nível d'água e das estações fluviométricas.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Os itens a seguir descrevem os materiais e métodos usados para o refinamento do entendimento hidrogeológico e a avaliação do comportamento do aquífero cárstico frente à exploração de água subterrânea e sua conexão hidráulica com o rio Verde Grande.

4.1 Avaliações da exploração dos poços e do monitoramento hidrogeológico

Foram avaliados dados mensais de vazão de exploração dos poços tubulares (PT), níveis d'água (NA) nos poços de monitoramento (PM) e níveis/vazões nas estações fluviométricas do rio Verde Grande (VZ), no período de avaliação deste estudo, que vai de outubro de 2017 a junho de 2019.

A vazão de produção dos poços foi obtida por meio da razão dos valores de volumes bombeados, medidos nos hidrômetros, pelo tempo de operação de cada poço, medidos nos horímetros instalados nos painéis das bombas (Foto 8).

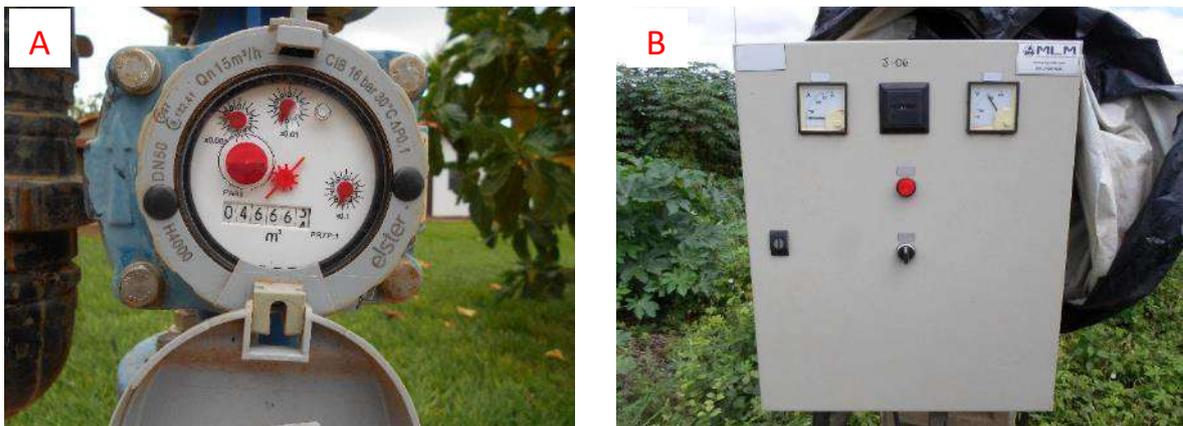


Foto 8: Exemplo de hidrômetro (A) e painel com horímetro (B) instalados nos poços tubulares.

Os níveis estático e dinâmico do aquífero, que eram medidos inicialmente nos próprios poços tubulares de bombeamento, após outubro de 2017, passaram a ser medidos nos poços exclusivos para o monitoramento de nível d'água, como detalhado no capítulo 3. As leituras da profundidade do nível d'água foram obtidas com medidor

de nível d'água elétrico manual, posteriormente convertidas em cota altimétrica do nível d'água, mediante subtração da cota de boca (superfície) do poço (Foto 9), que por sua vez, foi obtida em levantamento topográfico de detalhe (GPS geodésico).



Foto 9: Leituras de nível d'água com medidor de nível manual.

A vazão do rio Verde Grande foi monitorada mensalmente em estações fluviométricas instaladas em pontos estratégicos ao longo do seu leito. As medições foram realizadas com o micromolinete fluviométrico *USGS Pygmy Current Meter*, modelo *Current Meter Digitizer* (Fotos 7 e 10). Nessas estações também foram medidas diariamente as alturas da lâmina d'água do rio por meio de seções de régua fluviométricas instaladas nas margens (Fotos 6 e 10).

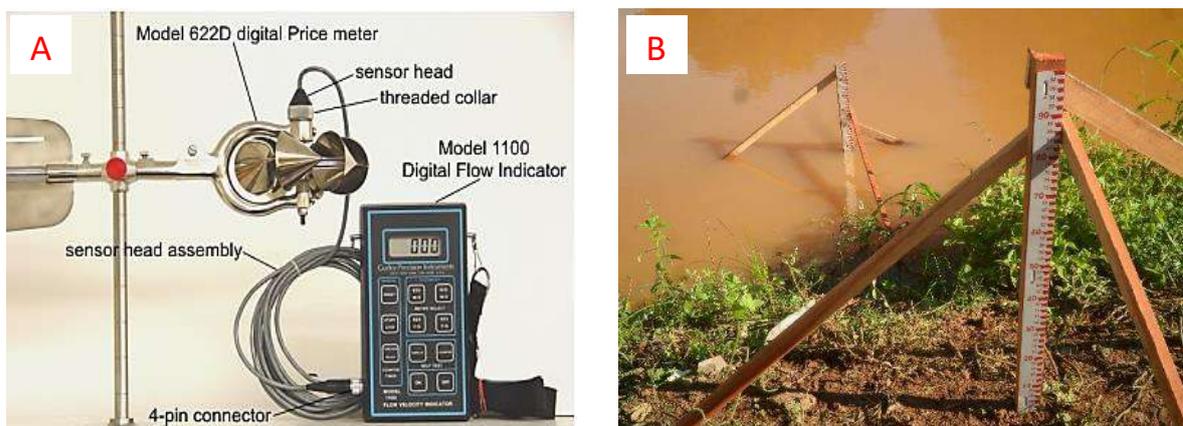


Foto 10: Exemplo ilustrativo de micromolinete fluviométrico com contador de pulsos (A) e das régua fluviométricas instaladas (B).

O método para o monitoramento fluviométrico consiste, primeiramente, na escolha de uma seção transversal adequada (trecho retilíneo com calha bem definida e fluxo

mais laminar possível), seguido pela definição das posições horizontais (bases) e profundidades das leituras (Foto 6). O micromolinete mede o número de rotações das conchas por um tempo definido. Os dados são lançados em tabela Excel, convertidos em velocidade de fluxo pela fórmula do equipamento (fornecida pelo fabricante) e, a partir da largura e das profundidades da seção em cada base, calcula-se a área da seção atravessada e, por fim, a vazão do rio naquele ponto.

Ao longo do período avaliado, uma vez definida uma curva chave preliminar para cada estação fluviométrica (relação altura da lâmina d'água e vazão calculada), as medições de vazão com micromolinete foram interrompidas e foram monitoradas apenas as alturas de lâmina d'água em cada estação fluviométrica.

Salienta-se que, devido ao grande volume de águas apresentado pelo rio Verde Grande durante os meses mais chuvosos (dezembro a fevereiro), não foi possível realizar o monitoramento das vazões, com o micromolinete adotado.

Também importante ressaltar que durante o período de avaliação dos dados deste estudo, ocorreram diversas irregularidades com o monitoramento dos níveis e das vazões nas estações fluviométricas do rio Verde Grande, principalmente após fevereiro de 2018 (pico do período chuvoso), cujas cheias do rio comprometeram o alinhamento das réguas fluviométricas. Essa situação se agravou no período pós-pesquisa hidrogeológica (a partir de janeiro de 2019), quando o monitoramento foi absorvido por equipe local da fazenda.

A existência de uma estação de captação a fio d'água no rio Verde Grande entre as estações fluviométricas VZ-05 e VZ-03, sem um monitoramento sistemático e integrado dos volumes e vazões captadas, com o monitoramento das vazões do rio nas estações fluviométricas, também comprometeu a avaliação dos dados monitorados nas estações fluviométricas no período avaliado.

4.2 Balanço hídrico

O balanço hídrico (BH) baseou-se no princípio de conservação de massa, no qual a diferença das entradas e saídas naturais de água de um sistema é igual à variação do armazenamento dentro desse. São seis os elementos de entrada: precipitação, orvalho, escoamento superficial, drenagem lateral, ascensão capilar e irrigação; e quatro elementos para as saídas: evapotranspiração, escoamento superficial, drenagem lateral e drenagem profunda (Rolim *et al.*, 1998).

O BH foi realizado com base no método de Thornthwaite-Mather (1955), que considera o movimento vertical natural da água, sem interferência antrópica, representando a entrada de água proveniente exclusivamente da precipitação e a saída, pela evapotranspiração real e pelo excedente hídrico, expresso pela equação:

$$P - (ETR + EXC) = \pm \Delta ARM \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

P = precipitação média mensal (mm);

ETR = evapotranspiração real média mensal (mm);

EXC = excedente hídrico (mm);

ΔARM = variação do armazenamento de água do solo (umidade).

O cálculo do BH foi precedido pela determinação da evapotranspiração potencial (ETP) pelo método de Penman-Monteith (Monteith, 1973), com base nos dados de temperatura, umidade, velocidade do vento e insolação monitorados na estação meteorológica de Montes Claros (código 83437), operada pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, a aproximadamente 70 km da área, de características climáticas similares.

Devido à relevância local e maior período de amostragem, os dados de precipitação utilizados foram provenientes do monitoramento local no pluviômetro da fazenda, com registros de chuva desde julho de 1981, dados que também foram utilizados nas avaliações comparativas da exploração dos poços e variações de nível d'água e vazões, apresentadas adiante.

Para o cálculo do BH e da ETP foram utilizadas as planilhas eletrônicas Excel “BHseq V6.3 2002” e “BHnorm V4.0 1998”, desenvolvidas por Rolim & Sentelhas (1998, 2002), disponíveis nos links: <https://pt.scribd.com/document/282161512/BHseq63> e <https://pt.scribd.com/document/373135767/BHnorm>. Foram inseridos os dados de temperatura e precipitação mensais do período de outubro de 2017 a junho de 2019.

Para a variável capacidade de água disponível no solo – CAD (parâmetro de entrada nas referidas planilhas), que, segundo Rolin *et. al* (1998), é função das características físicas do solo e da profundidade de exploração efetiva das raízes, foi adotado o valor de 150 mm, baseado no valor utilizado por Galvão *et al.* (2018), em estudo hidrogeológico correlato desenvolvido também em calcários do Grupo Bambuí, no município de Sete Lagoas (MG).

Os resultados do cálculo são expressos graficamente (extrato do balanço hídrico) mostrando os valores (em mm) referentes ao déficit e excedente hídrico, precipitação, evapotranspiração potencial e evaporação real para a área.

4.3 Superfícies potenciométricas e fluxos subterrâneos

O mapa de superfície potenciométrica foi elaborado a partir dos dados de profundidade do nível d'água em poços de monitoramento, em regime estático, com a bateria de bombeamento desligada a, pelo menos, 12 horas. Essa condição permitiu representar o nível d'água em situação natural do aquífero, sem (ou com pouca) influência do bombeamento da bateria de poços no momento da leitura.

Foram confeccionados dois mapas de superfície potenciométrica e de fluxo subterrâneo, referentes aos períodos chuvoso (fevereiro de 2018) e seco (setembro de 2018), com o intuito de representar espacialmente a variação sazonal da superfície do nível d'água subterrânea nos meses correspondentes aos picos dos períodos de chuva e estiagem, dentro do período temporal avaliado (Figura 18).

Também foram feitas tentativas de representar a superfície do nível d'água para uma análise temporal comparativa baseada em níveis dinâmicos do aquífero (com a bateria em funcionamento). Mas essa análise foi desconsiderada por retornar uma comparação distorcida, com a distribuição das superfícies do nível d'água diretamente vinculadas à operação ou não de determinado poço de bombeamento próximo, na ocasião da leitura. Isso porque o funcionamento dos poços de bombeamento da fazenda não é constante, com alguns poços, por vezes, bombeando em regime distinto dos demais (ou mesmo paralisados), dada a demanda operacional setorizada da fazenda. Em alguns casos, o regime de bombeamento é controlado por relés para interrupção automática do bombeamento, que também compromete a análise com a bateria em operação.

4.4 Ensaio de bombeamento e parâmetros hidráulicos do aquífero

O conhecimento dos parâmetros hidráulicos de um aquífero é fundamental para o entendimento do seu potencial de armazenar e transmitir água subterrânea. Os parâmetros hidráulicos transmissividade (T) e condutividade hidráulica (K) foram estimados por meio de ensaios de bombeamento em poços tubulares.

No segundo semestre de 2016 foram realizados ensaios de bombeamento individuais (rebaixamento e recuperação do nível d'água) em 51 poços tubulares da bateria. O bombeamento foi realizado com a vazão máxima do equipamento instalado no poço, por um período de 24 horas, com vazão estabilizada durante a maior parte do ensaio. Durante os ensaios foram medidos os níveis estáticos, dinâmicos e a vazão dos poços. O ensaio de recuperação teve início imediatamente após o desligamento da bomba com os níveis medidos até o retorno ao nível estático.

Na interpretação dos resultados, por se tratar de ensaios com leituras no próprio poço bombeado, foi utilizado o método de Cooper e Jacob (1946), mediante a elaboração de gráficos de rebaixamento versus o logaritmo do tempo de bombeamento e/ou de recuperação para cada poço, a partir dos quais são calculados os parâmetros hidráulicos pontuais do aquífero pelas seguintes equações:

$$T = \frac{2,3.Q}{4.\pi.\Delta s_{10}}, = \frac{0,183.Q}{\Delta s_{10}} \text{ (equação 2)}$$

$$S = \frac{2,25.T.t_0}{r^2} \text{ (equação 3)}$$

$$K = \frac{T}{b} \text{ (equação 4)}$$

Onde:

T = transmissividade (m²/h);

S = coeficiente de armazenamento (adimensional);

K = condutividade hidráulica (m/h)

Q = vazão do poço (m^3/h);

Δs_{10} = rebaixamento ($s_1 - s_2$) em um ciclo logarítmico (m);

t = tempo de bombeamento (h);

t_0 = tempo correspondente ao rebaixamento zero (em que a reta do rebaixamento intercepta o eixo das abscissas - X) (h);

r = distância do ponto de observação ao poço bombeado (m).

b = espessura saturada do aquífero (m)

Por se tratar de um aquífero cárstico, foram realizadas adequações práticas ao método (Galvão *et al.* 2015b), conceitualmente desenvolvido para meio poroso homogêneo isotrópico e contínuo, para um meio heterogêneo, anisotrópico e descontínuo.

Para a espessura saturada do aquífero, admitiu-se 80 metros, com base em dados de perfis litológicos dos poços (ANEXO) e na experiência da companhia perfuradora na região.

Ressalta-se que, por se tratar de bombeamentos com leituras de rebaixamento no próprio poço bombeado, foram calculados apenas os valores de transmissividade (T) e condutividade hidráulica (K). Nessas situações, não é viável o cálculo do coeficiente de armazenamento (S) do aquífero, que em sua fórmula, leva em consideração a distância entre os poços de bombeamento e de monitoramento.

Com base na razão entre vazão e rebaixamento do nível d'água, também foram calculadas as vazões específicas (ou capacidade específica) dos poços que, embora não seja um parâmetro hidráulico do aquífero, representa importante informação sobre a capacidade de um poço produzir água subterrânea (Figura 17).

Em alguns poços, não foi possível calcular os parâmetros hidráulicos, por consequência de problemas no bombeamento, nas leituras ou na ausência de rebaixamento.

4.5 Levantamento topográfico da calha do rio Verde Grande

Até o início do presente estudo, não se conhecia as cotas altimétricas exatas da calha do rio Verde Grande, entendidas como fundamentais para a determinação da relação hidráulica entre o rio e o aquífero. As referências topográficas do rio Verde Grande disponíveis até então eram provenientes da base cartográfica do IBGE e de leituras de GPS de mão, ambas com imprecisões e incertezas associadas.

O levantamento topográfico da calha do rio foi realizado em dezembro de 2020 (pós pesquisa hidrogeológica) pela empresa NEDRO Engenharia Geotecnologia e Topografia, utilizando o equipamento *GNSS High Target V60* (Foto 11), com precisão pós-processada milimétrica (horizontal: 2,5mm + 0,5ppm e vertical: 5mm + 0,5ppm), referenciado ao datum SIRGAS 2000 e ao datum vertical (altimétrico) Mareógrafo de Imbituba, mesma referência utilizada pelo IBGE em suas bases topográficas (NEDRO, 2020).



Foto 11: Equipamento GPS GNSS High Target V60 utilizado levantamento topográfico planialtimétrico da calha do rio Verde Grande pela Nedro (2020).

Foram levantadas as cotas altimétricas do fundo da calha do rio Verde Grande em todas as estações fluviométricas (inclusive aquelas instaladas no riacho Salobro), para posteriormente, serem confrontadas com as cotas do nível d'água subterrânea medidas nos poços de monitoramento mais próximos (Foto 12).



Foto 12: Levantamento topográfico planialtimétrico da calha do rio Verde Grande. Fonte: Nedro (2020).

4.6 Perfis hidrogeológicos

Para a avaliação da conexão hidráulica do aquífero com o rio Verde Grande foram definidos quatro perfis hidrogeológicos (seções verticais) cortando toda área da fazenda, em direção às estações fluviométricas (Figura 13).

As seções foram traçadas de maneira a atravessar principalmente os poços de monitoramento do nível d'água próximos ao rio e às estações fluviométricas. Quando possível, atravessando também alguns poços de bombeamento e de monitoramento existentes no interior da fazenda, ou mesmo, em traçados próximos a esses, de maneira a possibilitar a projeção de mais poços (PT e PM) e níveis d'água nas seções.

Nos perfis hidrogeológicos elaborados (Figura 20) foram representados, além dos instrumentos supracitados, os aquíferos cárstico e superficiais, as calhas do rio Verde Grande e do riacho Salobro; e as cotas do nível d'água subterrânea referentes aos meses de fevereiro e outubro de 2018, que corresponderam, respectivamente, aos picos dos períodos chuvoso e seco da região, representando assim a variação sazonal do nível d'água subterrâneo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresenta-se aqui, em subitens, os resultados e a discussão sobre o comportamento do aquífero cárstico Lagoa do Jacaré frente à exploração de água subterrânea e sua conexão hidráulica com o rio Verde Grande.

5.1 Exploração da bateria de poços

Dos 65 poços tubulares que compõem a bateria da fazenda, 55 estavam em operação e com instrumentos de monitoramento (níveis e vazões) instalados no período avaliado, entre outubro de 2017 e junho de 2019. Todos os poços captam água em regime contínuo (24h/dia), predominantemente, do aquífero cárstico Lagoa do Jacaré e, em alguns casos, também da porção saturada do aquífero superficial associado à cobertura detrito-laterítica.

Há uma grande variabilidade nas vazões individuais produzidas pelos poços, com predominância de valores inferiores a 50 m³/h (42%), sendo boa parte entre 50 e 150 m³/h (33%) e, em menor proporção, poços com vazões superiores a 150 m³/h (25%), como mostra o histograma de vazões de bombeamento apresentado na Figura 17 adiante.

Em termos de produção global da bateria, foram registrados volumes mensais entre 300 mil m³ e 1,4 milhões de m³ de água subterrânea, com predominância entre 400 e 700 mil m³ mensais no período de avaliação (Figura 14).

Esses volumes mensais equivalem a vazões médias entre 420 e 1.920 m³/h de exploração de água subterrânea pela bateria. Com base nesses valores, pode-se dizer que a bateria de poços possui uma média global de vazão superior a 1.000 m³/h.

Vale ressaltar que a exploração anual de água subterrânea da bateria (no período avaliado), está dentro do volume anual outorgado para o empreendimento na pesquisa

hidrogeológica (18 milhões de m³ por ano). Tomando por base tanto o ano calendário de 2018 (janeiro a dezembro), quanto o ano hidrológico 2017-2018 (outubro de 2017 a setembro de 2018), o volume explorado em um intervalo de 12 meses está entre 8 e 9 milhões de m³, praticamente metade do volume anual outorgado.

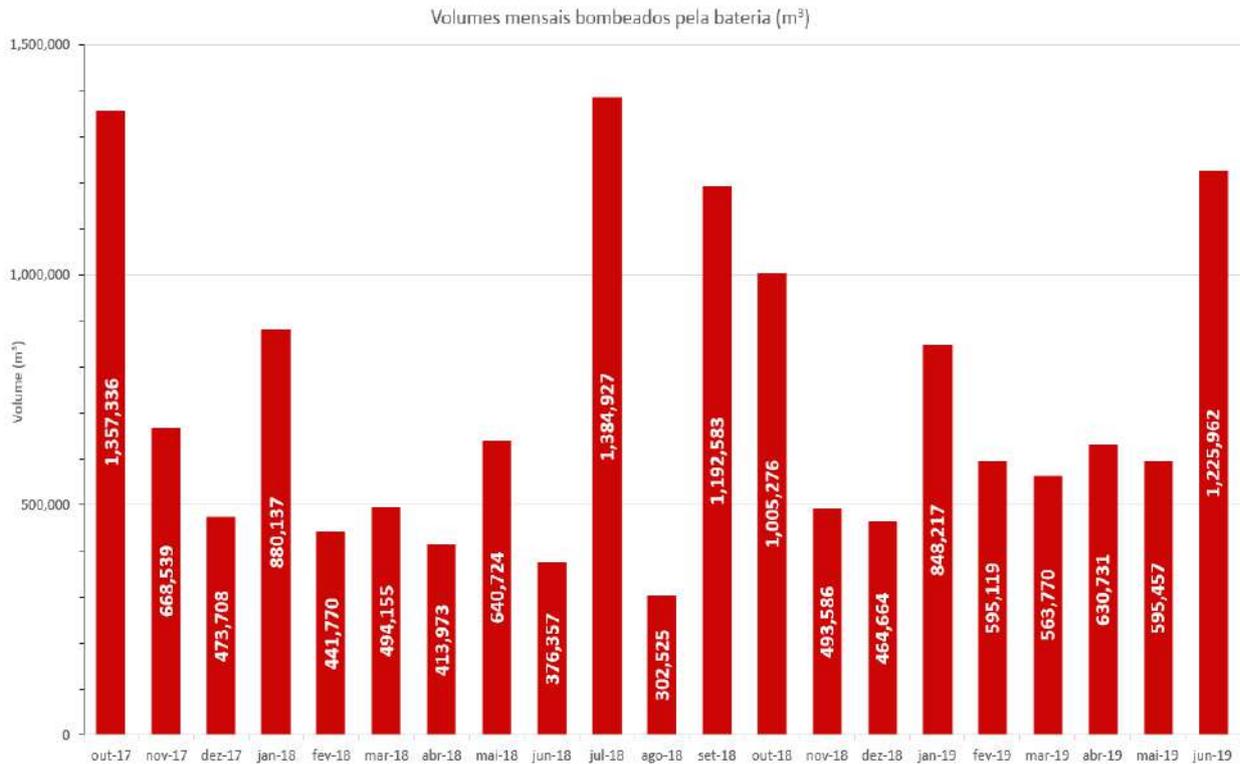


Figura 14: Volumes de água subterrânea explorados mensalmente pela bateria de poços de bombeamento no período de outubro/2017 a junho/2019.

5.2 Monitoramento do nível d'água

Dos 25 poços de monitoramento (PM) existentes (Figura 13), 11 estão situados nas porções central e leste da fazenda, entre a região com a maior concentração de poços de bombeamento e o rio Verde Grande.

Por esse motivo, considerando que os demais PM's da região norte e oeste são irrelevantes para a avaliação da conexão hidráulica da bateria de poços com o rio, foram analisados apenas os níveis de água desses 11 PM's relevantes: PM-01, PM-03,

PM-04, PM-05, PM-06, PM-11, PM-12A, PM-02, PM-08, PM-14 e CPA-11 (Figura 15 e Tabela 2).

Os dados de nível d'água (NA) monitorados e apresentados na Figura 15 e na Tabela 2 a seguir referem-se às leituras mensais do nível estático nesses poços entre outubro de 2017 e junho de 2019, com a bateria de poços de bombeamento desligada por, pelo menos, 12 horas (em geral, 24 horas).

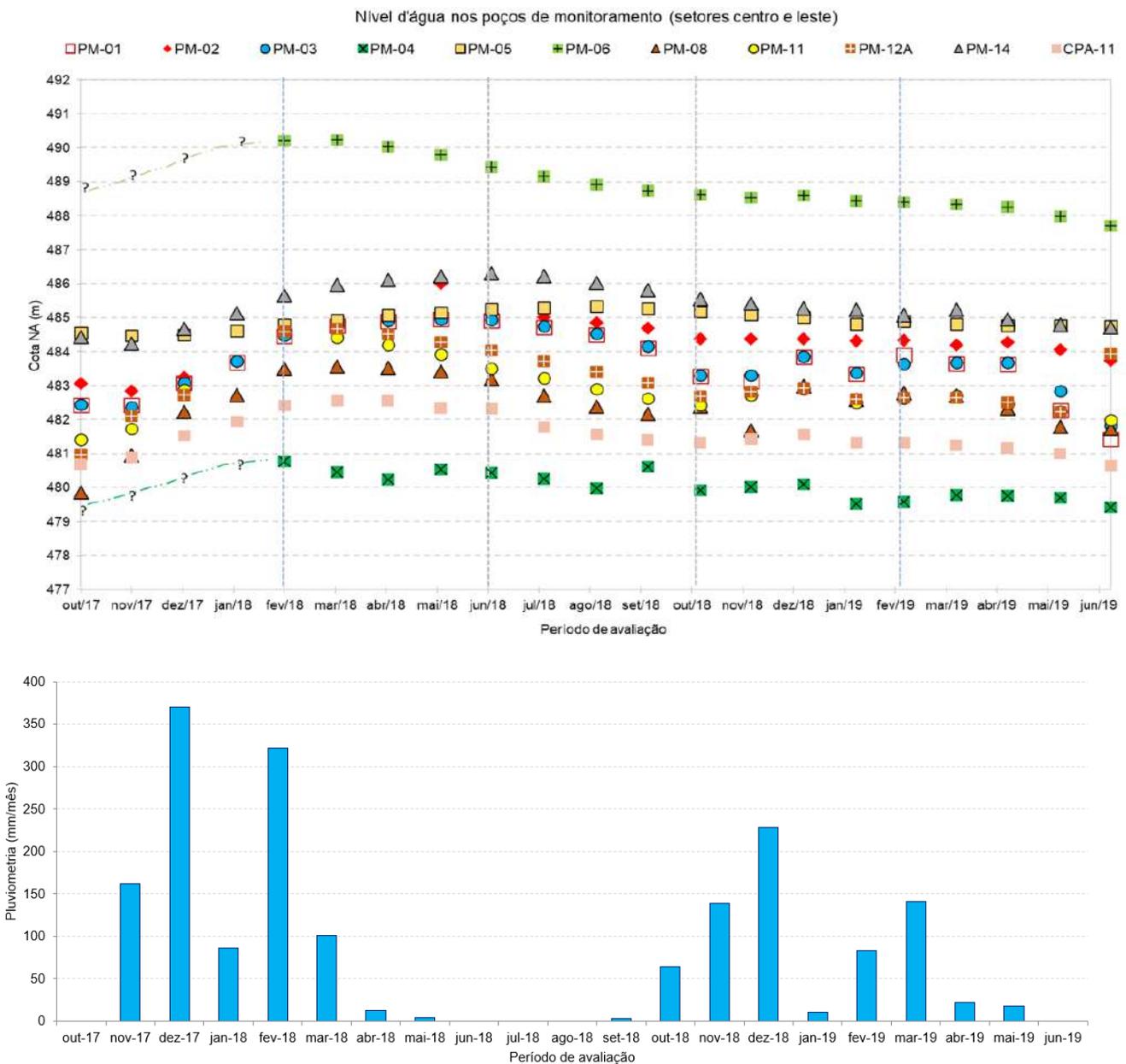


Figura 15: Evolução do nível d'água nos poços de monitoramento situados entre a bateria de poços e o rio Verde Grande, e pluviometria mensal, no período de outubro/2017 a junho/2019.

Tabela 2: Variação do nível d'água nos poços de monitoramento em períodos comparativos distintos. (Sinal positivo: elevação do NA naquele período avaliado. Sinal negativo: diminuição do NA naquele período avaliado).

Período	PM-01	PM-03	PM-04	PM-05	PM-06	PM-11	PM-12A	PM-02	PM-08	CPA-11	PM-14
Jun19-out17	-1,0	-0,62	?	+0,21	?	+0,58	+2,95	+0,67	+1,88	+0,04	+0,28
Out18-out17	+0,85	+0,87	?	+0,62	?	+1,01	+1,71	+1,32	+2,54	+0,64	+1,11
Jun19-jun18	-3,49	-3,12	-1,03	-0,50	-1,72	-1,50	-0,10	-1,35	-1,47	-1,68	-1,59
Fev19-fev18	-0,55	-0,84	-1,20	+0,10	-1,82	-	-1,94	-0,23	-0,71	-1,09	-0,57

De maneira geral, comparativamente, os poços exibem um comportamento do nível d'água semelhante, com oscilações temporais mensais acompanhando o regime sazonal de chuvas e, com tendência a um rebaixamento do NA, a depender do período de comparação avaliado.

A exceção aparente é observada nos poços PM-06 e PM-04, situados nas extremidades sudeste e nordeste da área, próximo às estações de monitoramento do rio Verde Grande VZ-07 e VZ-02 (Figura 13), nos quais ficam mais ressaltados rebaixamentos mais acentuados do nível d'água. Contudo, esses poços foram instalados apenas em fevereiro de 2018 (por questões de permissão de superficiários), sendo os únicos instrumentos em que não se tem dados desde outubro de 2017. Portanto, entende-se que, possivelmente, os níveis dos PM's 06 e 04 também seriam inferiores nos meses iniciais com ausência de dados (out/17 a jan/18 – destacados com linhas pontilhadas e interrogações no gráfico), acompanhando o comportamento padrão nos demais instrumentos, sem o aparente rebaixamento contínuo e mais acentuado observado no gráfico (Figura 15).

Importante destacar que, nesse período supracitado, observa-se um grande volume de chuvas concentrado no período chuvoso de 2017-2018, em níveis históricos para região (Figura 16 adiante). Este acúmulo de chuvas foi responsável por uma

elevação do nível d'água geral em todos os instrumentos de monitoramento da fazenda (assim como nas vazões do rio Verde Grande, riacho Salobro e seus barramentos), nitidamente destacada em uma avaliação individual do NA em cada instrumento.

Considerando a diferença entre os valores monitorados em todo o período de avaliação (jun/19 - out/17), em uma análise global simplificada das variações, percebe-se que predomina uma ligeira elevação do nível d'água nos valores apresentados na Tabela 2, o que pode estar relacionado a leituras em meses distintos (junho e outubro). Contudo, esse comportamento contrapõe a existência de um rebaixamento do nível d'água global associado ao período total avaliado.

Em uma comparação realizada entre os meses de máxima estiagem possíveis de serem avaliados no período (out/18 - out/17), percebe-se que há uma elevação geral do nível d'água em todos os instrumentos (entre 0,62 e 2,54 m). Acredita-se que essa elevação esteja associada ao grande volume de chuvas registrado no período chuvoso 2017-2018 (Figura 16).

Por outro lado, em uma comparação realizada na metade final do período avaliado, entre 2018 e 2019 (contando agora com as leituras dos PM's 06 e 04), percebe-se que, independentemente se a avaliação comparativa é feita em meses de estiagem (jun/19 - jun/18) ou de chuva (fev/19 - fev/18), há uma tendência de rebaixamento global do nível d'água nos instrumentos, respectivamente entre 0,10 e 3,49 m (jun/19 - jun/18) e entre 0,33 e 1,94 m (fev/19 - fev/18). Da mesma forma, entende-se que essa diminuição também esteja associada ao grande volume de chuvas do período chuvoso 2017-2018, o que não se repetiu na mesma intensidade (volumes) no período chuvoso 2018-2019 (Figura 16).

5.2 Monitoramento de níveis e vazões do rio Verde Grande

Condições adversas e irregularidades foram detectadas no monitoramento dos níveis e das vazões nas estações fluviométricas do rio Verde Grande durante o período de avaliação dos dados, comprometendo a avaliação desses dados (sobretudo no período pós pesquisa), a saber:

- Impossibilidade de obtenção de dados de vazão nos meses de cheia do rio (situação regular já prevista na concepção da pesquisa, diante da altura da lâmina d'água e frente ao método de medição utilizado - micromolinete);
- Desalinhamento de réguas fluviométricas, sobretudo após intensas chuvas e cheias do rio (situação detectada em mais de um período chuvoso e, regularizada dentro do possível, segundo informado pelo empreendedor);
- Destruição de réguas fluviométricas em locais de acesso público (sobretudo, na VZ-06, localizada próxima a estrada vicinal);
- Irregularidades em leituras, armazenamento de dados e cálculo das vazões medidas com micromolinete, no período pós-pesquisa hidrogeológica, quando o monitoramento foi absorvido por equipe local da fazenda;
- Existência de captações a fio d'água no rio Verde Grande (entre as estações VZ-05 e VZ-03) tanto da fazenda, quanto de terceiros, comprometendo a comparação entre as leituras realizadas a montante e a jusante da fazenda (perdas de água);
- Ausência de um monitoramento sistemático integrado dos volumes e vazões captadas a fio d'água no rio Verde Grande (entre as estações VZ-05 e VZ-03), com o monitoramento dos níveis e vazões desse, nas estações fluviométricas, comprometendo a comparação de vazões entre os segmentos/trechos do rio monitorados a montante e a jusante da fazenda.

Desta forma, não foi possível estabelecer correlações adequadas entre as vazões do rio Verde Grande e o bombeamento da bateria de poços, no período avaliado. Assim, não é possível fazer uma análise de impactos do bombeamento dos poços na vazão do RVG. Essa análise ficou então vinculada unicamente à avaliação da conexão hidráulica existente entre o aquífero cárstico explorado e o rio Verde Grande, objetivo maior do estudo.

5.3 Balanço hídrico

Referente ao balanço hídrico, conforme ilustrado na Figura 16 a seguir, há uma predominância de períodos de deficiência hídrica na área, típico da região semiárida do norte de Minas Gerais, com tendências de reposição com o avanço do período chuvoso e excedente restrito no auge do período chuvoso (dezembro a fevereiro).

No período avaliado, há um grande excedente nos meses de dezembro e fevereiro de 2018 (acima de 150 mm/mês), coerente com o grande volume de chuvas que se concentrou na área nesse período, com totais mensais superiores a 300 mm, valores atípicos se comparado a média histórica para esse mês, desde 1981, ano em que se iniciou o monitoramento do pluviômetro local, baseado no histórico de monitoramento de chuvas da fazenda.

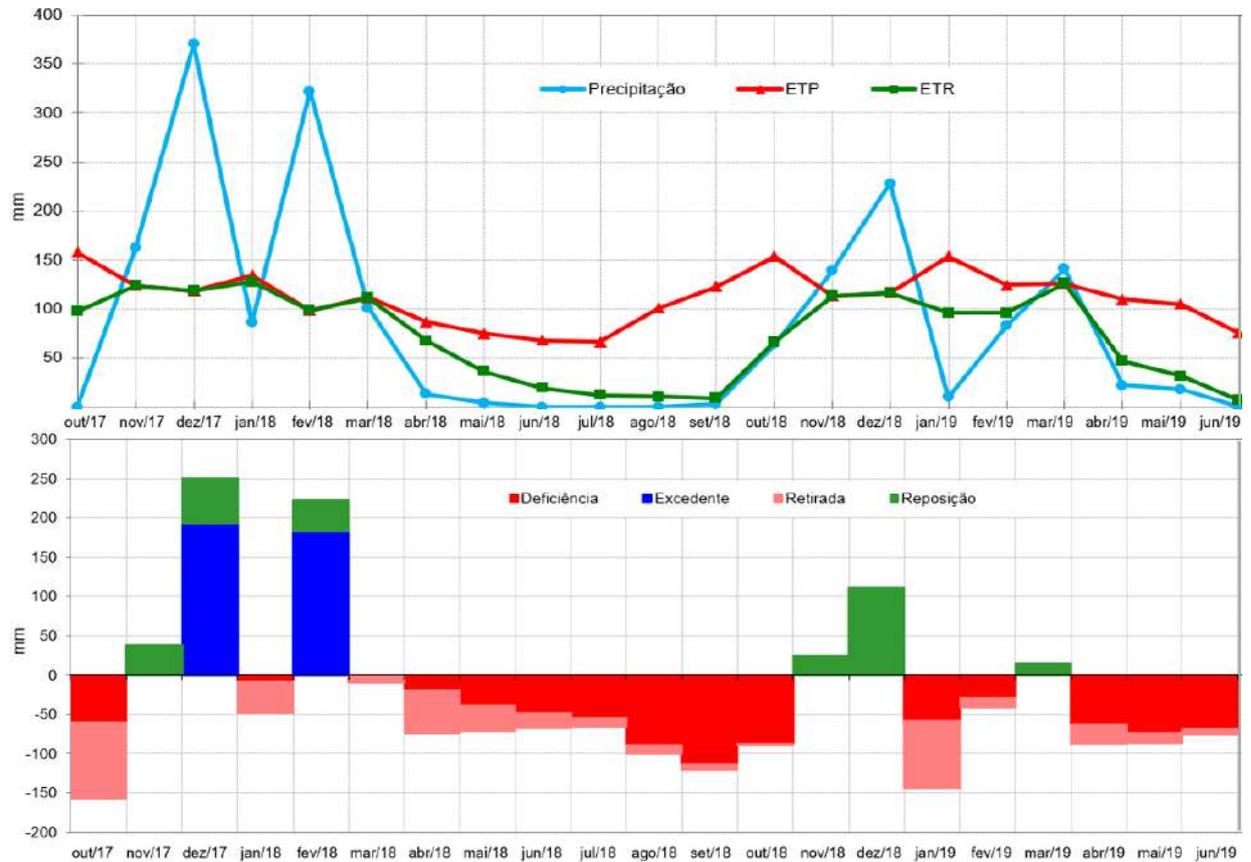


Figura 16: Extrato do balanço hídrico da região no período de outubro/2017 a junho/2019.

5.4 Ensaio de bombeamento e parâmetros hidráulicos

Na análise gráfica dos ensaios de bombeamento foi comum o aparecimento de mais de uma reta de rebaixamento, situação comum na interpretação de ensaios em meios descontínuos, sobretudo no carste, em que a água bombeada muitas vezes está associada a mais de uma estrutura (ex. fraturas e condutos), podendo inclusive apresentar propriedades hidráulicas direcionais distintas (condutividade hidráulica e transmissividade). A Figura 17 apresenta os gráficos de frequência dos resultados obtidos a partir da interpretação dos ensaios de bombeamento e dos cálculos dos parâmetros hidráulicos do aquífero, para cada poço ensaiado.

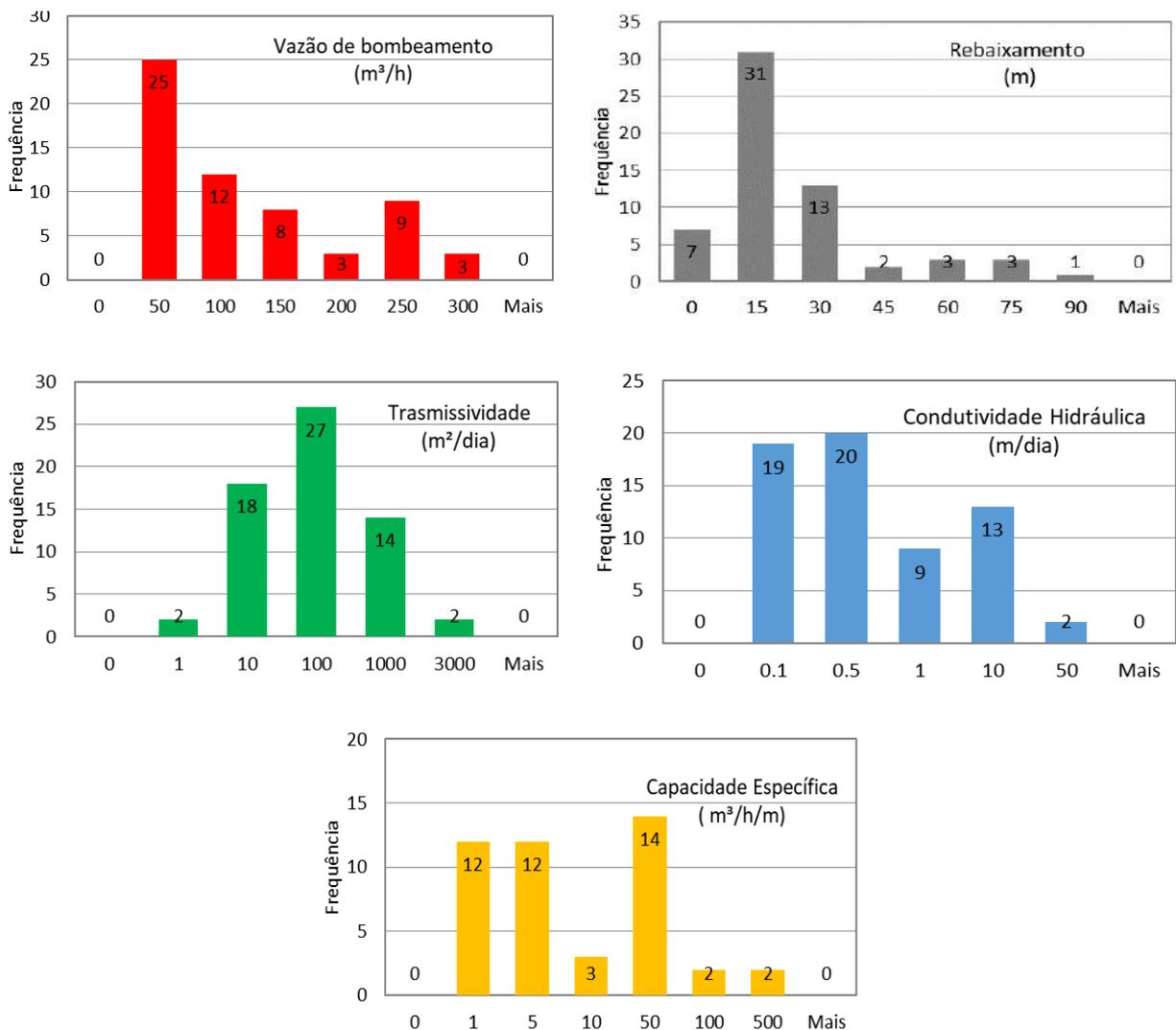


Figura 17: Gráficos de frequência dos parâmetros de produção dos poços tubulares e dos parâmetros hidráulicos do aquífero cárstico fissural obtidos nos ensaios de bombeamento.

As informações obtidas e os parâmetros hidráulicos calculados a partir dos ensaios de bombeamento individuais dos poços tubulares, em suas etapas de rebaixamento e recuperação são apresentados na Tabela 2, ao final desse item.

As vazões de produção dos poços durante os ensaios tiveram um predomínio de valores de até 50 m³/h, com uma frequência considerável entre 50 e 150 m³/h (Tabela 3). O rebaixamento do nível d'água (diferença entre nível estático e dinâmico, em cada poço bombeado) revela o predomínio de valores menores que 30 m, sendo, a grande maioria, inferiores a 15 m. Este número indica dois aspectos principais:

- 1) o aquífero tem um elevado potencial de produção de água; e
- 2) essa produção não reflete em rebaixamento no nível d'água em grande magnitude (“resiliência do aquífero”). Relação associada ao parâmetro capacidade específica do poço ($q = Q/s$).

Em outras palavras, entende-se que o bombeamento da bateria de poços não esteja provocando uma super exploração do aquífero, captando água subterrânea majoritariamente da reserva renovável do aquífero (ilustrada no item 1.3.1). Ou seja, que as vazões exploradas não superam à capacidade de recarga/disponibilidade hídrica local do aquífero cárstico (Feitosa *et al.* 2008).

Essa avaliação é corroborada pela relativa ligeira recuperação do nível d'água dos poços aos patamares iniciais (nível estático), geralmente em tempo inferior a 12 horas após paralisação completa do bombeamento da bateria de poços. Assim, entende-se que, caso o aquífero estivesse sendo superexplorado (além de sua capacidade de renovação), o rebaixamento seria de maior magnitude, com efeitos práticos tais como a redução contínua de vazão nos poços e o aprofundamento das bombas submersas; fatos que, segundo o empreendedor, não aconteceu no período avaliado.

O histograma da transmissividade (T) apresenta a distribuição de probabilidade log-normal, típico de aquíferos cársticos e fraturados. O histograma de condutividade hidráulica (K) apresenta valores concentrados na faixa entre 0,1 e 10 m/dia, evidenciando bombeamento tanto da matriz fraturada do maciço cárstico como um todo, como de estruturas cársticas dos calcários, entendidos como condutos principais, que estabelecem rotas preferenciais de fluxo (Figura 17). Entretanto, predominam valores inferiores a 0,5 m/dia, que ainda assim, refletem uma excelente condição geral de permeabilidade do aquífero.

Tendo em vista que em ensaios pontuais com leituras de rebaixamento no próprio poço bombeado não é possível calcular o coeficiente de armazenamento (S), foi adotado como referência para esse parâmetro os valores 0,01 e 0,02 (parâmetro adimensional), obtidos em testes de interferência realizados em 2016 nos poços do setor Capão das Abelhas – CPA pela empresa Aguacenter Poços Artesianos, valores esses, associados a aquíferos livres.

Referente à capacidade específica (q) dos poços, os valores estão entre 1 e 5 m³/h/m, seguido pelo intervalo de 10 a 50 m³/h/m, evidenciando a presença de estruturas cárstico-fraturadas e, no caso dos valores mais elevados, de um carste mais desenvolvido (condutos principais), com grande potencial de produção de água subterrânea. As duas tendências vistas na capacidade específica se repetem na vazão e na condutividade hidráulica, reforçando a existência de duas principais estruturas condutoras do fluxo de água no aquífero: uma matriz fraturada do maciço cárstico (onde também ocorrem proto-condutos, com fraturas ampliadas por dissolução, geralmente com menos de 20 cm de diâmetro e fluxo laminar) e um sistema cárstico principal bem desenvolvido, formado por possíveis grandes condutos (porosidade terciária).

Evidentemente que há também valores de parâmetros hidráulicos coerentes com a percolação de água em fraturas da rocha (porosidade secundária) mas, de menor potencial, bem como a percolação em meio poroso, no aquífero superficial associado à cobertura detrito-laterítica (porosidade primária).

A tabela 2 a seguir apresenta um resumo dos resultados obtidos nos ensaios de bombeamento dos poços tubulares realizados pela empresa Aguacenter Poços Artesianos no ano de 2016, disponibilizados pelo empreendedor. Os cálculos dos parâmetros hidráulicos foram realizados, sempre que possível, em ambas as etapas de cada ensaio (rebaixamento e de recuperação). Para o cálculo de K, foi considerada a espessura saturada de 80 metros (item 4.4) .

Tabela 4: Resultados obtidos na interpretação dos ensaios de bombeamento individuais dos poços tubulares (Fonte: Aguacenter e MDGEO, 2016).

Poço	Q (m ³ /h)	NE (m)	ND (m)	s (m)	q (m ³ /h/m)	T (m ² /dia)		K (m/dia)	
						rebaix.	recup	rebaix.	recup
ITA 01	207.3	17.0	30.8	13.8	15.0	374.8	212.7	4.7	2.7
ITA 02	190.8	20.0	24.0	4.0	47.7	549.6	85.7	6.9	1.1
ITA 03	293.0	17.6	18.7	1.1	266.4				
ITA 04	16.6	15.6	33.5	17.9	0.9		7.3		0.1
ITA 05	269.3	21.5	21.5	0.0					
ITA 06	224.3	18.5	18.5	0.0					
ITA 07	43.0	31.0	111.0	80.0	0.5	8.2	4.6	0.1	0.1
ITA 08	38.1	27.8	75.1	47.3	0.8	8.8	5.0	0.1	0.1
ITA 09	29.6	31.1	41.4	10.3	2.9	25.5	9.2	0.3	0.1
ITA 12	28.4	50.4	79.1	28.7	1.0	46.5	32.9	0.6	0.4
STM 01	23.9	17.5	22.7	5.2	4.6	42.9	17.5	0.5	0.2
STM 03	5.0	25.0	40.0	15.0	0.3	51.6	0.0	0.6	
STM 04	49.6	16.4	57.7	41.2	1.2	8.6	5.7	0.1	0.1
STM 06	9.7	31.9	31.9	0.0					
STM 07	5.0	35.1	52.9	17.8	0.3	5.2		0.1	
STM 08	5.9	25.1	25.1	0.0					

CPA 01	227.6	13.5	21.0	7.5	30.3	414.0	467.4	5.2	5.8
CPA 02	215.2	13.8	22.0	8.2	26.2	172.2	1539.8	2.2	19.2
CPA 03	103.5	13.6	20.2	6.6	15.8				
CPA 04	209.5	12.5	22.9	10.4	20.1	96.0	152.0	1.2	1.9
CPA 05	96.2	13.7	21.0	7.3	13.1	65.6	132.3	0.8	1.7
CPA 06	131.1	19.4	20.0	0.6	201.7	1920.0		1.7	
CPA 07	98.5	16.9	26.3	9.4	10.5	56.0	240.0	0.7	3.0
CPA 08	100.8	16.5	23.2	6.7	15.0	75.1	164.2	0.9	2.1
CPA 09	30.1	32.4	32.8	0.4	86.1				
CPA 11	103.1	35.6	35.6	0.0					
J 01	41.3	30.0	78.9	48.9	0.8	23.7	64.8	0.3	0.8
J 02	115.5	18.4	44.5	26.1	4.4	52.6	18.8	0.5	0.2
J 03	42.4	20.9	41.8	20.9	2.0	42.5	22.8	0.3	0.2
J 04	261.4	19.2	38.2	19.0	13.8	296.0	137.9	2.9	1.2
J 05	66.1	35.3	45.4	10.1	6.6	41.9	66.1	0.4	0.8
J 06	86.4	13.5	38.9	25.5	3.4	104.3	34.5	0.7	0.4
J 07	53.2	31.1	47.2	16.1	3.3	21.5	10.1	0.3	0.1
J 08	49.5	16.8	85.3	68.5	0.7	8.9	22.8	0.1	0.1
J 09	237.8	19.2	38.9	19.7	12.1	294.8	180.4	3.7	2.3
J 10	1.8	36.5	76.7	40.2	0.0	0.5	0.2	0.0	0.0
STI	7.4	28.0	28.0	0.0					
STI 01	181.2	19.5	23.7	4.2	43.1	498.0	1661.0	6.2	20.8
STI 02	20.1	16.9	82.1	65.2	0.3	1.7	7.1	0.0	0.1
STI 03	32.7	15.2	71.2	56.1	0.6	4.0	9.3	0.1	0.1
STI 05	30.2	22.7	38.6	15.9	1.9	44.0	32.0	0.6	0.4
STI 06	71.1	22.7	24.0	1.3	54.7	601.5	481.2	7.5	6.0
STI 07	33.1	23.0	29.5	6.5	5.1	26.0	520.6	0.3	6.5
STI 08	70.0	20.0	23.1	3.1	22.6	179.1	2566.7	2.2	32.1
STI 09	164.0	13.5	23.6	10.1	16.2	352.0	424.4	4.4	5.3
STI 10	84.2	21.6	36.1	14.6	5.8	529.0	617.2	6.6	7.7
STI 12	68.3	20.3	83.9	63.6	1.1	67.5	66.8	0.8	0.8
STI 15	5.0	25.0	40.0	15.0	0.3	2.9	2.7	0.0	
JD 01	63.7	18.5	39.4	20.9	3.0	31.6	14.2	0.4	0.2
JD 02	38.7	17.4	40.1	22.7	1.7	15.8	6.9	0.2	0.1
JD 03	43.7	19.8	42.4	22.6	1.9	20.4	6.2	0.3	0.1

5.5 Superfícies potenciométricas

Foram confeccionados dois mapas de superfície potenciométrica (carga hidráulica) e fluxo subterrâneo, referentes aos níveis d'água monitorados nos poços de monitoramento da fazenda, no auge do período chuvoso (fevereiro de 2018) e no auge do período seco (setembro de 2018), para representar espacialmente a variação sazonal da superfície do nível d'água subterrâneo (Figura 18). Foi definida a distribuição de isolinhas de carga hidráulica espaçadas a cada 2 metros, entendidas como intervalo mínimo adequado para a avaliação espacial nesta escala de trabalho.

Observa-se um padrão de distribuição das equipotenciais e do fluxo subterrâneo na área muito semelhante em ambos os períodos avaliados. O fluxo natural predominante tem sentido leste, em direção à planície do rio Verde Grande, com uma inflexão para o sentido nordeste próximo à sua calha, acompanhando a direção preferencial de fluxo superficial. As cotas altimétricas do RVG são apresentadas no item 5.6 a seguir.

Localmente, na porção central da fazenda, próximo à calha do riacho Salobro, onde se concentra o maior número de poços de bombeamento (e com consideráveis vazões), observa-se a formação de uma superfície de rebaixamento (popularmente chamada de “cone de rebaixamento”), com um fluxo centrípeto em direção à esses poços produtores. Entende-se que esse efeito também esteja atrelado à proximidade dos poços de monitoramento ITA-04 e STM-05 dos poços produtores ali concentrados. Em outros locais, ainda que também existam poços bombeando, não se tem poços de monitoramento tão próximos a uma bateria de produção concentrada, de forma a ressaltar um eventual comportamento do nível d'água semelhante.

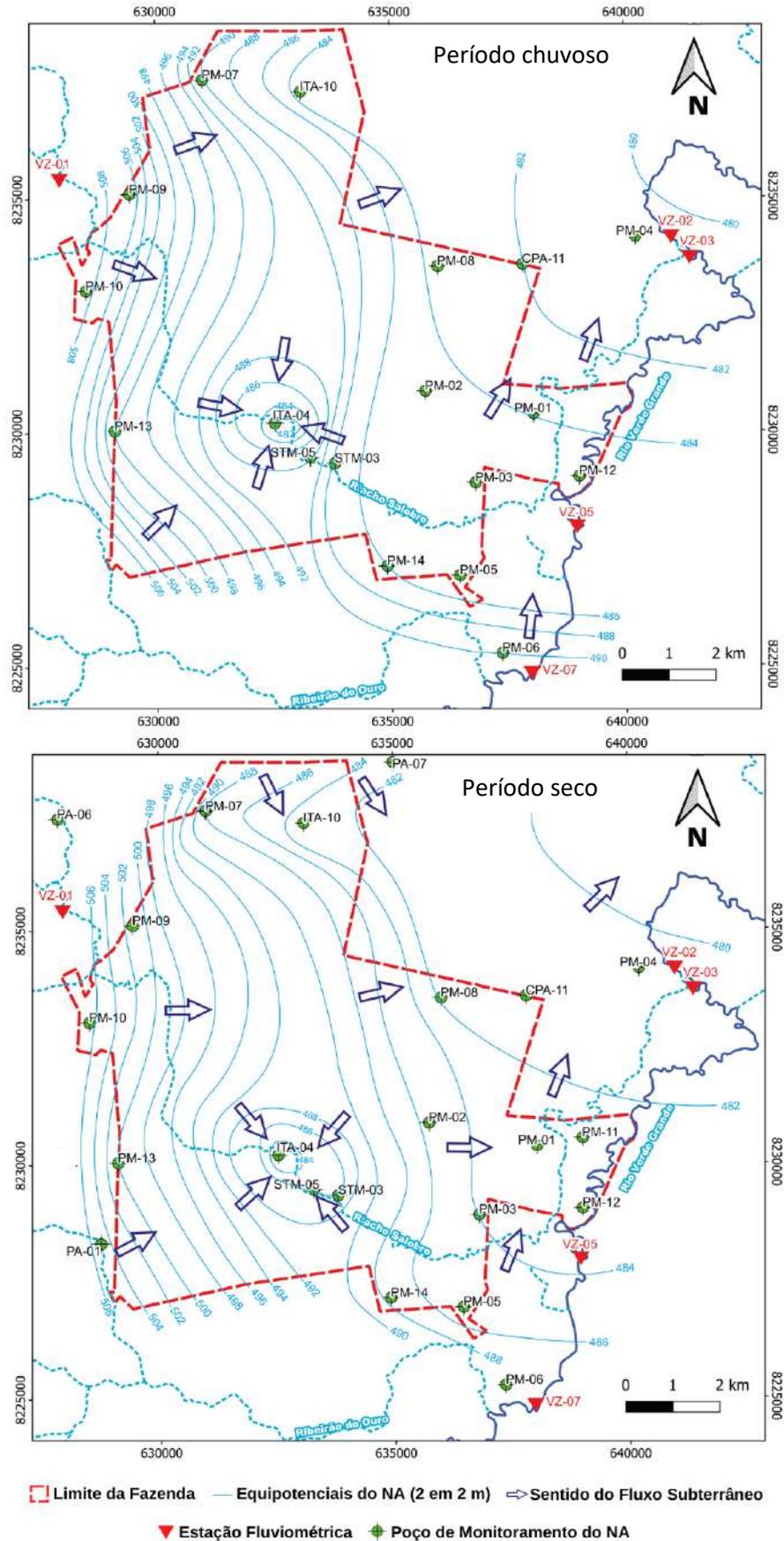


Figura 18: Mapas de cargas hidráulicas e fluxos subterrâneos representativos do auge dos períodos chuvoso (fevereiro/2018, acima) e seco (setembro/2018, abaixo) no mesmo ano.

Entende-se que a avaliação do comportamento do aquífero e essa comparação temporal deve ser realizada em situação natural do aquífero, sem (ou com mínima) influência do bombeamento no momento da leitura. Caso contrário, uma comparação com níveis dinâmicos não proporcionaria uma análise adequada, uma vez que o funcionamento da bateria não é constante, com poços trabalhando isoladamente, pela demanda operacional setorizada da fazenda, ou mesmo, paralisados, ou com relés de interrupção automática do bombeamento.

Foram feitas tentativas de avaliação com níveis dinâmicos, porém, sem sucesso, pois retornam uma comparação distorcida, com a distribuição das equipotenciais do nível d'água diretamente vinculadas à operação ou não de determinado poço de bombeamento próximo, no ato da leitura de nível. Ou seja, níveis de água com a bateria em operação não são dados que permitam uma análise comparativa adequada, tampouco, da resposta do aquífero ao bombeamento da bateria, na escala do trabalho, na contramão do objetivo deste.

5.6 Altimetria da calha do RVG, perfis hidrogeológicos e conexão hidráulica

Foram avaliadas as cotas altimétricas do fundo da calha (e da lâmina d'água) do rio Verde Grande nas 4 estações fluviométricas consideradas:

- VZ-02: 492,8m;
- VZ-03: 492,8m;
- VZ-05: 496,5m;
- VZ-07: 497,0m.

Para a avaliação da conexão hidráulica do aquífero com o rio Verde Grande foram definidas quatro seções verticais A, B, C e D, cortando toda área da fazenda em direção a essas estações fluviométricas, atravessando também os poços de monitoramento e de bombeamento dentro dos limites da fazenda (Figura 19).

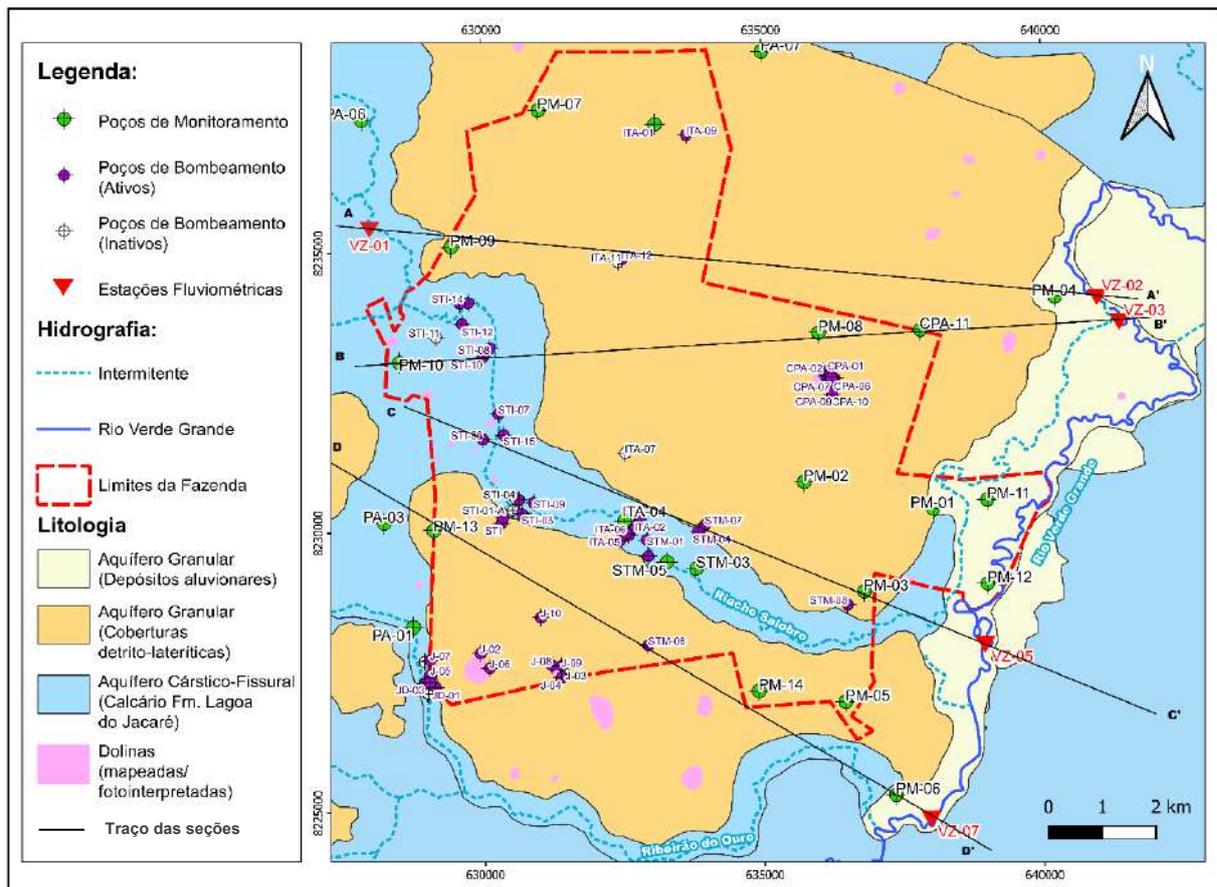


Figura 19: Aquíferos, traçado dos perfis hidrogeológicos e demais elementos importantes a compreensão da conexão hidráulica ilustrada nas seções verticais adiante.

Nos quatro perfis hidrogeológicos verticais apresentados na Figura 20 foram representados os aquíferos cárstico e superficiais sobrepostos, a calha do riacho Salobro (RS) e do rio Verde Grande (RVG), os poços de bombeamento e monitoramento e as cotas do nível d'água subterrânea e da lâmina d'água do RVG referente aos meses fevereiro e outubro de 2018, que corresponderam, respectivamente, aos picos dos períodos chuvoso e seco desse ano (Figura 15 e Figura 16), representando a variação sazonal do nível d'água subterrâneo.

Analisando os perfis, percebe-se que na maioria dos locais não há diferenças significativas entre os níveis estáticos registrados nos poços de monitoramento e de bombeamento no período seco (setembro de 2018) e chuvoso (fevereiro de 2018) deste ano, em que se tem o registro completo de leituras.

A exceção se dá nas imediações das barragens de acumulação de água no leito do RS, nos poços próximos às barragens B1 e B2 (região oeste), respectivamente as seções B' e C', onde, em virtude do grande volume de chuva acumulada em fevereiro de 2018 (Figura 16), houve consideráveis elevações pontuais do nível d'água.

Na região centro-leste, de interesse para a avaliação da conexão hidráulica entre a bateria de poços e o RVG, essa diferença entre os níveis é ainda menor entre os períodos avaliados, predominantemente inferior a 1 m.

Comparando as cotas de fundo da calha do RVG nas 4 estações fluviométricas, bem como da lâmina d'água nesses pontos, com os níveis estáticos dos poços de monitoramento mais próximos ao RVG, em todos os 4 perfis avaliados, o NA dos PM's mais próximos à cada estação fluviométrica está sempre abaixo das cotas de fundo da calha do rio, independente se a análise é feita com níveis de períodos chuvoso (fevereiro de 2018) ou seco (setembro de 2018). Importante ressaltar que as cotas de

boca dos poços de monitoramento também foram extraídas por levantamento topográfico de detalhe.

A diferença média entre as cotas do nível d'água do aquífero, obtidas em poços de monitoramento proximais, e a do ponto mais fundo da calha em cada estação fluviométrica é de 12 m, com exceção do ponto VZ-07, em que a diferença é de 7 m.

Portanto, nos 4 perfis avaliados, a calha e a lâmina d'água do rio estão bem acima da cota do nível d'água estático do aquífero cárstico, indicando a inexistência de conexão hidráulica direta entre aquífero e rio e, conseqüentemente, descaracterizando o rio Verde Grande como estrutura de descarga do aquífero cárstico nessa região.

Contudo, ainda que os dados indiquem que o rio Verde Grande está descolado com o aquífero (sem relação direta de efluência-influência), é sugerido que ele possa exercer recarga no aquífero em períodos de cheia, em que o volume e a extensão lateral do rio aumentam consideravelmente, atingindo uma planície de inundação de dezenas de metros de largura, proporcionando uma recarga nos aluviões, predominantemente mais permeáveis que o material do leito.

No entanto, além do aumento da carga hidráulica e da extensão lateral do rio e, maior permeabilidade dos aluviões, provavelmente esta relação de recarga não seja ampla e uniforme, sendo restrita também a regiões mais fraturadas e/ou carstificadas do seu leito.

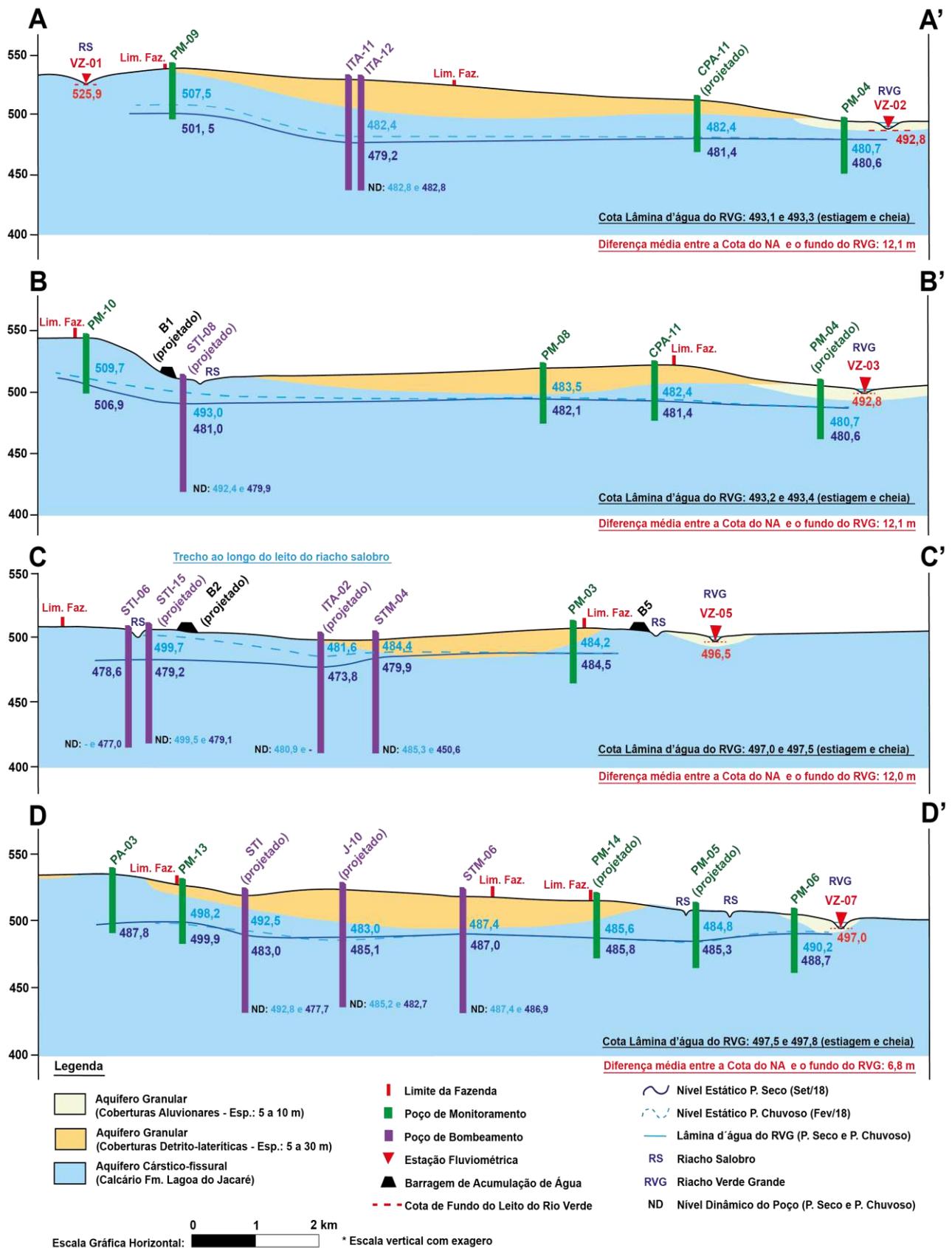


Figura 20: Perfis hidrogeológicos com a relação hidráulica entre o aquífero cárstico e rio Verde Grande. Os níveis estáticos dos períodos seco e chuvoso são semelhantes e a diferença entre as cotas de fundo do rio e do NA do aquífero nos PM mais próximos é da ordem de 12 m, ou seja, a calha do rio está cerca de 12 m acima do NA do aquífero.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os parâmetros hidráulicos e as vazões específicas indicam a existência de duas principais estruturas condutoras do fluxo de água no aquífero: uma matriz fraturada do maciço cárstico (onde provavelmente também ocorrem proto-condutos, com fraturas ampliadas por dissolução, geralmente com menos de 20 cm de diâmetro e fluxo laminar) e um sistema cárstico principal bem desenvolvido, formado por possíveis grandes condutos.

A relação entre vazões de produção da bateria de poços e rebaixamentos de nível d'água indica que o aquífero cárstico tem elevado potencial de produção de água subterrânea, mas que não reflete em rebaixamento no nível d'água global em grande magnitude, indicando um comportamento hidráulico resiliente frente à exploração, explicado pela retirada de água subterrânea majoritariamente da reserva renovável, não sendo superior à capacidade local de recarga/disponibilidade hídrica cárstica.

Há uma relação direta entre as variações de níveis estáticos do aquífero cárstico e os volumes bombeados pela bateria, com um rebaixamento crescente do nível d'água ao longo da estiagem em virtude do aumento da demanda de água subterrânea e, conseqüentemente, a recuperação dos níveis globais nos meses de chuva, dada a menor demanda de água subterrânea para irrigação e dessedentação animal, em virtude do aumento da disponibilidade de água superficial para o suprimento da demanda, o que caracteriza uma maior exploração de água subterrânea do aquífero no período de estiagem.

O fluxo subterrâneo natural é predominantemente para leste, em direção à planície do rio Verde Grande, com uma inflexão para nordeste próximo a sua calha, acompanhando a direção preferencial do gradiente do relevo.

Localmente, na porção central da área, próximo à calha do riacho Salobro, onde há o maior número de poços de bombeamento de altas vazões, há a formação de um cone de rebaixamento. Esse efeito visual de rebaixamento mais acentuado, observado nos mapas, também é influenciado pela maior proximidade de alguns poços de monitoramento em relação aos poços de bombeamento locais, o que faz com que o efeito do rebaixamento seja mais evidente pontualmente nesses PM's. Em outros locais, ainda que se tenha poços bombeando, não se tem poços de monitoramento tão próximos a uma bateria de produção concentrada, que possa também evidenciar a formação de outro cone de rebaixamento pontual.

Contudo, na análise comparativa dos níveis d'água nos poços de monitoramento, pode-se dizer que não há diferenças relevantes entre níveis estáticos entre os períodos seco e chuvoso, sobretudo na região centro-leste da área, foco da avaliação.

Não foi possível estabelecer correlações entre o bombeamento de água subterrânea pela bateria de poços da fazenda e as vazões do rio Verde Grande, no período avaliado, em virtude das dificuldades e irregularidades detectadas no monitoramento das estações fluviométricas. A avaliação desta suposta interferência se restringiu à avaliação das relações de carga hidráulica e conexão rio – aquífero, realizadas a partir dos dados apresentados nos perfis hidrogeológicos, objetivo maior do estudo.

Pela análise dos resultados, pode-se concluir que, no período e nas condições avaliadas neste estudo, a calha do rio Verde Grande está, em média, 12 metros acima do nível d'água estático do aquífero cárstico na área (tanto no período seco, quanto chuvoso). Esta diferença entre as cotas (e respectivas cargas hidráulicas) indica a ausência de conexão hidráulica direta entre o aquífero e o rio nesses locais,

descaracterizando o rio Verde Grande como estrutura de descarga do aquífero cárstico Lagoa do Jacaré, nesta área.

Nestas condições, o bombeamento de água subterrânea pela bateria de poços, em tese, não provocaria interferência quantitativa direta nas vazões do rio Verde Grande, uma vez que o nível d'água do aquífero está bem abaixo e desconectado do rio. Ou seja, o rio Verde Grande não é um rio efluente em relação ao aquífero nesta área, e sim, predominantemente desconectado.

Contudo, ainda que os dados indiquem ausência de conexão hidráulica direta, sugere-se que o rio Verde Grande possa exercer alguma recarga (influência) no aquífero, sobretudo, em períodos de cheia, favorecida pelo elevado aumento do volume de água e da carga hidráulica do rio, pela presença de aluviões mais permeáveis nas margens de sua calha, assim como locais mais fraturados e/ou carstificados ao longo do seu leito.

Para uma avaliação mais assertiva da relação hidráulica de influência-efluência entre aquífero e rio, bem como uma evolução no conhecimento das condições de fluxo de água subterrânea no aquífero cárstico, recomenda-se uma investigação complementar de cunho qualitativa, contemplando análises e caracterização hidroquímica e isotópica (isótopos naturais: Deutério, Oxigênio-18 e Trítio) associada à injeção de traçadores corantes nas águas subterrâneas e superficiais (em poços de bombeamento, poços de monitoramento e no rio Verde Grande).

7. REFERÊNCIAS

- ALVES, M. A. G. 2020. **Controles hidrogeológicos cársticos e efeitos antrópicos na Lagoa Grande, Sete Lagoas (MG)**. Dissertação de Mestrado. DEGEO-UFOP.
- ALVES, M., GALVÃO, P., ARANHA, P. 2021. **Karst hydrogeological controls and anthropic effects in urban lake**. Journal of Hydrology. Elsevier.593.
- ANA, 2013. **Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Verde Grande**. Agência Nacional de Águas.
- ANA, 2018. **Marco regulatório da bacia hidrográfica do rio Verde Grande**. Agência Nacional de Águas - Coordenação de Marcos Regulatórios e Alocação de Água.
- BRAGA, L.T.P. 2014. **Recarga do tipo localizada em ambiente Semi-árido: Estudo de caso em dolinas da Bacia do rio Verde Grande, Minas Gerais**. Dissertação de Mestrado. IGC-UFMG.
- BRAGA, L.T.P; VELÁSQUEZ, L.N.M, FLEMING, P.M.; RODRIGUES, P.C.H., 2016. **Recarga do tipo localizada em região semiárida: estudo de caso em dolinas da bacia do rio Verde Grande, Minas Gerais**. Águas Subterrâneas, p. 153-157.
- CLEARY, R. W. 2007. **Águas subterrâneas**. Tampa, Flórida: Princeton Groundwater e Clean Enviroment Brasil,
- CODEMIG & UFMG, 2013. **Projeto Norte de Minas**. Mapas geológicos escala 1:100.000 – folhas São João da Ponte (SD.23-Z-C-V), Barreiro da Jaíba (SD.23-Z-C-VI), Brasília de Minas (SE.23-X-A-II) e Capitão Enéas (SE.23-X-A-III) - Kuchenbecker, M. Atman, D. Costa. - Convênio Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais e Universidade Federal de Minas Gerais.
- CODEMIG & UFMG, 2015. **Projeto Fronteira de Minas Gerais**. Folha São João da Ponte - Sd.23-Z-C-V. Escala 1:100.000. Romano, W.A. - Convênio Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais e Universidade Federal de Minas Gerais.
- COOPER JR., H.H. & JACOB, C.E., 1946. **A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history**. Trans. Am. Geophys. Union 27, 526–534.
- COSTA, D. A, VELÁSQUEZ, L., FANTINEL, L., FREITAS, A., PEREIRA, C., RODRIGUES, P., & SILVA, S., 2010. **Hidroquímica e características dos sistemas aquíferos cárstico-fissural e granular no norte de Minas Gerais**. São Luís - MA: XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.
- COSTA, D. A., VELÁSQUEZ, L., & FANTINEL, L, 2011. **Controle estrutural na circulação e composição das águas no sistema aquífero cárstico-fissural do grupo Bambuí, norte de Minas Gerais**. Águas Subterrâneas, 25(1), 74-90.
- COSTA, D. A. 2011. **Controle lito-estrutural e estratigráfico na hidrogeoquímica e nas concentrações de fluoreto no sistema aquífero cárstico-fissural do Grupo Bambuí, norte de Minas Gerais**. Dissertação de mestrado. IGC- UFMG.

CPRM, 2019. **Projeto Águas do Norte de Minas – PANM**: Estudo da disponibilidade hídrica subterrânea no norte de Minas Gerais. Relatório de Integração. Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais do Brasil – CPRM e Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM. Belo Horizonte.

CVIJIĆ, J. 1893. **Das Karstphänomen: Versuch einer morphologischen Monographie**. Hölzel.

CUSTÓDIO, E, & LLAMAS M. R, 1983. **Hidrologia Subterránea**. Editorial Omega. 2ª edición. Volumen I y II. 2345p.

DARDENE, M.A., 1978. **Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central**. Anais do 30º Congresso Brasileiro de Geologia, Recife. Sociedade Brasileira de Geologia. v.2, p 597–610.

EMBRAPA. 2016. **Metodologia para cálculo de balanço hídrico**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/131449/balanco-hidrico-segundo-thornthwaite-mather-955>, <http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br/metodo.php>. Acessado em junho de 2021.

EME ENGENHARIA AMBIENTAL. 2021. **Mapeamento das dolinas existentes na ADA do empreendimento e avaliação de impactos sobre as mesmas, bem como estado de conservação do entorno**. Atendimento da Informação Complementar No. 20 do processo de licenciamento ambiental da Fazenda Santa Mônica. F.S.T.A.P., disponível fisicamente no repositório da SUPRAM-Norte, em Montes Claros/MG.

FCIHS, 2009. **Hidrogeología – Conceptos básicos de hidrología subterránea**. Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea. 768p. Barcelona.

FEITOSA, F.A.C., MANOEL FILHO, J.R., FEITOSA, E.C., DEMETRIO, J.G.A., 2008. **Hidrogeologia: Conceitos e aplicações**. 3ª ed. revisada e ampliada. CPRM/LABHid. 812p.

FETTER, C.W., 1994. **Applied hydrogeology**. Macmillan College Publishing, Inc., New York.

FORD, D.C. & WILLIAMS, P.W., 2007. **Karst geomorphology and hydrology**. 2nd ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd. 562 p.

FREITAS, A. M., PEREIRA, C., COSTA, D.A. 2008 **Geologia e Hidrogeologia de Jaíba, Verdelândia e Varzelândia, norte de Minas Gerais**. TCC de Graduação. IGC-UFMG.

FSTAP. 2015. **Estudo de Impacto Ambiental - Fortaleza de Santa Teresinha Agricultura e Pecuária Ltda**. Documento disponível fisicamente no repositório da SUPRAM-Norte, em Montes Claros/MG.

FSTAP. 2016. **Ensaio de bombeamento dos poços tubulares – Aguacenter Poços Artesianos**. Documento público protocolado no processo da pesquisa hidrogeológica - Portaria nº 0001589/2018, acessível fisicamente no repositório do IGAM.

GALVÃO, P. 2015. **Modelo hidrogeológico conceitual de Sete Lagoas (MG) e implicações associadas ao desenvolvimento urbano em regiões cársticas**. Tese de doutorado. IG-USP.

GALVÃO P., HALIHAN, T., HIRATA, R., 2015. **The Karst Permeability Scale Effect of Sete Lagoas, MG, Brazil**. J Hydrol 531:85/15–105. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.11.026>.

GALVÃO P, HIRATA R, CORDEIRO A, OSÓRIO DB, PEÑARANDA J. 2016. **Geologic conceptual model of the municipality of Sete Lagoas (MG, Brazil) and the surroundings**. Anais da Academia Brasileira de Ciências 88(1):35–53

GALVÃO, P., HIRATA, R., HALIHAN, T. 2017. **Fontes de recarga e evolução hidroquímica de um aquífero cárstico urbano, Sete Lagoas, MG, Brasil**. Environ Earth Sci 76, 159. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6482-3>

GALVÃO, P., HIRATA, R., CONICELLI, B., 2018. **Estimating groundwater recharge using GIS-based distributed water balance model in an environmental protection area in the city of Sete Lagoas (MG). Brazil**. Environmental Earth Sciences 77 (398).

GOLDSHEIDER, N., DREW, D., WORTHINGTON, S. 2007. **Methods in karst hydrology**. Taylor & Francis, London, UK. International Contributions to Hydrogeology.

GROTZINGER, J. & JORDAN, T. H. 2014. **Understanding earth**. 1st ed. ed. Bedford.

IBGE. 2004a. **Mapa de vegetação do Brasil** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?idnoticia=169&idpagina=1>. Acessado em maio de 2021.

IBGE. 2004b. **Mapa de Climas do Brasil** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/mapas_murais/clima.pdf. Acessado em junho de 2021.

IBGE. 2004c. **Mapa De Solos Do Brasil**. 1:5.000.000 - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística Disponível Em Ftp://Geofp.Ibge.Gov.Br/Mapas_Tematicos/Mapas_Murais/Solos.Pdf. Acessado em junho de 2021.

IBGE & EMBRAPA, 2001. **Solos do Brasil**. Metadados. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia/15829-solos.Downloads>. Acessado em junho de 2021.

IGLESIAS M. & UHLEIN A., 2008. **Estratigrafia do Grupo Bambuí na Serra do Jaíba, norte de Minas Gerais**. Geonomos, 16(1):21-27.

IGLESIAS M. & UHLEIN A., 2009. **Estratigrafia do Grupo Bambuí e coberturas fanerozóicas no vale do rio São Francisco, norte de Minas Gerais**. Revista Brasileira de Geociências, 39 (2): 256-267.

INMET. 2018. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal>. Acessado em março de 2021.

KUCHENBECKER, M. ATMAN, D. COSTA, R. D. 2014. **Folha Barreiro Da Jaíba** - Se.23-Z-C-Vi. Escala 1:100.000. Projeto Norte De Minas: Convênio Companhia De Desenvolvimento Econômico De Minas Gerais (Codemig) E Universidade Federal De Minas Gerais (UFMG) Belo Horizonte: Codemig. 37p

KUCHENBECKER, M. ET AL. 2014. **Folha Brasília De Minas** - Se.23-Y-D-iv Escala 1:100.000. Projeto Norte De Minas: Convênio Companhia De Desenvolvimento Econômico De Minas Gerais (Codemig) E Universidade Federal De Minas Gerais (UFMG) Belo Horizonte: Codemig. 35p

KUCHENBECKER, M. & COSTA, R. D. 2014. **Folha Capitão Enéas** - Se.23-X-A-ii Escala 1:100.000. Projeto Norte De Minas: Convênio Companhia De Desenvolvimento Econômico De Minas Gerais (Codemig) E Universidade Federal De Minas Gerais (UFMG) Belo Horizonte: Codemig. 33p

MDGEO, 2016. **Ensaio individuais de bombeamento e recuperação e interferência nos poços e avaliação inicial da vulnerabilidade à contaminação.** Fortaleza de Santa Teresinha Agricultura e Pecuária Ltda. São João da Ponte, MG. Vol III. Documento público protocolado no processo da pesquisa hidrogeológica - Portaria nº 0001589/2018, acessível fisicamente no repositório do IGAM.

MDGEO, 2017a. **Mapeamento geológico na região da Fazenda Santa Mônica.** Documento público protocolado no processo da pesquisa hidrogeológica - Portaria nº 0001589/2018, acessível fisicamente no repositório do IGAM.

MDGEO, 2017b. **Informações sobre os perfis litológicos – construtivos dos poços tubulares de irrigação da Fazenda Santa Mônica.** Documento público protocolado no processo da pesquisa hidrogeológica - Portaria nº 0001589/2018, acessível fisicamente no repositório do IGAM.

MDGEO, 2018a. **Ensaio de bombeamento/recuperação global do nível d'água da bateria de poços tubulares campanha de fevereiro de 2018.** Documento público protocolado no processo da pesquisa hidrogeológica - Portaria nº 0001589/2018, acessível fisicamente no repositório do IGAM.

MDGEO, 2018b. **Avaliação da evolução dos níveis d'água inicial e estático nos poços de bombeamento. Consolidação final durante um ano de ensaio de bombeamento e recuperação - março/2017 a fevereiro/2018.** Documento público protocolado no processo da pesquisa hidrogeológica - Portaria nº 0001589/2018, acessível fisicamente no repositório do IGAM.

MDGEO, 2018c. **Modelo hidrogeológico conceitual e numérico do fluxo de água subterrânea na região da Fazenda Santa Mônica.** Pesquisa hidrogeológica. Documento público protocolado no processo da pesquisa hidrogeológica - Portaria nº 0001589/2018, acessível fisicamente no repositório do IGAM.

MDGEO, 2018d. **Monitoramento de hidrômetros e horímetros dos poços de bombeamento da Fazenda Santa Mônica.** Consolidação dos dados até dezembro de 2018. Documento público protocolado no processo da pesquisa hidrogeológica - Portaria nº 0001589/2018, acessível no repositório do IGAM.

MDGEO, 2018e. **Relatório de consolidação dos dados de monitoramento de vazões no riacho Salobro e no rio Verde Grande.** Documento público protocolado no processo da pesquisa hidrogeológica - Portaria nº 0001589/2018, acessível fisicamente no repositório do IGAM.

MONTEITH, J. L., 1973. **Principles of environmental physics.** Edward Arnold, London, 241p.

NEDRO, 2020. **Levantamento topográfico planialtimétrico – Estações fluviométricas. Fazenda Santa Mônica.** FSTAP. NEDRO Engenharia Geotecnologia e Topografia. Documento interno.

NOGUEIRA, I. G. 2010. **Base legal de águas subterrâneas e identificação das áreas potenciais de conflito para o uso em Minas Gerais.** Monografia de pós graduação em gerenciamento de recursos hídricos. ICB-UFMG

PAIXÃO, M. M. O. M. 2006. **Programa de monitoramento de águas subterrâneas das sub-bacias dos rios Verde Grande, Riachão e Jequitaí.** Monografia de pós graduação em gerenciamento municipal em recursos hídricos ICB-UFMG.

PAULA, R. S. & VELÁSQUEZ, L. N. M. 2019. **Balço hídrico em sistema hidrogeológico cárstico, região de Lagoa Santa, MG.** Revista Águas Subterrâneas, Belo Horizonte, v. 33, p. 119-133.

PEREIRA, S. I., 2021. **Modelagem hidrogeológica numérica aplicada a gestão de riscos geotécnicos no contexto do Aquífero Cárstico da região urbana de Sete Lagoas.** Projeto para qualificação. Mestrado. DEGEO-UFOP.

PEREIRA, S. I., 2022. **Modelagem hidrogeológica numérica aplicada à avaliação de cenários de uso de água subterrânea no contexto do Aquífero Cárstico da região urbana de Sete Lagoas, MG.** 104p. Dissertação de Mestrado. UFOP.

PESSOA, P. F. P. 1996. **Caracterização hidrogeológica da região de Sete Lagoas - MG: potenciais e riscos.** Dissertação de mestrado. IG-USP.

PESSOA, P. F. P. 2005. **Hidrogeologia de aquíferos cársticos cobertos de Lagoa Santa, MG.** Tese de doutorado. IGC-UFMG.

ROLIM, G.S & SENTELHAS, P.C. 1998. **Balço Hídrico Normal por Thornthwaite & Mather. Planilha Excel BHnorm V4.0 1998.** DCE – ESALQ/USP. Disponível em <https://pt.scribd.com/document/373135767/BHnorm>. Acessado maio 2021.

ROLIM, G.S & SENTELHAS, P.C. 2002. **Balço Hídrico Sequencial por Thornthwaite & Mather. Planilha Excel. BHseq V6.3 2002.** Departamento de Ciências Exatas – Física e Meteorologia - DCE – ESALQ/USP. Disponível em <https://pt.scribd.com/document/282161512/>. Acessado em junho de 2021.

ROMANO, A. W. ET AL. 2015. **Folha São João Da Ponte - Sd.23-Z-C-V.** Escala 1:100.000. Projeto Fronteira De Minas Gerais: Convênio Companhia De Desenvolvimento Econômico De Minas Gerais (Codemig) e Universidade Federal De Minas Gerais (Ufmg) Belo Horizonte: Codemig. 50p

SANTOS, E. F., 2013. **Caracterização Hidrogeológica e Hidroquímica da Bacia do Rio Verde Grande em Minas Gerais**. Dissertação de Mestrado. IGC-UFMG.

SENTELHAS, P. C., GILLESPIE, T. J.; SANTOS, E. A., 2010. **Evaluation of FAO Penman-Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canada** (Vol. 97). Agricultural Water Management.

SILVA, A. B., 1984. **Análise morfoestrutural, hidrogeológica e Hidroquímica no estudo do aquífero cárstico do Jaíba, norte de Minas Gerais**. Tese de Doutorado. IG-USP.

SILVA, A. B., 1995. **Água Subterrânea no Carste da Bacia do Rio Verde Grande, Norte de Minas Gerais**. Tese para provimento de professor titular. UFMG.

SILVA, S. M. 2011. **Os condicionantes geoquímicos dos solos e da recarga sobre as concentrações de flúor dos aquíferos freáticos na região de Verdelândia e Varzelândia, semi-árido mineiro**. Tese de doutorado. IGC-UFMG.

SOARES, L.C. 2012. **Estimativa da recarga aquífera na bacia do rio Riachão, MG**. Dissertação de mestrado. IGC-UFMG.

TAVARES, I.P. 2020. **Caracterização hidrológica e das interferências antrópicas da Bacia do córrego Samambaia, região da APA Carste de Lagoa Santa – MG**. Dissertação de Mestrado. IGC-UFMG.

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

THORNTHWAITE, C.W. & MATHER, Jr., 1955 **The Water Balance**. Laboratory of Climatology, Centerton, NJ, USA. Publ. Climatol., 8 (1).

UFV, SEMAD, IGAM, SEAPA, RURALMINAS. **Atlas Digital das Águas de Minas**, Programa de pesquisa e desenvolvimento – HIDROTEC. Secretaria de Estado da Agricultura Pecuária e Abastecimento-SEAPA, Fundação Rural Mineira-RURALMINAS), Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável-SEMAD e Instituto Mineiro de Gestão das Águas-IGAM e Universidade Federal de Viçosa - UFV. Disponível em <http://www.atlasdasaguas.ufv.br/>. Acessado em junho de 2022.

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

ANEXO – Perfis litológicos e construtivos dos poços tubulares

Apresenta-se aqui todas as informações referentes aos perfis litológicos e construtivos dos poços tubulares da bateria da Fazenda Santa Mônica, disponibilizadas pelo empreendedor e/ou apresentadas no trabalho da MDGEO denominado “Informações sobre os perfis litológicos – construtivos dos poços tubulares de irrigação da Fazenda Santa Mônica” (MDGEO, 2017b), documento público protocolado no processo da pesquisa hidrogeológica - Portaria nº 0001589/2018, acessível fisicamente no repositório do IGAM.

Segundo MDGEO, 2017b, vários poços apresentavam perfis referenciados às nomenclaturas antigas/originais da época da perfuração (sobretudo os mais antigos) e, nesse caso, foram correlacionados às nomenclaturas atuais, através de sua coordenada ou localização em campo. Os poços antigos apresentavam coordenadas geográficas ou UTM em datum WGS 1984 ou SAD 69 e essas foram transformadas para coordenadas UTM no datum SIRGAS 2000, utilizado no estudo. Nesse trabalho também foram compilados perfis de poços antigos, que não foram possíveis associar aos novos poços.

No item 3.1.1 foi apresentada uma síntese das profundidades aproximadas dos contatos entre as litologias: coberturas, rocha decomposta e rocha dura (fim do furo), extraídas desses perfis, devidamente associados às nomenclaturas atuais dos poços. Os perfis litológicos/construtivos disponíveis são apresentados a seguir.



AGUACENTER Poços Artesianos Ltda

CNPJ 01.785.629/0001-57

Reg no CREEA N° 22 475

POÇO N° : CPA01 PROF. : 51,00 m IL/BOMB. : 24:00
 LOCAL : CPA 01 N.E. : 13,50 m RECUPER. : 7,50 m, em 3:00
 MUNIC. : São João da Ponte - MG N.D. : 21,00 m AQUÍFERO : Fissural
 PROPRIET. : Fortaleza Sta Teresinha Agrop. VAZÃO : 227,58m³/h ROCHAS : Calcário

FOTO N° /ESCALA : FOTO INDICE N° :
 MAPAS / ESCALA :
 LOCAÇÃO :
 PERFURAÇÃO : Aguacenter Poços Artesianos Ltda
 SONDADOR : Itacir Braz Cortina
 PERFURATRIZ : Prominas R - 2H
 INICIO DA PERF. : 06.06.2013 FINAL DA PERF. : 15.06.2013

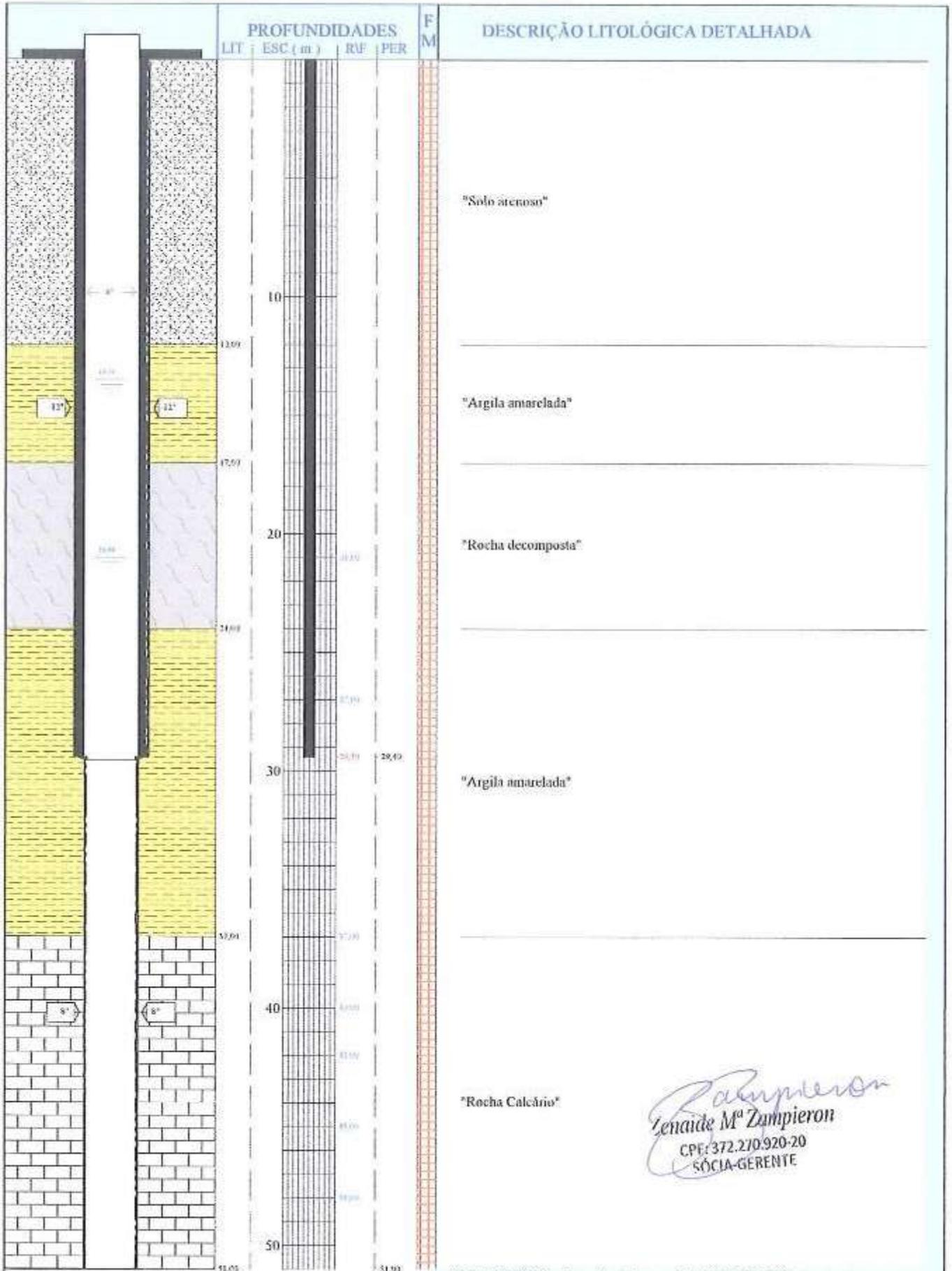
COORDENADAS.	PERFURAÇÃO(m)			
	GEOG.	O	De	Até
X = 15°58'48.9"	12"	0,00	29,40	
Y = 43°43'39.1"	8"	29,40	51,00	
Z =	-	-	-	
BP = 0,60 m	-	-	-	
FILTROS(m)		COMPLETAÇÃO(pol)		
O	Quant. (m)	O	De	Até
		8"	0,00	29,40
		-	-	-
		-	-	-
		-	-	-

OBS : * Data da Perfuração: 06 a 15.06.2013
 * Entradas de água: aos 21, 27, 37, 40, 42 a 45 e 48 metros.
 * Data do teste de bombeamento: 26.10.2016

Total=

EQUIPAMENTO INSTALADO

Zenilde Mª Zampieron
 Zenilde Mª Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE



CPA03


AGUACENTER *Poços Artesianos Ltda*

CNPJ 01.785.629/0001-57

Reg no CREEA N° 22 475

POÇO N°	: PIPA 2	PROF.	: 51,00 m	H./BOMB.	: 12:00
LOCAL	: Poço do Pipa 2 - Fz. Angico	N.E.	: 9,90 m	RECUPER.	: 2,50 m, em 0:01
MUNIC.	: São João da Ponte	N.D.	: 12,40 m	AQUÍFERO	: Fissural
PROPRIET.	: FORT. STA EMP. PART	VAZÃO	: 107,31 m³/d	ROCHAS	: Calcário

FOTO N°/ESCALA	:	FOTO ÍNDICE N°	:
MAPAS/ESCALA	:		
LOCAÇÃO	:		
PERFURAÇÃO	:	Aguacenter Poços Artesianos Ltda	
SONDADOR	:	Adeir Luiz Zamboni	
PERFURATRIZ	:	Prominas R - III	
INÍCIO DA PERF.	:	09.05.2013	FINAL DA PERF. : 11.05.2013

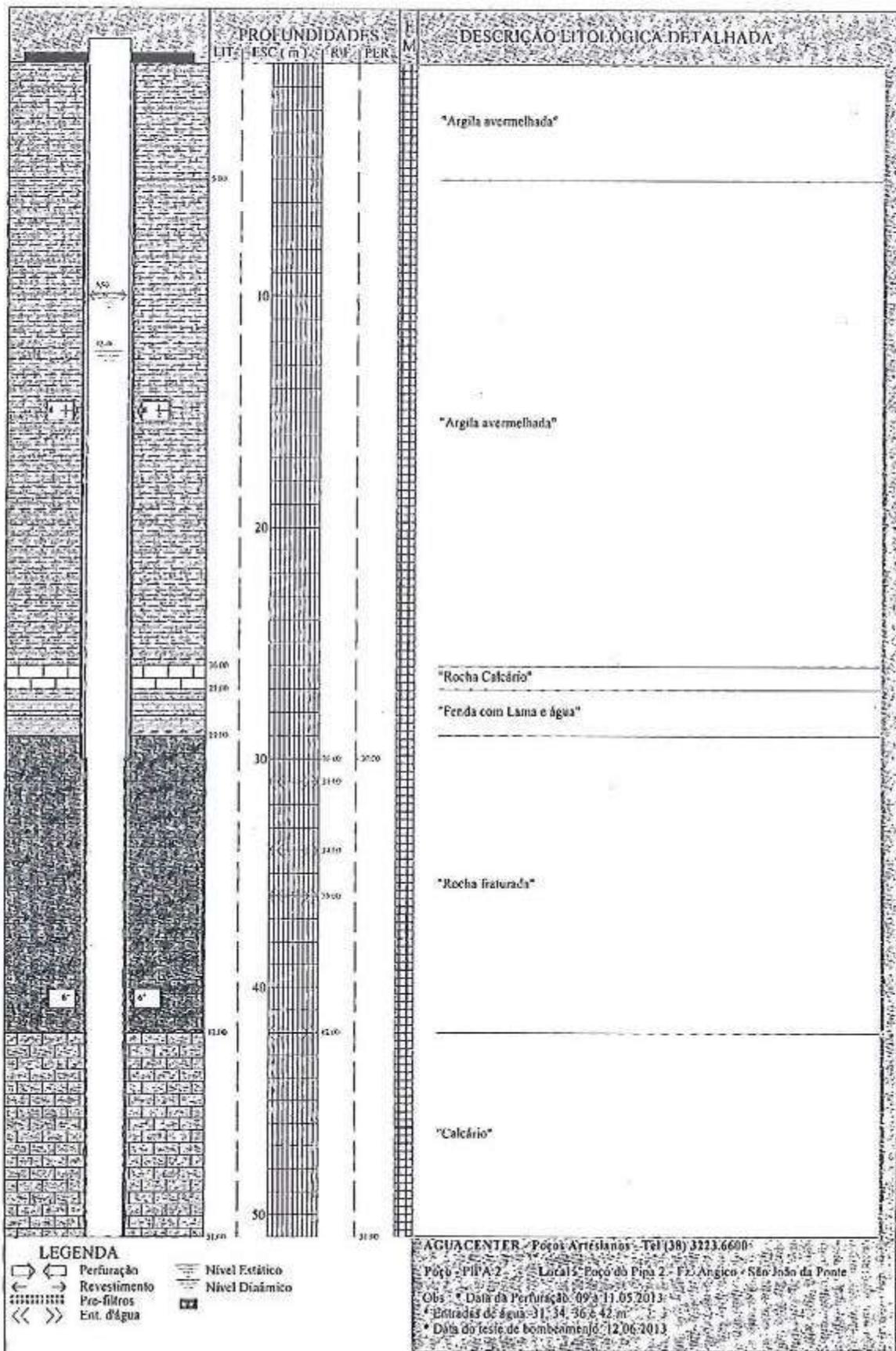
COORDENADAS GEOG.	PERFURAÇÃO(m)		
	D	De	Até
X =15°58'50.8"	8" 1/2	0,00	30,00
Y =43°43'39.8"	6"	30,00	51,00
Z =511,00 m	-	-	-
BP =0,70 m	-	-	-
FILTROS(m)		COMPLETAÇÃO(pol)	
Ø	Quant. (m)	Ø	De Até
		6"	0,00 30,00
		-	- -
		-	- -
		-	- -

OBS: * Data da Perfuração: 09 a 11.05.2013
 * Entradas de água: 31, 34, 36 e 42 m
 * Data do teste de bombeamento: 12.06.2013

Total=

EQUIPAMENTO INSTALADO

CPA03





AGUACENTER *Poços Artesianos Ltda*

CNPJ 01.785.629/0001-57

Reg no CREEA N° 22 475

POÇON°	: CPA04	PROF.	: 63.00 m	IL/BOMB.	: 24:00
LOCAL	: CPA 04	N.E.	: 12.52 m	RECUPER.	: 10.40 m, em 0:08
MUNIC.	: São João da Ponte - MG	N.D.	: 22.92 m	AQUÍFERO	: Fissural
PROPRIET.	: Fortaleza Sta Teresinha Agrop.	VAZÃO	: 209.52m³/h	ROCHAS	: Calcário

FOTO N°/ESCALA	:	FOTO INDICE N°	:
MAPAS/ESCALA	:		
LOCAÇÃO	:		
PERFURAÇÃO	:	Aguacenter Poços Artesianos Ltda	
SONDADOR	:	Itacir Braz Cortina	
PERFURATRIZ	:	Prominas R - 2H	
INICIO DA PERE.	:	05.06.2013	FINAT. DA PERE. : 06.06.2013

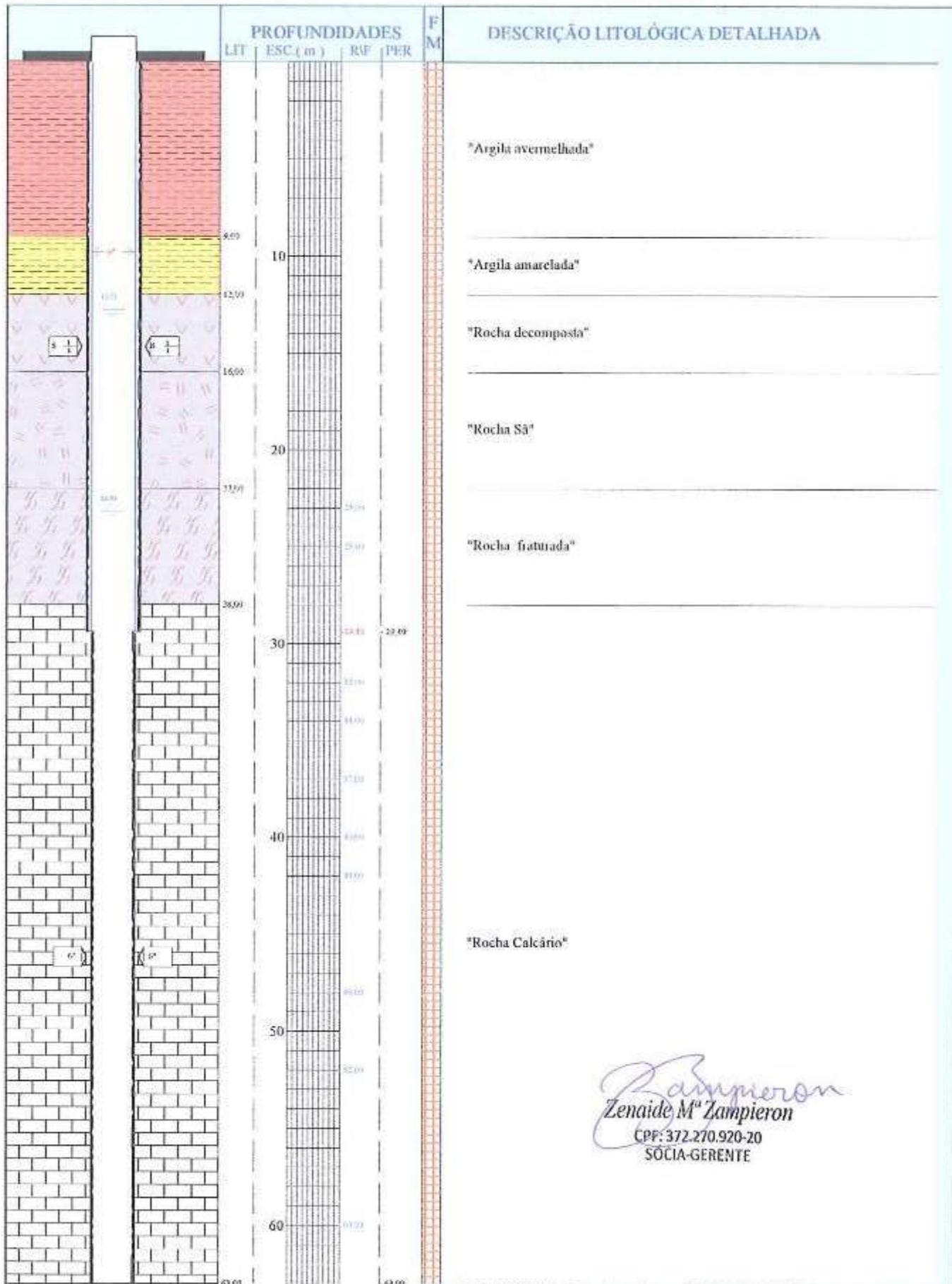
COORDENADAS GEOG.	PERFURAÇÃO(m)			
	Ø	De	Até	
X = 15°58'52.2"	8" 1/2	0.00	29,40	
Y = 43°43'40.3"	6"	29,40	63,00	
Z =	-	-	-	
BP = 0.60 m	-	-	-	
FILTROS(m)		COMPLETAÇÃO(pol)		
Ø	Quant. (m)	Ø	De	Até
		6"	0.00	29,40
		-	-	-
		-	-	-
		-	-	-

OBS : * Data da Perfuração: 05 a 06.06.2013
 * Entradas de água: aos 23, 25, 32, 34, 37, 40, 42, 48 e 52 metros
 * Data do teste de bombeamento: 25.10.2016

Total=

EQUIPAMENTO INSTALADO

Zampieron
 Zenaide M^ª Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE



LEGENDA
 [Symbol] Perfuração
 [Symbol] Revestimento
 [Symbol] Pre-filtros
 [Symbol] Nível Estático
 [Symbol] Nível Dinâmico

Zampieron
Zenaide M. Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE

AGUACENTER - Poços Artesianos - Tel (38) 3223.6600
 Poço - CPA04 Local - CPA 04 - São João da Ponte - MG
 Obs : * Data da Perfuração: 05 a 06.06.2013



AGUACENTER *Poços Artesianos Ltda*

CNPJ 01.785.629/0001-57

Reg no CREEA N° 22 475

POÇON° : CPA05 PROF. : 51.00 m HL/BOMB. : 24:00
 LOCAL : CPA 05 N.E. : 13.68 m RECUPER. : 7.32 m, em 0:25
 MUNIC. : São João da Ponte - MG N.D. : 21.00 m AQUÍFERO : Fissural
 PROPRIET. : Fortaleza Sta Teresinha Agrop. VAZÃO : 96.23m³/h ROCHAS : Calcário

FOTO N° /ESCALA : FOTO INDICE N° :
 MAPAS / ESCALA :
 LOCAÇÃO :
 PERFURAÇÃO : Aguacenter Poços Artesianos Ltda
 SONDADOR : Itucir Braz Cortina
 PERFURATRIZ : Prominas R - 2H
 INICIO DA PERF. : 04.06.2013 FINAL DA PERF. : 05.06.2013

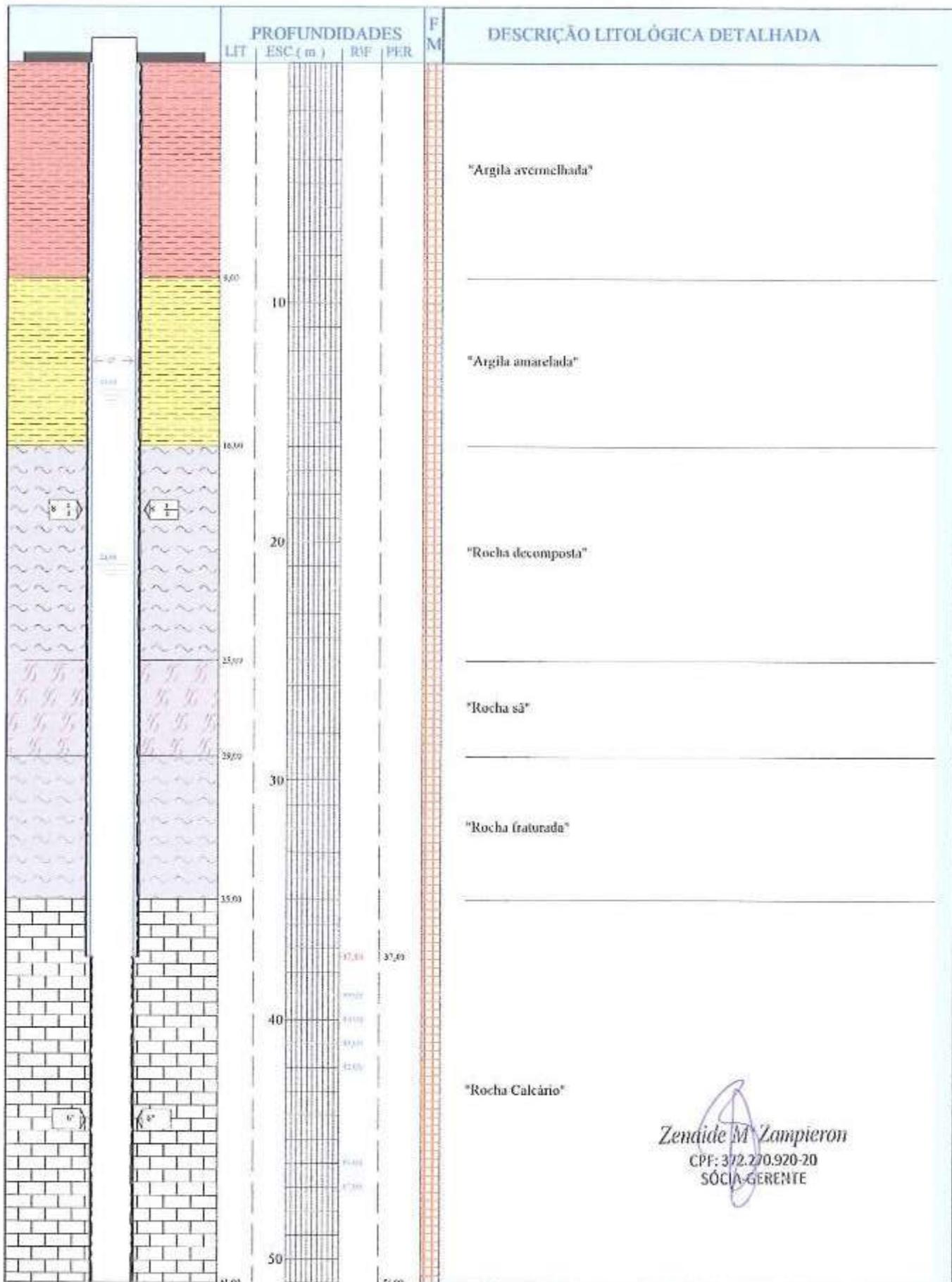
COORDENADAS. GEOG.	PERFURAÇÃO(m)		
	Ø	De	Até
X =15°58'51.9"	8" 1/2	0.00	37,40
Y =43°43'38.2"	6"	37,40	51,00
Z =	-	-	-
HP=0.60 m	-	-	-
FILTROS(m)		COMPLETAÇÃO(pol)	
Ø	Quant. (m)	Ø	De
		6"	0.00
		-	-
		-	-
		-	-

OBS : * Data da Perfuração: 04 a 05.06.2013
 * Entrada de água: 39, 40, 41, 42, 46 e 47 metros
 * Data do teste de bombeamento: 25.10.2016

Total=

EQUIPAMENTO INSTALADO

Zenaide M. Zampieron
 CPF: 872.270.920-20
 SÓCIA GERENTE



LEGENDA
 [Symbol] Perturação [Symbol] Nível Estático
 [Symbol] Revestimento [Symbol] Nível Dinâmico
 [Symbol] Pre-filtros

Zendide M. Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE

AGUACENTER - Poços Artesianos - Tel (38) 3223.6600
 Poço - CPA05 Local - CPA 05 - São João da Ponte - MG
 Obs: * Data da Perfuração: 04 a 05.06.2013



AGUACENTER *Poços Artesianos Ltda*

CNPJ 01.785.629/0001-57

Reg no CREEA N° 22 475

POÇO N° : CPA07 PROF. : 69,00 m H./BOMB. : 24:00
 LOCAL : CPA 07 N.E. : 16,85 m RECUPER. : 9,40 m, em 0:05
 MUNIC. : São João da Ponte - MG N.D. : 26,25 m AQUÍFERO : Fissural
 PROPRIET. : Fortaleza Sta Teresinha Agrop. VAZÃO : 98,50m³/h ROCHAS : Calcário

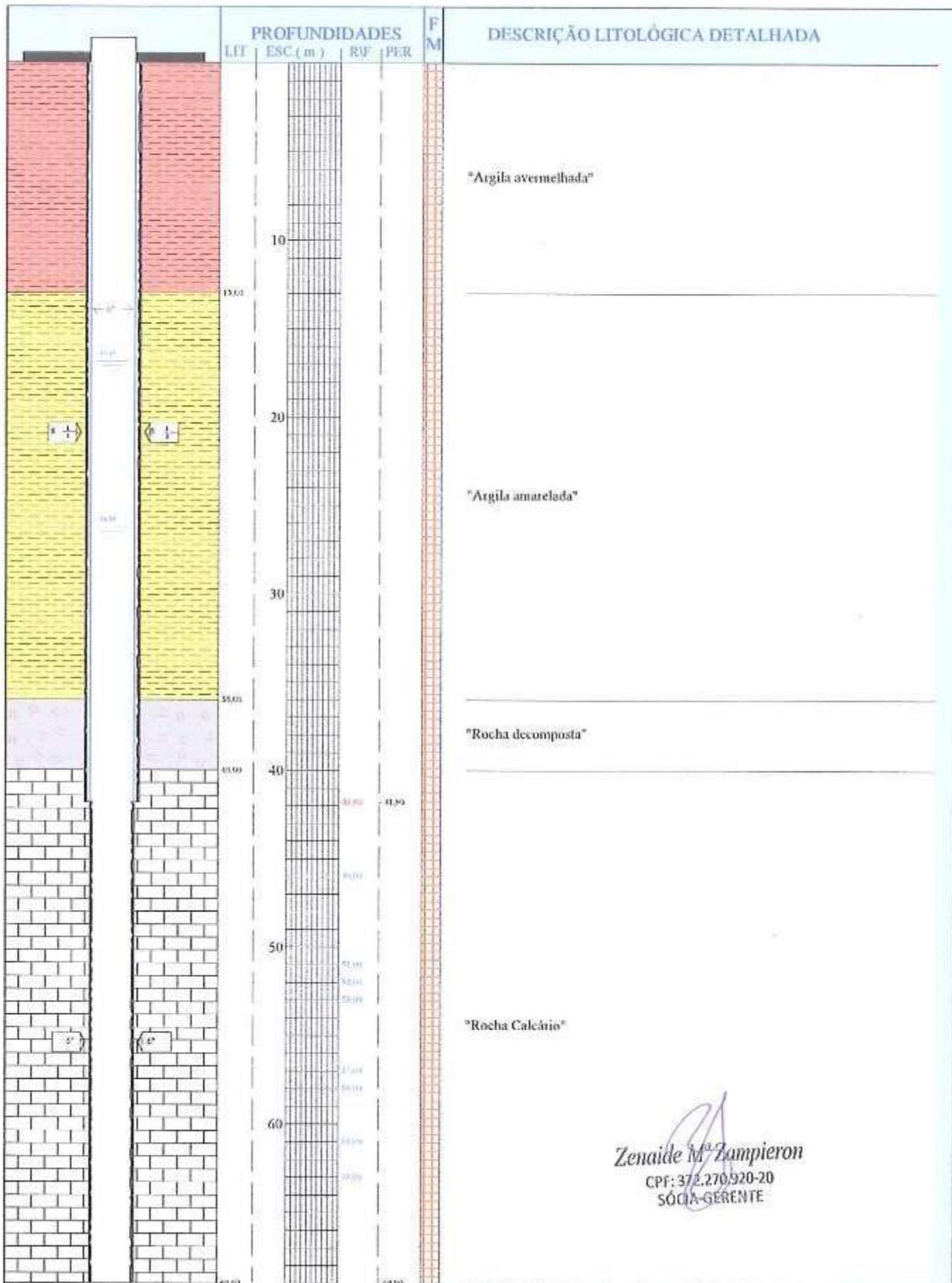
FOTO N° /ESCALA : FOTO INDICE N° :
 MAPAS / ESCALA :
 LOCAÇÃO :
 PERFURAÇÃO : Aguacenter Poços Artesianos Ltda
 SONDADOR : Itacir Braz Cortina
 PERFURATRIZ : Prominas R - 2H
 INÍCIO DA PERF. : 08.03.2014 FINAL DA PERF. : 11.03.2014

GEOG.	PERFURAÇÃO(m)			
	Ø	De	Até	
X = 15°58'54.1"	8" 1/2	0,00	41,80	
Y = 43°43'37.7"	6"	41,80	69,00	
Z =	-	-	-	
BP = 0,70 m	-	-	-	
FILTROS(m)		COMPLETAÇÃO(pol)		
Ø	Quant. (m)	Ø	De	Até
		6"	0,00	41,80
		-	-	-
		-	-	-
		-	-	-

OBS : * Data da Perfuração: 08 a 11.03.2014
 * Entradas de água: aos 46, 51, 52, 53, 57, 58, 61 e 63 metros
 * Data do teste de bombeamento: 26.11.2016

Total=
 EQUIPAMENTO INSTALADO

Zenilde M. Zampieron
 CPF/372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE



LEGENDA
 [Symbol] [Symbol] Perfuração
 [Symbol] [Symbol] Revestimento
 [Symbol] [Symbol] Pre-filtros
 [Symbol] [Symbol] Nivel Estático
 [Symbol] [Symbol] Nivel Dinâmico

Zenaide M. Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE

AGUACENTER - Poços Artesianos - Tel (38) 3223.6600
 Poço - CPA07 Local - CPA 07 - São João da Ponte - MG
 Obs: * Data da Perfuração: 08 a 11.03.2014



AGUACENTER Poços Artesianos Ltda

CNPJ 01.785.629/0001-57

Reg no CREEA N° 22 475

POÇO N°	: ITA01	PROF.	: 100,00 m	H./BOMB.	: 24:00
LOCAL	: ITA 01	N.E.	: 4,60 m	RECUPER.	: 12,26 m, em 1:00
MUNIC.	: São João da Ponte -MG	N.D.	: 18,26 m	AQUÍFERO	: Fissural
PROPRIET.	: Fortaleza de Santa Terezinha	VAZÃO	: 230,23m³/h	ROCHAS	: Calcário

FOTO N°/ESCALA	:	FOTO INDICE N°	:
MAPAS/ESCALA	:		
LOCAÇÃO	:		
PERFURAÇÃO	:	Aguacenter Poços Artesianos	
SONDADOR	:	Itacir Braz Cortina	
PERFURATRIZ	:	Prominas R-1H	
INICIO DA PERE.	:	05.08.2013	FINAL DA PERE. : 08.08.2013

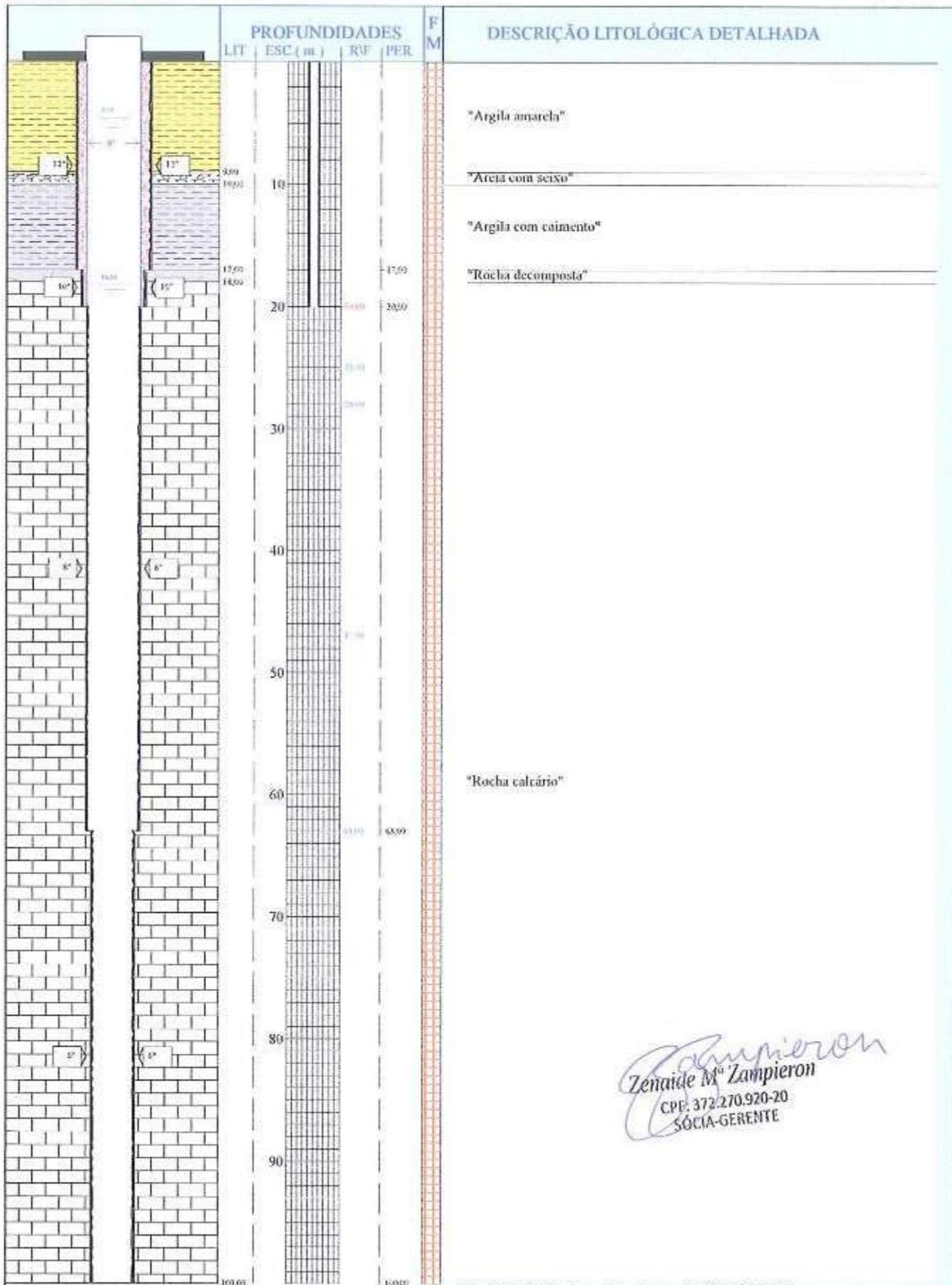
OBS : *Data da perfuração: 05 à 08.08.2013
 *Entradas de água: aos 25, 28, 47 e 63m
 *Data do teste de bombeamento: 09 a 10.05.2014

COORDENADAS. GEOG.	PERFURAÇÃO(m)			
	Ø	De	Até	
X =16°00'19.1"	12"	0,00	17,00	
Y =43°45'35.3"	10"	17,00	20,00	
Z =516,00 m	8"	20,00	63,00	
BP=0,60 m	6"	63,00	100,00	
FILTROS(m)		COMPLETAÇÃO(pol)		
Ø	Quant. (m)	Ø	De	Até
		8"	0,00	20,00
		-	-	-
		-	-	-
		-	-	-

Total=

EQUIPAMENTO INSTALADO

Zenaide M. Zampieron
 Zenaide M. Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE



LEGENDA
 [] [] Perfuração
 [] [] Revestimento
 [] [] Cimentação
 [] [] Nível Estático
 [] [] Nível Dinâmico

Zenaide M. Zampieron
 CPE: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE

AGUACENTER - Poços Artesianos - Tel (38) 3223.6600
 Poço - ITA01 Local - ITA 01 - São João da Ponte -MG
 Obs : *Data da perfuração: 05 à 08.08.2013



AGUACENTER Poços Artesianos Ltda

CNPJ 01.785.629/0001-57

Reg no CREEA N° 22 475

POÇON° : ITA02 PROF. : 100.00 m H./BOMB. : 24:00
 LOCAL : ITA 02 N.E. : 20.00 m RECUPER. : 4.00 m, em 0:04
 MUNIC. : São João da Ponte - MG N.D. : 24.00 m AQUÍFERO : Fissural
 PROPRIET. : Fortaleza Sta Teresinha Agrop. VAZÃO : 190.84m³/h ROCHAS : Calcário

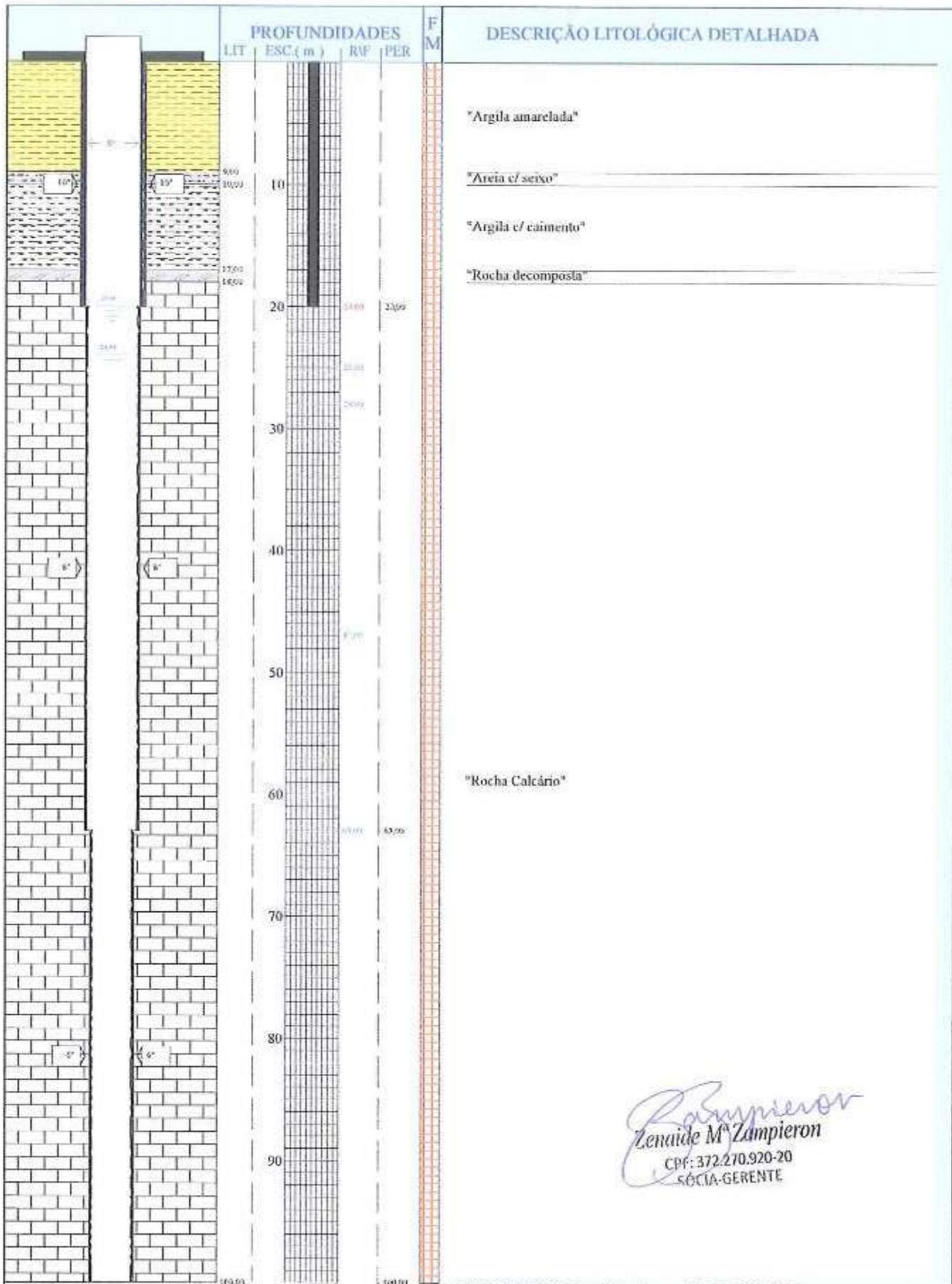
FOTO N° /ESCALA : FOTO INDICE N° :
 MAPAS / ESCALA :
 LOCAÇÃO :
 PERFURAÇÃO : Aguacenter Poços Artesianos Ltda
 SONDADOR : Itacir Braz Cortina
 PERFURATRIZ : Prominas R - 2H
 INICIO DA PERF. : 05.08.2013 FINAL DA PERF. : 08.08.2013

COORDENADAS.		PERFURAÇÃO(m)		
GEOG.		Ø	De	Até
X	=16°00'19.6"	10"	0,00	20,00
Y	=43°45'34.9"	8"	20,00	63,00
Z	=	6"	63,00	100,00
BP=0.60 m		-	-	-
FILTROS(m)		COMPLETAÇÃO(pol)		
Ø	Quant. (m)	Ø	De	Até
		8"	0,00	20,00
		-	-	-
		-	-	-
		-	-	-

OBS : * Data da Perfuração: 05 a 08.08.2013
 * Entradas de água: aos 25, 28, 47 e 63 metros.
 * Data do teste de bombeamento: 06.11.2016

Total=
 EQUIPAMENTO INSTALADO

Zenaide M. Zampieron
 Zenaide M. Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA GERENTE



Zenaide M. Zampieron
 Zenaide M. Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE

LEGENDA
 [Symbol] Perturação
 [Symbol] Revestimento
 [Symbol] Cimentação
 [Symbol] Nível Estático
 [Symbol] Nível Dinâmico

AGUACENTER - Poços Artesianos - Tel (38) 3223.6600
 Poço - ITA02 Local - ITA 02 - São João da Ponte - MG
 Obs: * Data da Perfuração: 05 a 08.08.2013



AGUACENTER *Poços Artesianos Ltda*

CNPJ 01.785.629/0001-57

Reg no CREEA N° 22 475

POÇO N°	: ITA03	PROF.	: 65,00 m	H./BOMB.	: 24:0
LOCAL	: ITA 03	N.E.	: 17,60 m	RECUPER.	: 1,00 m, em 0:04
MUNIC.	: São João da Ponte - MG	N.D.	: 18,60 m	AQUÍFERO	: Fissural
PROPRIET.	: Fortaleza Sta Teresinha Agrop.	VAZÃO	: 293,33m³/h	ROCHAS	: Calcário

FOTO N° / ESCALA	:	FOTO INDICE N°	:
MAPAS / ESCALA	:		
LOCAÇÃO	:		
PERFURAÇÃO	:	Aguacenter Poços Artesianos Ltda	
SONDADOR	:	Itacir Braz Cortina	
PERFURATRIZ	:	Prominas R - 2H	
INICIO DA PERE.	:	21.05.2014	FINAL DA PERE. : 22.05.2014

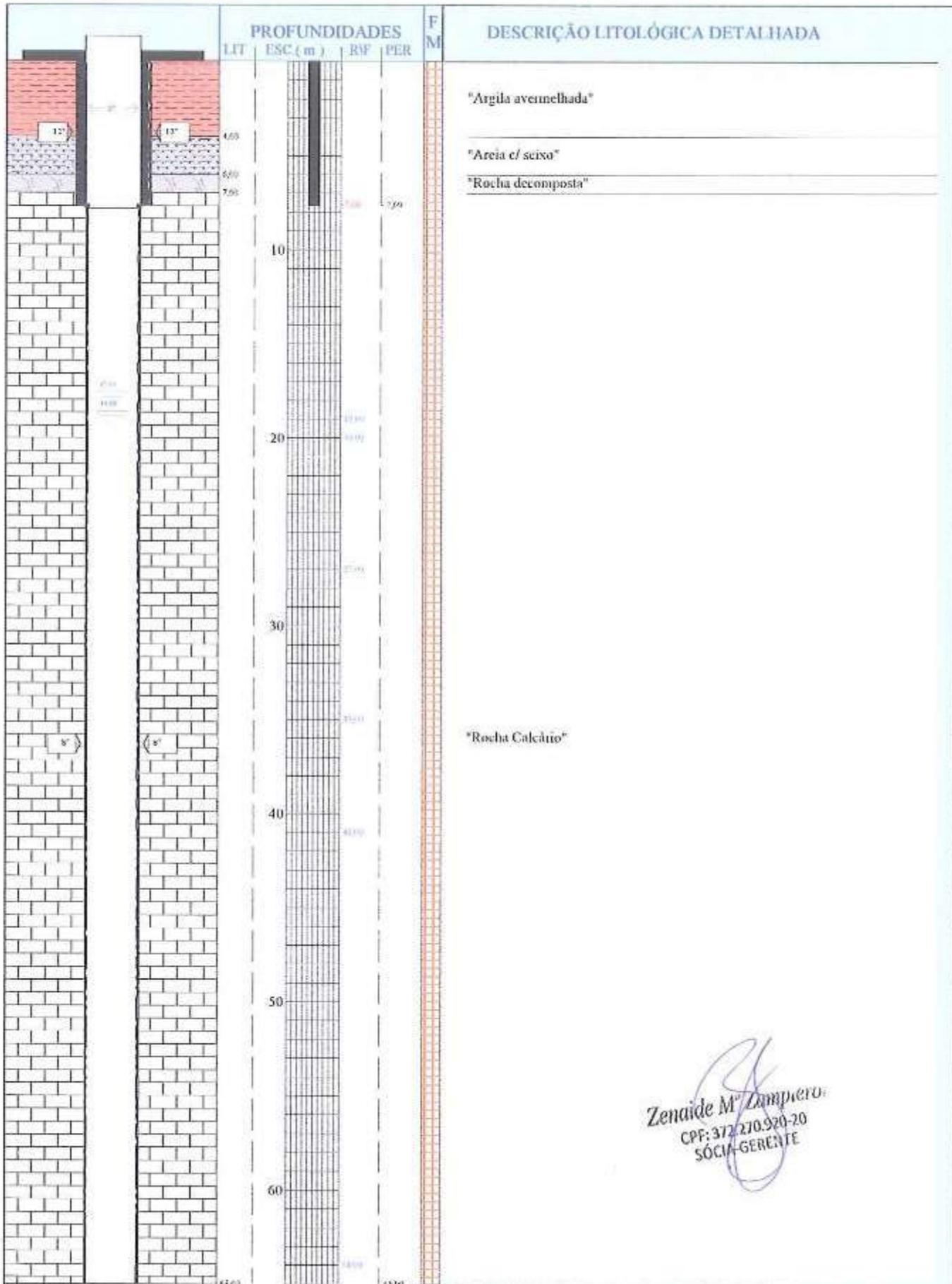
GEOG.	PERFURAÇÃO(m)		
	Ø	De	Até
X = 16°00'24,8"	12"	0,00	7,60
Y = 43°45'38,7"	8"	7,60	65,00
Z =	-	-	-
BP = 0,60 m	-	-	-
FILTROS(m)		COMPLETAÇÃO(pol)	
Ø	Quant. (m)	Ø	De
		8"	0,00
		-	-
		-	-
		-	-

OBS : * Data da Perfuração: 21 a 22.05.2014
 * Entradas de água: aos 19 a 20, 27, 35, 41 e 64 metros.
 * Data do teste de bombeamento: 29.10.2016

Total=

EQUIPAMENTO INSTALADO

Zenaide M. Zampiero.
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE



LEGENDA
 [] [] Perfuração [] [] Nivel Estático
 [] [] Revestimento [] [] Nivel Dinâmico
 [] [] Cimentação

Zenaide M. Lampiero
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE

AGUACENTER - Poços Artesianos - Tel (38) 3223.6600
 Poço - ITA03 Local - ITA 03 - São João da Ponte - MG
 Obs : * Data da Perfuração. 21 a 22.05.2014


AGUACENTER *Poços Artesianos Ltda*

CNPJ 01.785.629/0001-57

Reg no CREEA N° 22 475

POÇO N°	: ITA04	PROF.	: 75.00 m	IL./BOMB.	: 24:00
LOCAL	: ITA 04 - Faz. Itafala	N.E.	: 15.62 m	RECUPER.	: 17.88 m, em 0:30
MUNIC.	: São João da Ponte - MG	N.D.	: 33.50 m	AQUÍFERO	: Fissural
PROPRIET.	: Fortaleza Sta Teresinha Agrup.	VAZÃO	: 16.63m³/h	ROCHAS	: Calcário

FOTO N° /ESCALA	:	FOTO INDICE N°	:
MAPAS /ESCALA	:		
LOCAÇÃO	:		
PERFURAÇÃO	:	Aguacenter Poços Artesianos Ltda	
SONDADOR	:	Itacir Braz Cortina	
PERFURATRIZ	:	Prominas R - 2H	
INÍCIO DA PERE.	:	24.02.2015	FINAL DA PERE. : 24.02.2015

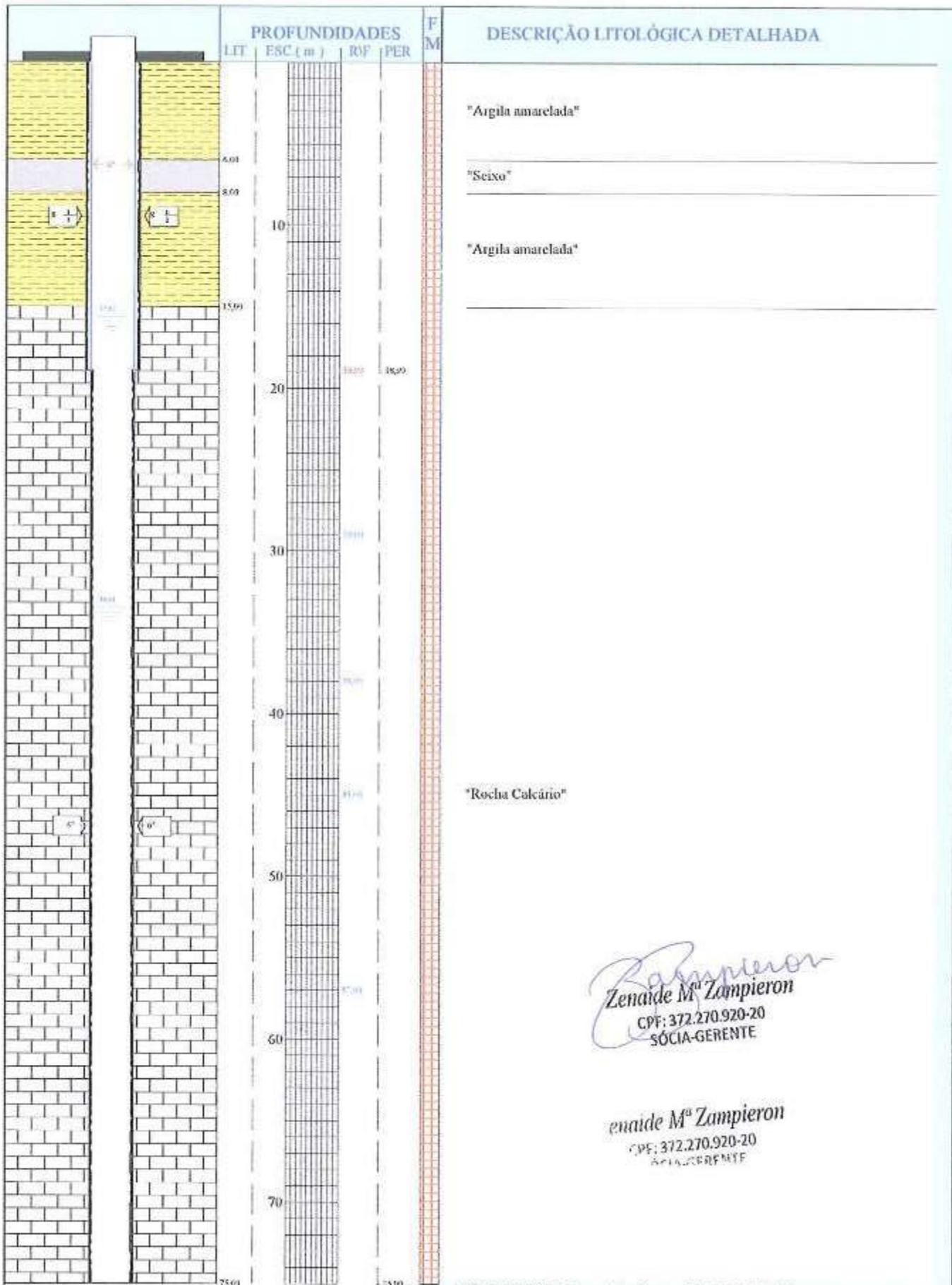
GEOG.	PERFURAÇÃO(m)			
	O	De	Até	
X =16°00'16.2"	8" 1/2	0.00	18,90	
Y =43°45'41.2"	6"	18,90	75,00	
Z =527.00 m	-	-	-	
BP=0.60 m	-	-	-	
FILTROS(m)		COMPLETAÇÃO(pol)		
O	Quant. (m)	O	De	Até
		6"	0.00	18,90
		-	-	-
		-	-	-
		-	-	-

OBS : * Data da Perfuração: 24.02.2015
 * Entradas de água: aos 29, 38, 45 e 57 metros
 * Data do teste de bombeamento: 06.11.2016

Total=

EQUIPAMENTO INSTALADO

Zampieron
 Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE



LEGENDA
 [Symbol] Perforação
 [Symbol] Revestimento
 [Symbol] Pre-filtros
 [Symbol] Nível Estático
 [Symbol] Nível Dinâmico

Zampieron
Zenaide M^ª Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE

Zenaide M^ª Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE

AGUACENTER - Poços Artesianos - Tel (38) 3223.6600
 Poço - ITA04 Local - ITA 04 - Faz. Italiaia - São João da Ponte - MG
 Obs : * Data da Perforação - 24.02.2015



AGUACENTER Poços Artesianos Ltda

CNPJ 01.785.629/0001-57

Reg no CREEA N° 22 475

POÇO N°	: ITA05	PROF.	: 90,00 m	H./BOMB.	: 24:00
LOCAL	: ITA 05	N.E.	: 10,70 m	RECUPER.	: 12,32 m, em 0:01
MUNIC.	: São João da Ponte - MG	N.D.	: 12,32 m	AQUÍFERO	: Fissural
PROPRIET.	: Fortaleza Sta Teresinha Agrop.	VAZÃO	: 268,47m³/h	ROCHAS	: Calcário

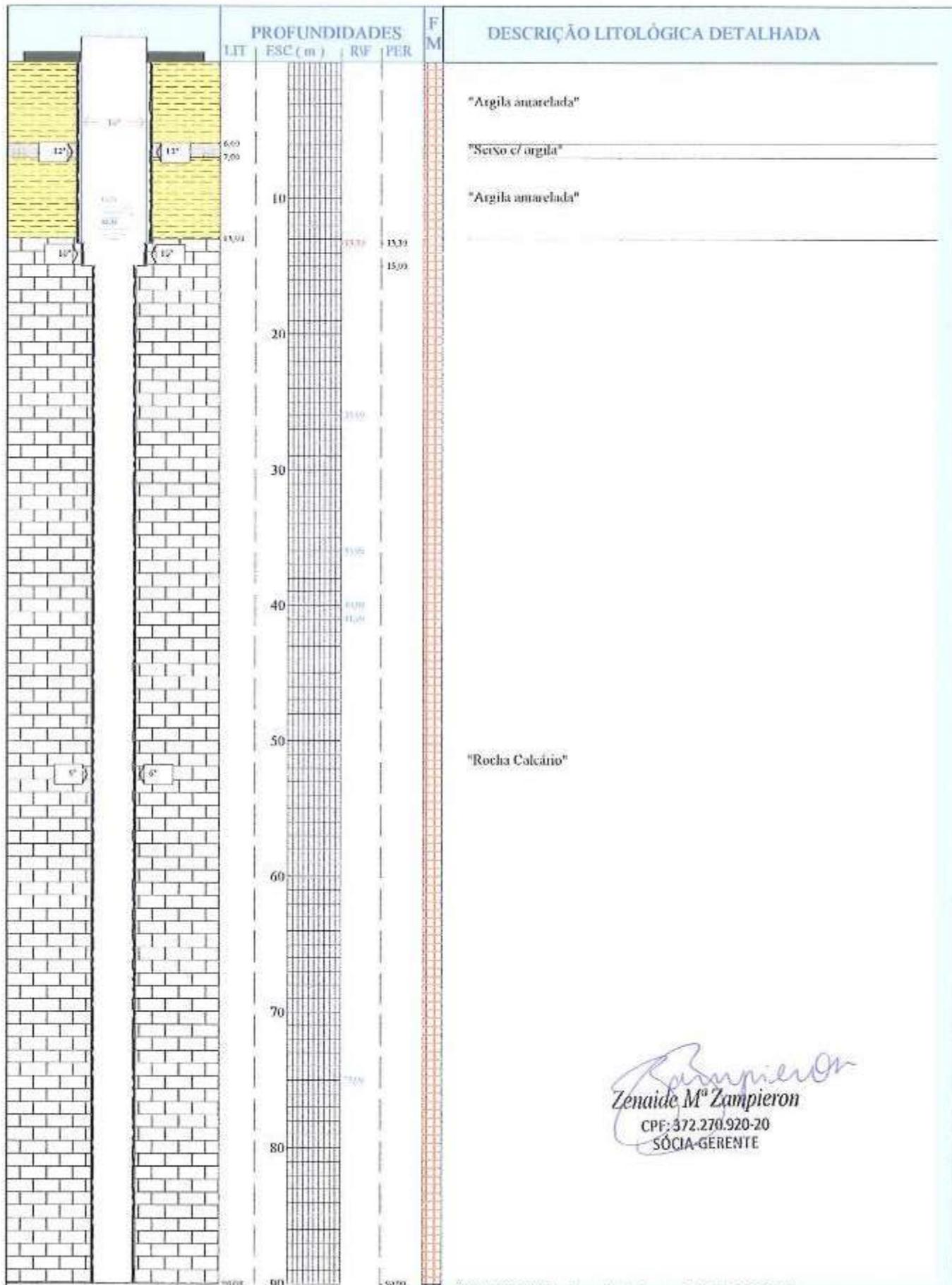
FOTO N° /ESCALA	:	FOTO INDICE N°	:
MAPAS / ESCALA	:		
LOCAÇÃO	:		
PERFURAÇÃO	:	Aguacenter Poços Artesianos Ltda	
SONDADOR	:	Itucir Braz Cortina	
PERFURATRIZ	:	Prominas R - 2H	
INICIO DA PERF.	:	25.02.2016	FINAL DA PERF. : 25.02.2016

COORDENADAS GEOG.	PERFURAÇÃO(m)			
	Ø	De	Até	
X =16°00'27.8"	12"	0,00	13,30	
Y =43°45'44.0"	10"	13,30	15,00	
Z =526,00 m	6"	15,00	90,00	
BP =0,70 m	-	-	-	
FILTROS(m)		COMPLETAÇÃO(pol)		
Ø	Quant. (m)	Ø	De	Até
		10"	0,00	13,30
		-	-	-
		-	-	-
		-	-	-

OBS : * Data da Perfuração: 25.02.2016
 * Entradas de água: aos 26, 36, 40,41 e 75 metros
 * Data do teste de bombeamento: 05 a 06.03.2016

Total=
EQUIPAMENTO INSTALADO

Zenaide M^a Zampleron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE



LEGENDA
 [Symbol] Perfuração
 [Symbol] Revestimento
 [Symbol] Pre-filtros
 [Symbol] Nivel Estático
 [Symbol] Nivel Dinâmico

Zenaide M^a Zampieron
 Zenaide M^a Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE

AGUACENTER - Poços Artesianos - Tel (38) 3223.6600
 Poço - ITA05 Local - ITA 05 - São João da Ponte - MG
 Obs : * Data da Perfuração, 25.02.2016



AGUACENTER Poços Artesianos Ltda

CNPJ 01.785.629/0001-57

Reg no CREEA N° 22 475

POÇO N° : ITA 06 PROF. : 63,00 m H./BOMB. : 24:00
 LOCAL : ITA 06 N.E. : 18,50 m RECUPER. : 18,50 m, em 0:01
 MUNIC. : São João da Ponte - MG N.D. : 18,50 m AQUÍFERO : Fissural
 PROPRIET. : Fortaleza Sta Teresinha Agrop. VAZÃO : 224,26m³/h ROCHAS : Calcário

FOTO N°/ESCALA : FOTO INDICE N° :
 MAPAS / ESCALA :
 LOCAÇÃO :
 PERFURAÇÃO : Aguacenter Poços Artesianos Ltda
 SONDADOR : Itacir Braz Cortina
 PERFURATRIZ : Prominas R - 2H
 INÍCIO DA PERF. : 26.02.2016 FINAL DA PERF. : 27.02.2016

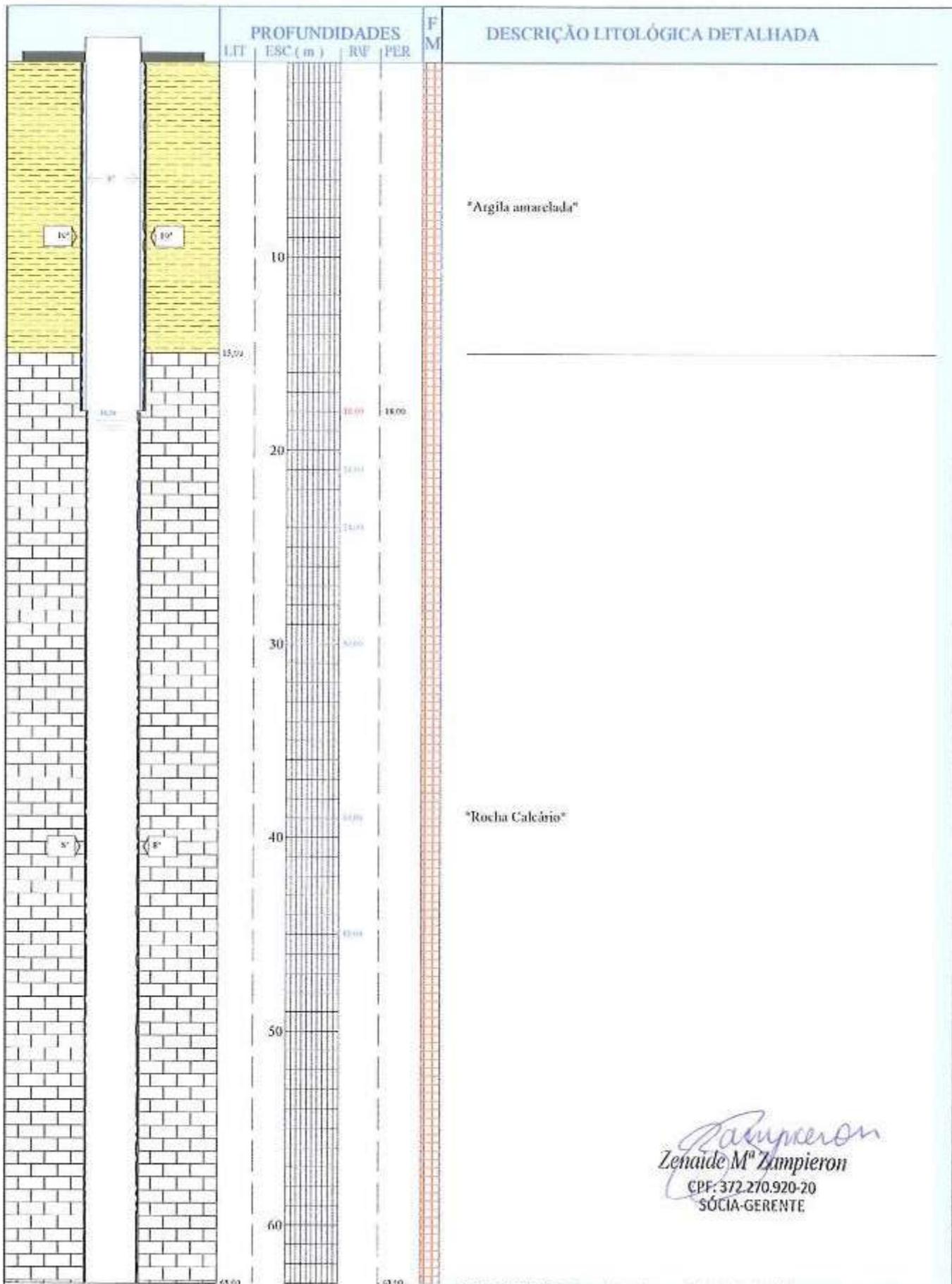
OBS : *Data da Perfuração: 26 a 27.02.2015
 * Entradas de água: aos 21, 24, 30, 39 e 45 metros.
 * Data do teste de bombeamento: 28.10.2016

GEOG.	PERFURAÇÃO(m)		
	Ø	De	Até
X = 16°00'33.9"	10"	0,00	18,00
Y = 43°45'39.9"	8"	18,00	63,00
Z "	-	-	-
BP = 0.70 m	-	-	-
FILTROS(m)		COMPLETAÇÃO(pol)	
Ø	Quant. (m)	Ø	De
		8"	0,00
		-	-
		-	-
		-	-

Total=

EQUIPAMENTO INSTALADO

Zampieron
 Lenyde Mª Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE



LEGENDA
 [Symbol] Perfuração
 [Symbol] Revestimento
 [Symbol] Pre-filtros
 [Symbol] Nível Estático
 [Symbol] Nível Dinâmico

Zampieron
Zenilde M^ª Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE

AGUACENTER - Poços Artesianos - Tel (38) 3223.6600
 Poço - ITA 06 Local - ITA 06 - São João da Ponte - MG
 Obs: *Data da Perfuração: 26 a 27.02.2015



AGUACENTER *Poços Artesianos Ltda*

CNPJ 01.785.629/0001-57

Reg no CREEA N° 22 475

POÇO N°	: ITA07	PROF.	: 190,00 m	IL/BOMB.	: 24:00
LOCAL	: Itatiaia - ITA 07	N.E.	: 27,00 m	RECUPER.	: 26,00 m, em 02:40
MUNIC.	: São João da Ponte - MG	N.D.	: 104,00 m	AQUÍFERO	: Fissural
PROPRIET.	: Fortaleza Sta Terezinha	VAZÃO	: 57,18m³/h	ROCHAS	: Calcário

FOTO N° /ESCALA	:	FOTO INDICE N°	:
MAPAS / ESCALA	:		
LOCAÇÃO	:		
PERFURAÇÃO	:	Aguacenter Poços Artesianos Ltda	
SONDADOR	:	Hucir Braz Cortina	
PERFURATRIZ	:	Prominas R - 2H	
INICIO DA PERF.	:	18.01.2016	FINAL DA PERF. : 20.01.2016

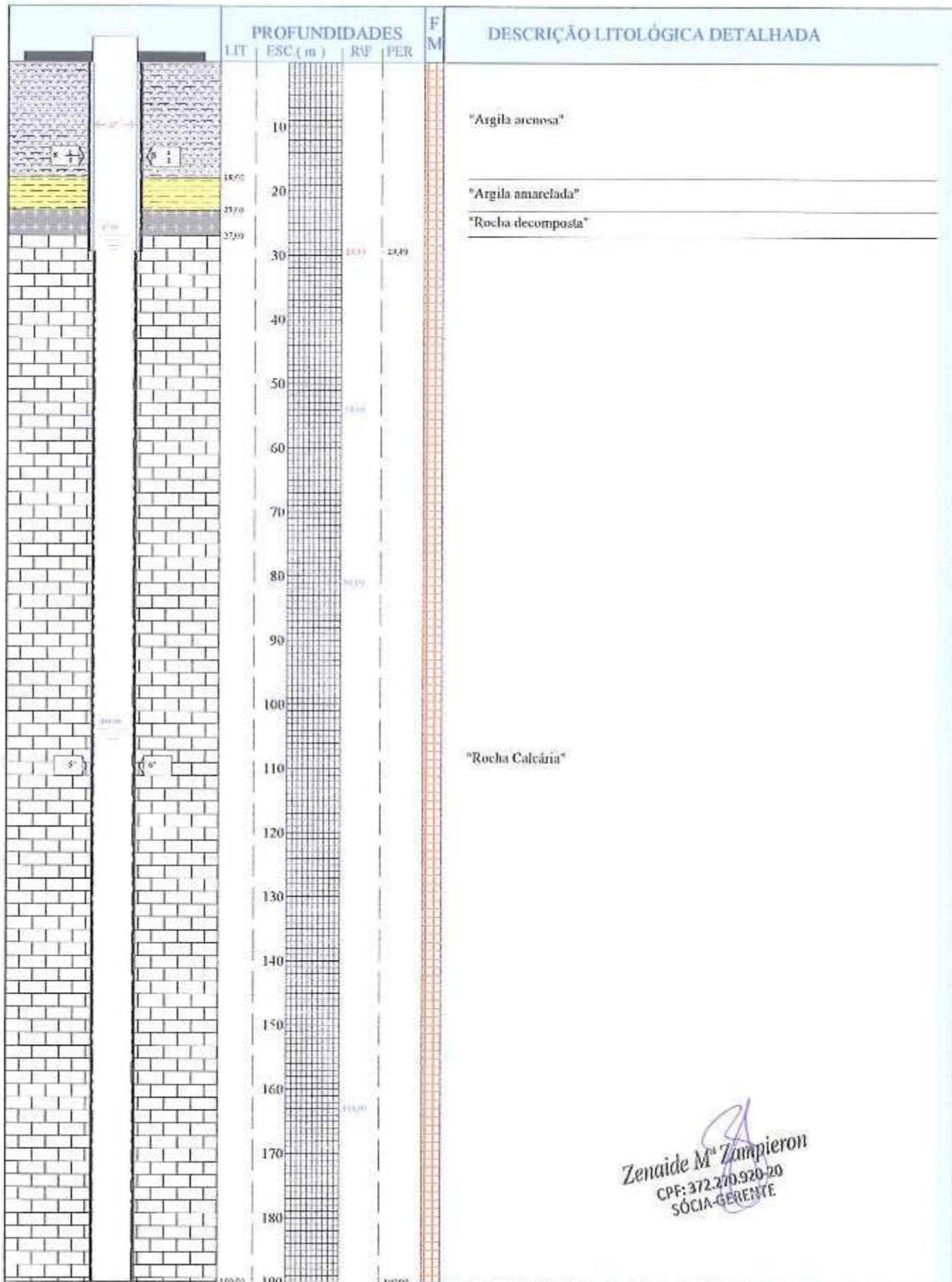
COORDENADAS GEOG.	PERFURAÇÃO(m)			
	Ø	De	Até	
X =15°59'37,2"	8" 1/2	0,00	29,40	
Y =43°45'41,2"	6"	29,40	190,00	
Z =522,00 m	-	-	-	
BP =0,60 m	-	-	-	
FILTROS(m)		COMPLETAÇÃO(pol)		
Ø	Quant. (m)	Ø	De	Até
		6"	0,00	29,40
		-	-	-
		-	-	-
		-	-	-

OBS : * Data da Perfuração: 18 à 20.01.2016
 * Entradas de água: aos 54, 81, e 163 metros.
 * Data do teste de bombeamento: 02 à 03.02.2016

Total=

EQUIPAMENTO INSTALADO

Zenaide M^{te} Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE



Zenaide M. Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE

LEGENDA
 [Symbol] Perfuração [Symbol] Nivel Estático
 [Symbol] Revestimento [Symbol] Nivel Dinâmico
 [Symbol] Pre-filtros

AGUACENTER - Poços Artesianos - Tel (38) 3223.6600
 Poço - ITA07 Local - Itatiaia - ITA 07 - São João da Ponte - MG
 Obs : * Data da Perfuração: 18 à 20.01.2016



AGUACENTER Poços Artesianos Ltda

CNPJ 01.785.629/0001-57

Reg no CREEA N° 22 475

POÇO N° : JD01 PROF. : 150,00 m IL/BOMB. : 24:00
 LOCAL : JD 01 N.E. : 18,48 m RECUPER. : 20,91 m, em 0:09
 MUNIC. : São João da Ponte - MG N.D. : 39,35 m AQUÍFERO : Fissural
 PROPRIET. : Fortaleza Sta Teresinha Agroj. VAZÃO : 63,76m³/h ROCHAS : Calcário

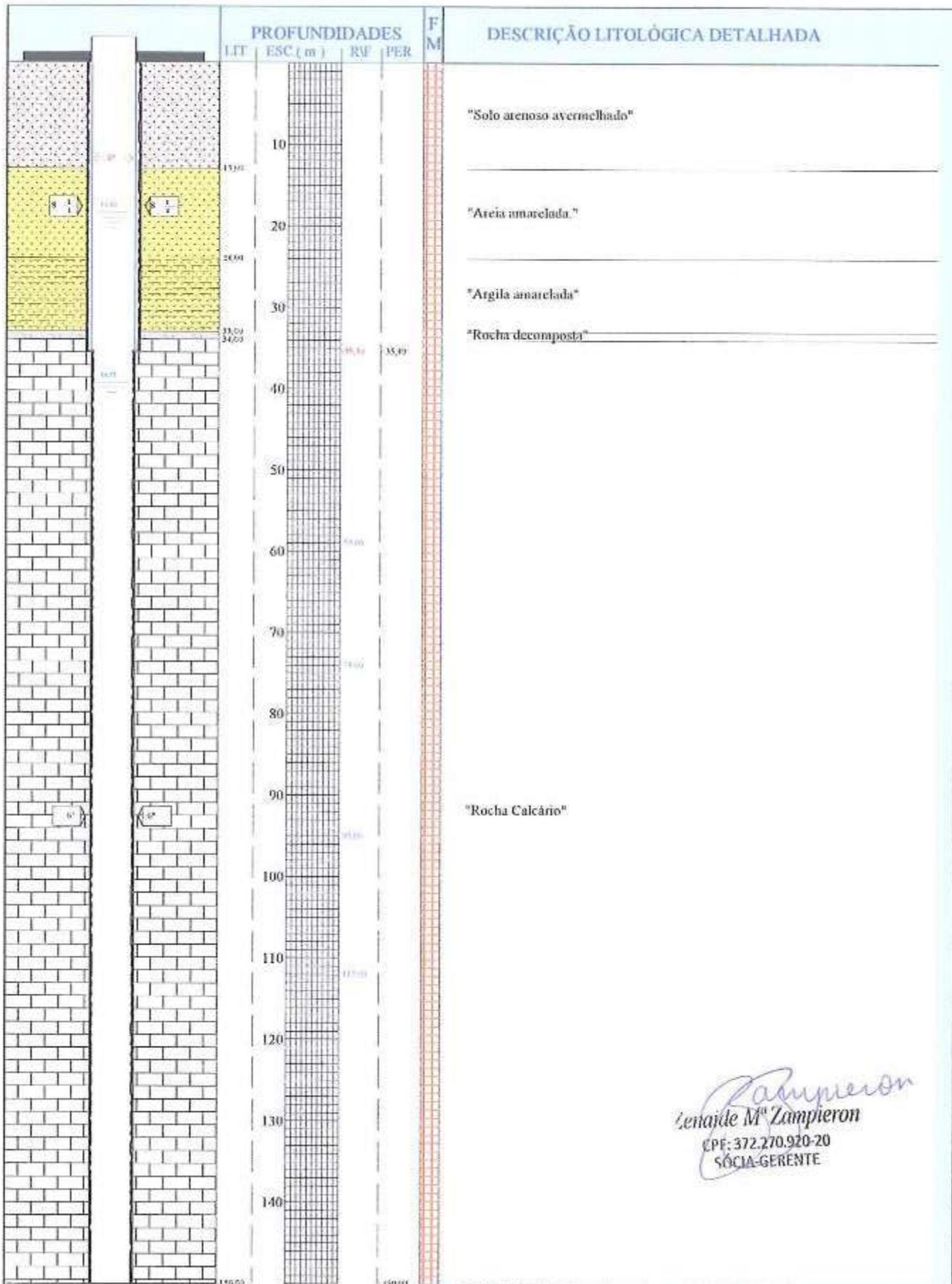
FOTO N° /ESCALA : FOTO INDICE N° :
 MAPAS /ESCALA :
 LOCAÇÃO :
 PERFURAÇÃO : Aguacenter Poços Artesianos Ltda
 SONDADOR : Itacir Braz Cortina
 PERFURATRIZ : Prominas R - 2H
 INICIO DA PERF. : 14.09.2013 FINAL DA PERF. : 15.09.2013

COORDENADAS. GEOG.	PERFURAÇÃO(m)			
	Ø	De	Até	
X = 16°01'53.5"	8"1/2	0,00	35,40	
Y = 43°47'39.9"	6"	35,40	150,00	
Z =	-	-	-	
BP = 0.60 m	-	-	-	
FILTROS(m)		COMPLETAÇÃO(pol)		
Ø	Quant. (m)	Ø	De	Até
		6"	0,00	35,40
		-	-	-
		-	-	-
		-	-	-

OBS : * Data da Perfuração: 14 a 15.09.2013
 * Entradas de água: aos 59, 74, 95 e 112 metros
 * Data do teste de bombeamento: 30.10.2016

Total=
 EQUIPAMENTO INSTALADO

Zampieron
 Lenaida M. Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE



LEGENDA
 Perforação
 Revestimento
 Pre-filtros
 Nível Estático
 Nível Dinâmico

Rampieron
 Lenajde M^o Rampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE

AGUACENTER - Poços Artesianos - Tel (38) 3223.6600
 Poço - JD01 Local - JD 01 - São João da Ponte - MG
 Obs: * Data da Perforação: 14 a 15.09.2013



AGUACENTER *Poços Artesianos Ltda*

CNPJ 01.785.629/0001-57

Reg no CREEA N° 22 475

POÇON°	: J01	PROF.	: 135,00 m	IL./BOMB.	: 24:00
LOCAL	: J 01	N.E.	: 30,00 m	RECUPER.	: 48,94 m, em 2:20
MUNIC.	: São João da Ponte - MG	N.D.	: 78,94 m	AQUÍFERO	: Fissural
PROPRIET.	: Fortaleza Sta Teresinha Agrup.	VAZÃO	: 41,25m³/h	ROCHAS	: Calcário

FOTO N° /ESCALA	:	FOTO INDICE N°	:
MAPAS / ESCALA	:		
LOCAÇÃO	:		
PERFURAÇÃO	:	Aguacenter Poços Artesianos Ltda	
SONDADOR	:	Itacir Braz Curtina	
PERFURATRIZ	:	Prominas R - 2H	
INICIO DA PERF.	:	14.03.2014	FINAL DA PERF. : 24.03.2014

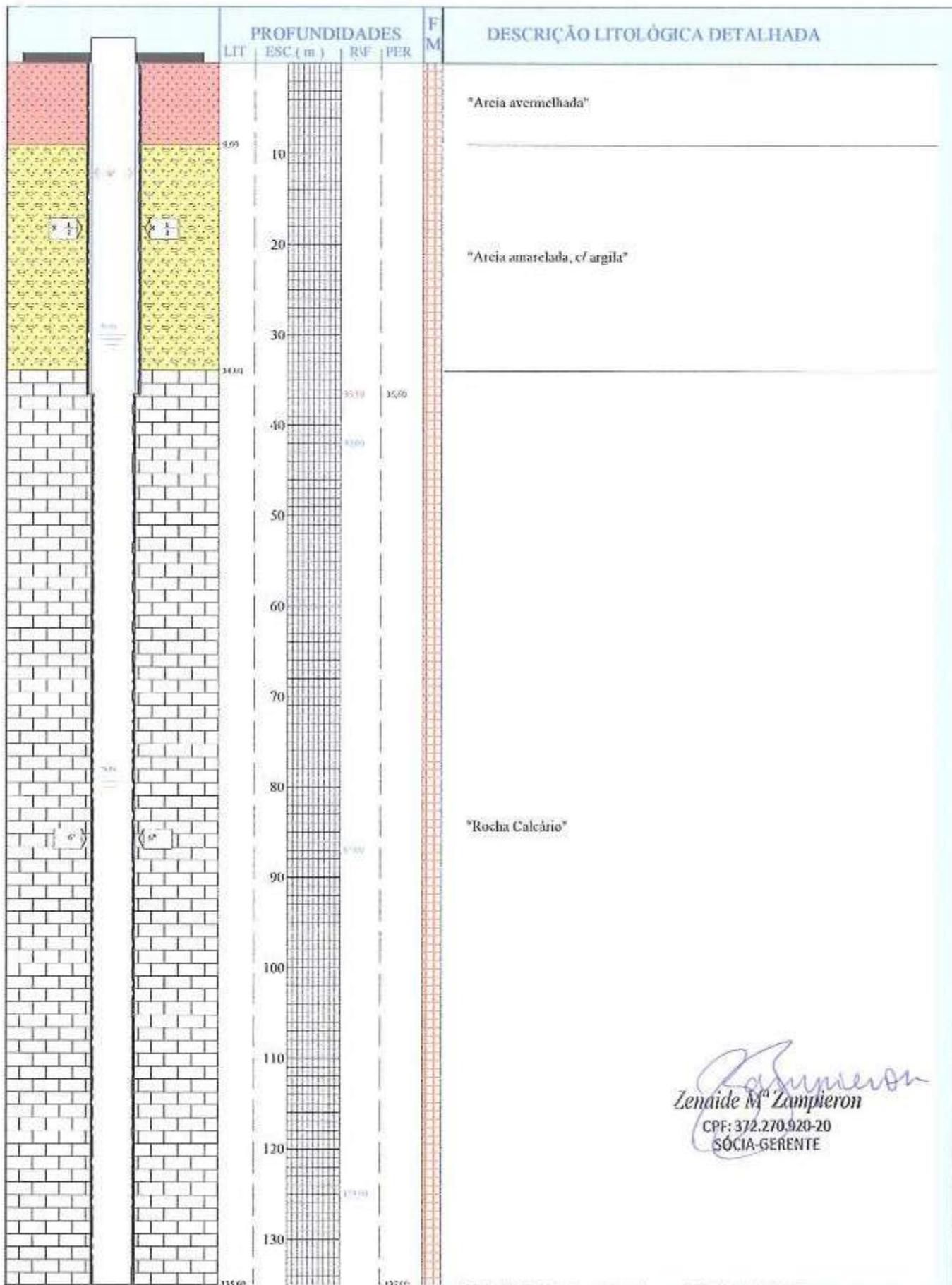
GEOG.	PERFURAÇÃO(m)		
	Ø	De	Até
X = 16°01'50.6"	8" 1/2	0,00	36,60
Y = 43°47'38.4"	6"	36,60	135,00
Z =	-	-	-
BP = 0,60 m	-	-	-
FILTROS(m)		COMPLETAÇÃO(pol)	
Ø	Quant. (m)	Ø	De
		6"	0,00
		-	-
		-	-
		-	-

OBS : * Data da Perfuração: 14 a 24.03.2014
 * Entradas de água: aos 42, 87 e 125 metros.
 * Data do teste de bombeamento: 31.10.2016

Total=

EQUIPAMENTO INSTALADO

Rafael Zampieron
 Grande M^a Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE



Zenáide M. Zamperon
 Zenáide M. Zamperon
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE

LEGENDA
 [] < [] Perforação
 [] > [] Revestimento
 [] Pre-filtros
 [] Nível Estático
 [] Nível Dinâmico

AGUACENTER - Poços Artesianos - Tel (38) 3223.6600
 Poço - J01 Local - J 01 - São João da Ponte - MG


AGUACENTER *Poços Artesianos Ltda*

CNPJ 01.785.629/0001-57

Reg no CREEA N° 22 475

POÇO N°	: J04	PROF.	: 81,00 m	H./BOMB.	: 24:00
LOCAL	: J 04	N.E.	: 19,15 m	RECUPER.	: 19,00 m, em 0:16
MUNIC.	: São João da Ponte - MG	N.D.	: 38,15 m	AQUÍFERO	: Fissural
PROPRIET.	: Fortaleza Sta Teresinha Agrup.	VAZÃO	: 261,38m³/h	ROCHAS	: Calcário

FOTO N° /ESCALA	:	FOTO INDICE N°	:
MAPAS / ESCALA	:		
LOCAÇÃO	:		
PERFURAÇÃO	:	Aguacenter Poços Artesianos Ltda	
SONDADOR	:	Itacir Braz Cortina	
PERFURATRIZ	:	Prominas R - 2H	
INICIO DA PERE.	:	19.03.2014	FINAL DA PERE. : 20.03.2014

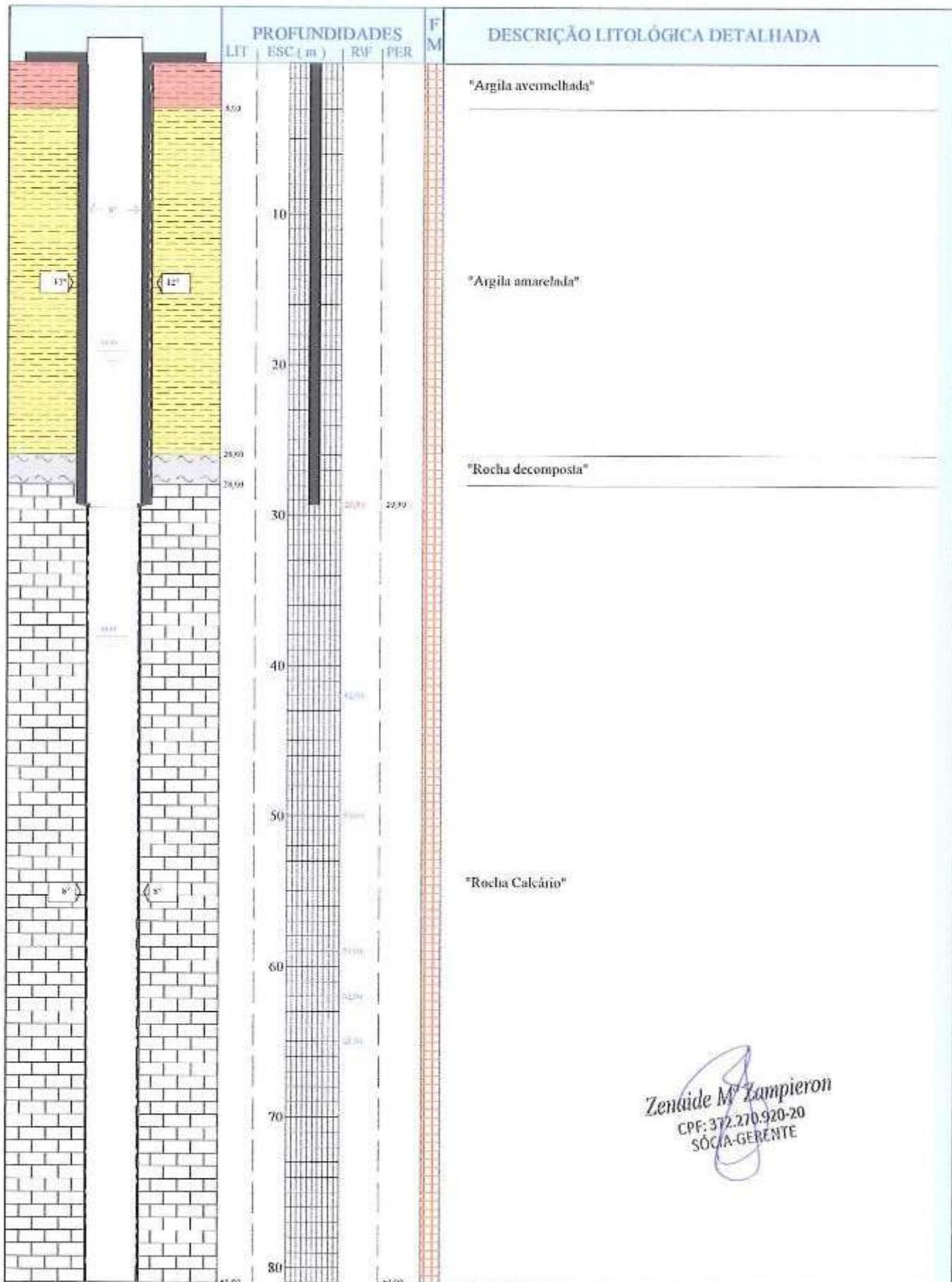
GEOG.	PERFURAÇÃO(m)		
	Ø	De	Até
X = 16°01'47,7"	12"	0,00	29,30
Y = 43°46'19,3"	8"	29,30	81,00
Z =	-	-	-
BP = 0,70 m	-	-	-
FILTROS(m)		COMPLETAÇÃO(pol)	
Ø	Quant. (m)	Ø	De
		8"	0,00
		-	-
		-	-
		-	-

OBS : * Data da Perfuração: 19 a 20.03.2014
 * Entradas de água: aos 42, 50, 59 a 62 e 65 metros.
 * Data do teste de bombeamento: 30.10.2016

Total=

EQUIPAMENTO INSTALADO

Zenaldo M. Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIO-GERENTE



Zenáide M. Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE

LEGENDA
 □ < □ Perfuração □ Nivel Estático
 ← → Revestimento □ Nivel Dinâmico
 — Cimentação

AGUACENTER - Poços Artesianos - Tel (38) 3223.6600
 Poço - J04 Local - J 04 - São João do Ponte - MG
 Obs : * Data da Perfuração: 19 a 20.03.2014



AGUACENTER *Poços Artesianos Ltda*

CNPJ 01.785.629/0001-57

Reg no CREEA N° 22 475

POÇON°	: J05	PROF.	: 148,00 m	H./BOMB.	: 24:00
LOCAL	: J 05	N.E.	: 35,30 m	RECUPER.	: 10,07 m, em 0:05
MUNIC.	: São João da Ponte - MG	N.D.	: 45,37 m	AQUÍFERO	: Fissural
PROPRIET.	: Fortaleza Sta Teresinha Agrup.	VAZÃO	: 66,11m³/h	ROCHAS	: Calcário

FOTO N° /ESCALA	:	FOTO INDICE N°	:
MAPAS / ESCALA	:		
LOCAÇÃO	:		
PERFURAÇÃO	:	Aguacenter Poços Artesianos Ltda	
SONDADOR	:	Itacir Braz Cortina	
PERFURATRIZ	:	Prominas R - 2H	
INÍCIO DA PERF.	:	14.05.2014	FINAL DA PERF. : 15.05.2014

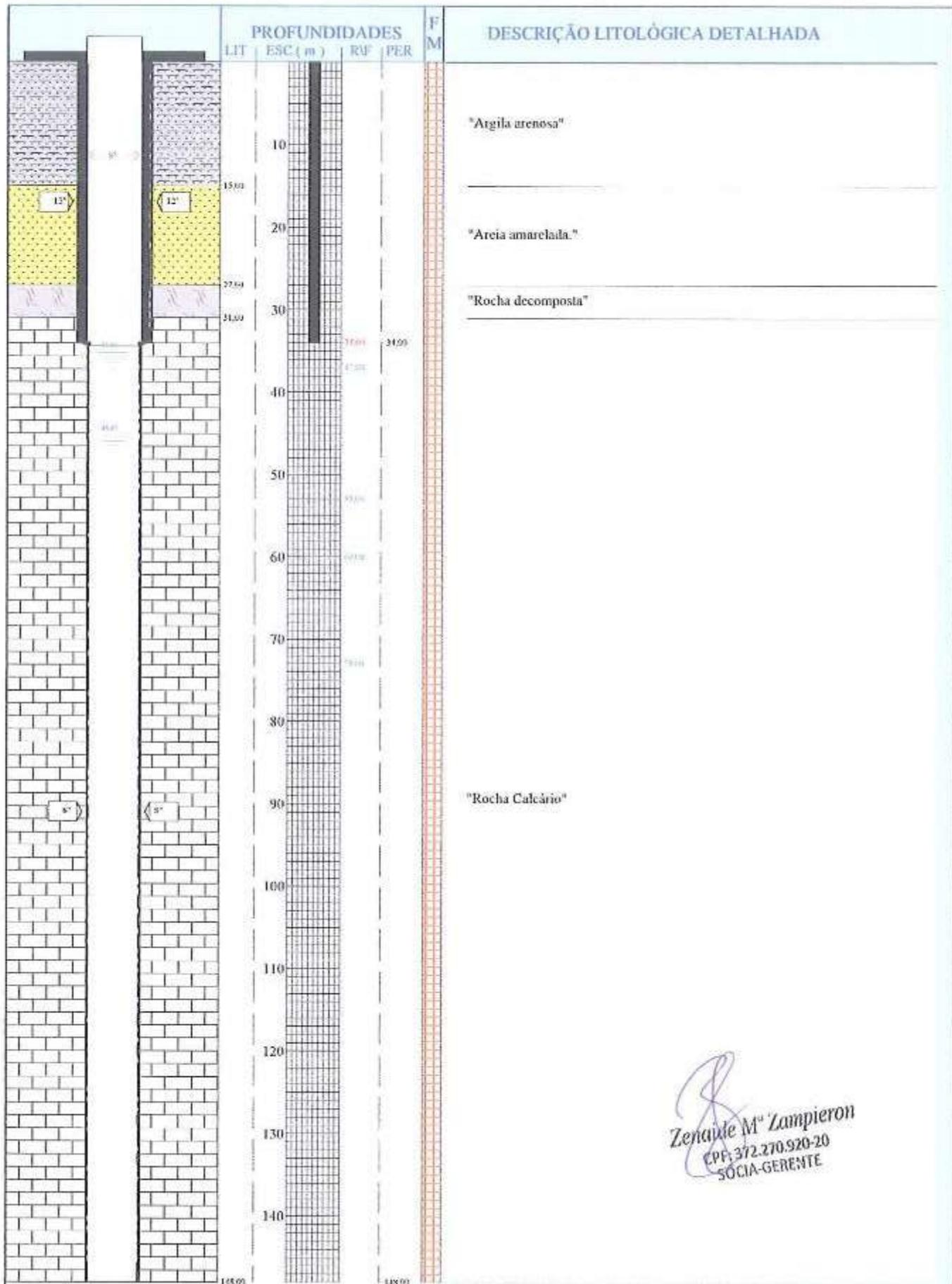
COORDENADAS. GEOG.	PERFURAÇÃO(m)		
	Ø	De	Até
X =16°01'46.4"	12"	0,00	34,00
Y =43°47'38.2"	8"	34,00	148,00
Z =	-	-	-
BP=0,60 m	-	-	-
FILTROS(m)		COMPLETAÇÃO(pol)	
Ø	Quant. (m)	Ø	De
		8"	0,00
		-	-
		-	-
		-	-

OBS : * Data da Perfuração: 14 a 15.05.2014
 * Entradas de água: aos 37, 53, 60 e 73 metros.
 * Data do teste de bombeamento: 30.10.2016

Total=

EQUIPAMENTO INSTALADO

Zenilde M^ª Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE



LEGENDA
 □ > < Perfuração ≡ Nível Estático
 ← → Revestimento ≡ Nível Dinâmico
 — Cimentação

Zenilde M. Lampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE

AGUACENTER - Poços Artesianos - Tel (38) 3223.6600

Poço - 305 Local - J 05 - São João da Ponte - MG

Obs: * Data da Perfuração: 14 a 15.05.2014



AGUACENTER *Poços Artesianos Ltda*

CNPJ 01.785.629/0001-57

Reg no CREEA N° 22 475

POÇO N° : J06 PROF. : 111.00 m II/BOMB. : 24:00
 LOCAL : J 06 N.E. : 13.45 m RECUPER. : 25.47 m, em 3:00
 MUNIC. : São João da Ponte - MG N.D. : 38.92 m AQUÍFERO : Fissural
 PROPRIET. : Fortaleza Sta Teresinha Agrup. VAZÃO : 86.36m³/h ROCHAS : Calcário

FOTO N° /ESCALA : FOTO INDICE N° :
 MAPAS / ESCALA :
 LOCAÇÃO :
 PERFURAÇÃO : Aguacenter Poços Artesianos Ltda
 SONDADOR : Itacir Braz Cortina
 PERFURATRIZ : Prominas R - 2H
 INÍCIO DA PERF. : 15.05.2014 FINAL DA PERF. : 16.05.2014

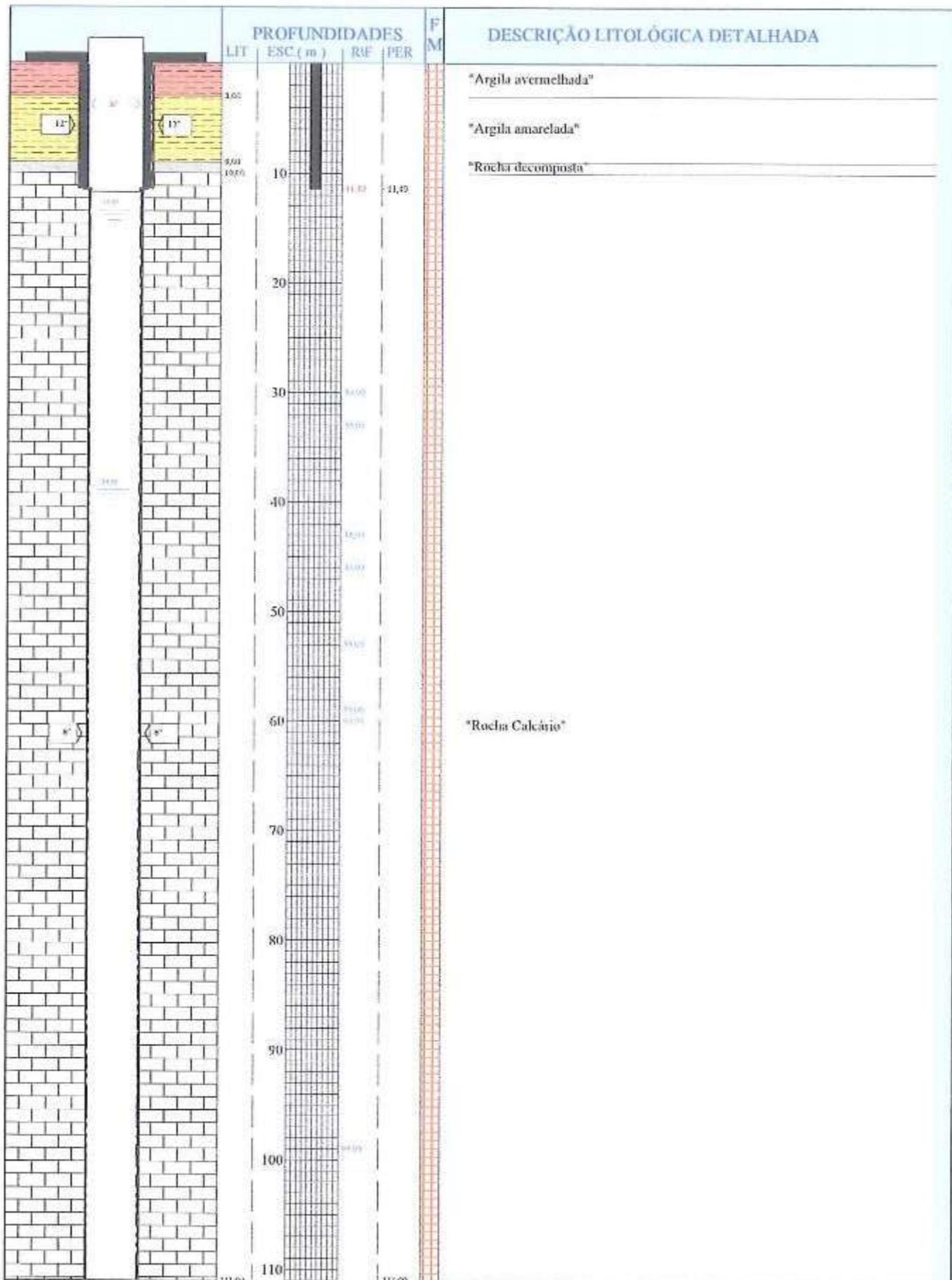
GEOG.	PERFURAÇÃO(m)		
	O	De	Até
X =16°01'42.3"	12"	0.00	11,40
Y =43°47'02.3"	8"	11,40	111,00
Z =	-	-	-
BP=0.60 m	-	-	-
FILTROS(m)		COMPLETAÇÃO(pol)	
O	Quant. (m)	O	De
		8"	0.00
		-	-
		-	-
		-	-

OBS : * Data da Perfuração: 15 a 16.05.2014
 * Entradas de água: aos 30 a 33, 43 a 46, 53, 59, 60 e 99 metros
 * Data do teste de bombeamento: 29.10.2016

Total=

EQUIPAMENTO INSTALADO

Zenaide M^a Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE



LEGENDA
 □ < □ Perfurção
 ← → Revestimento
 — Cimentação
 — Nivel Estático
 — Nivel Dinâmico

AGUACENTER - Poços Artesianos - Tel (38) 3223.6600
 Poço - J06 Local - J 06 - São João da Ponte - MG
 Obs : * Data da Perfurção: 15 a 16.05.2014



AGUACENTER *Poços Artesianos Ltda*

CNPJ 01.785.629/0001-57

Reg no CREEA N° 22 475

POÇON°	: J07	PROF.	: 150,00 m	IL/BOMB.	: 23,00
LOCAL	: Poço J07 -Jataí	N.E.	: 25,00 m	RECUPER.	: 37,15 m, em 3:00
MUNIC.	: São João da Ponte	N.D.	: 69,34 m	AQUÍFERO	: Fissural
PROPRIET.	: Fortaleza Sta Terezinha Agricu	VAZÃO	: 51,09m³/h	ROCHAS	: Calcário Preto

FOTO N°/ESCALA	:	FOTO INDICE N°	:
MAPAS / ESCALA	:		
LOCAÇÃO	:		
PERFURAÇÃO	:	Aguacenter Poços Artesianos Ltda	
SONDADOR	:	Alzito Souza Soares	
PERFURATRIZ	:	Prominas R - IH96	
INÍCIO DA PERF.	:	31.08.2014	FINAL DA PERF. : 02.09.2014

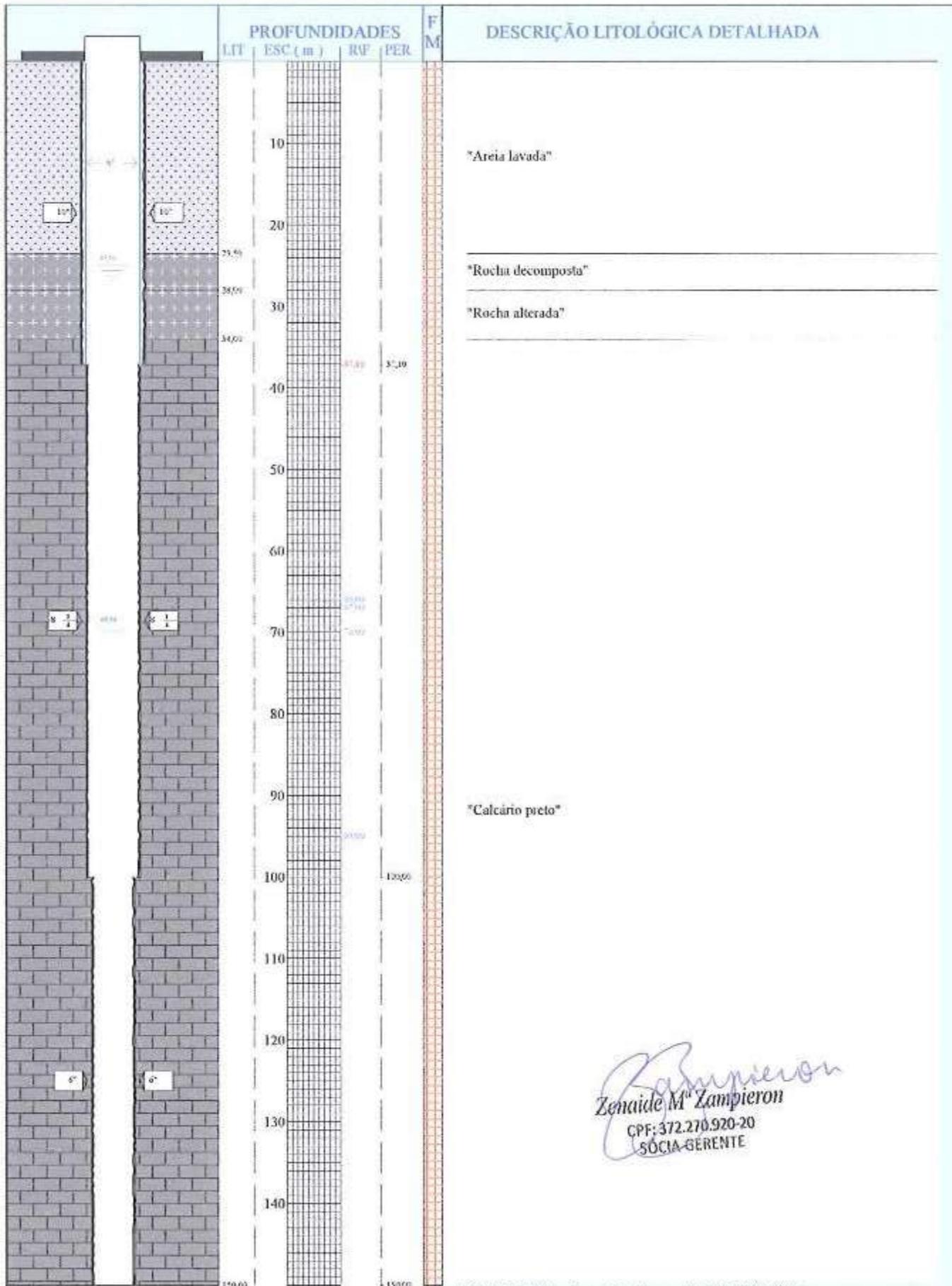
COORDENADAS. GEOG.	PERFURAÇÃO(m)		
	Ø	De	Até
X =16°01'37.7"	10"	0,00	37,10
Y =43°47'38.2"	8" 1/2	37,10	100,00
Z =539,00 m	6"	100,00	150,00
HP=0,90 m	-	-	-
FILTROS(m)		COMPLETAÇÃO(pol)	
Ø	Quant. (m)	Ø	De
		8"	0,00
		-	-
		-	-
		-	-

OBS : * Data da Perfuração: 31.08 à 02.09.2014
 * Entradas de água: aos 66, 67, 70 e 95 mts
 * Data do teste de bombeamento: 09.09.2014

Total=

EQUIPAMENTO INSTALADO

Zampieron
 Genilde M^a Zampieron
 CPF: 372.270.920-70
 SÓCIA-GERENTE



Zenaide M. Zampieron
 Zenaide M. Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA GERENTE

LEGENDA
 [Diagram symbols] Perfuração [Symbol] Revestimento [Symbol] Pre-filtros
 [Symbol] Nível Estático [Symbol] Nível Dinâmico

AGUACENTER - Poços Artesianos - Tel (38) 3223.6600
 Poço - J07 Local - Poço J07 -Jataí - São João da Ponte
 Obs : * Data da Perfuração: 31.08 à 02.09.2014



AGUACENTER *Poços Artesianos Ltda*

CNPJ 01.785.629/0001-57

Reg no CREEA N° 22 475

POÇON° : JATAI08 **J-01** **PROF.** : 111.00 m **H/BOMB.** : 16:00
LOCAL : Jataí - 08 **N.E.** : 8.94 m **RECUPER.** : 61.79 m, em 1:30
MUNIC. : São João da Ponte - MG **N.D.** : 78.00 m **AQUÍFERO** : Fissural
PROPRIET. : Fortaleza Sta Terceirinha Agric **VAZÃO** : 47.08m³/h **ROCHAS** : Calcário

FOTO N° / ESCALA : **FOTO INDICE N°** :
MAPAS / ESCALA :
LOCAÇÃO :
PERFURAÇÃO : Aguacenter Poços Artesianos Ltda
SONDADOR : Itacir Braz Cortina
PERFURATRIZ : Prominas R - 2H
INICIO DA PERF. : 04.03.2015 **FINAL DA PERF.** : 04.03.2015

GEOG.	PERFURAÇÃO(m)		
	Ø	De	Até
X = 16°06'40.7"	8" 1/2	0,00	21,00
Y = 43°46'25.1"	6"	21,00	111,00
Z = 524.00 m	-	-	-
BP = 0.60 m	-	-	-
FILTROS(m)		COMPLETAÇÃO(pol)	
Ø	Quant. (m)	Ø	De
		6"	0,00
		-	-
		-	-
		-	-

OBS : * Data da Perfuração: 04.03.2015
 * Entradas de água: aos 34, 47 e 94 mts.
 * Data do teste de bombeamento: 04 a 05.03.2015

Total=

EQUIPAMENTO INSTALADO

Zenide M. Zamperon
 Zenide M^a Zamperon
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE



AGUACENTER Poços Artesianos Ltda

CNPJ 01.785.629/0001-57

Reg no GREEA N° 22 475

POÇO N° : J09 PROF. : 54,00 m IL/BOMB. : 24:00
 LOCAL : J 09 N.E. : 19.20 m RECUPER. : 19.65 m, em 04:30
 MUNIC. : São João da Ponte - MG N.D. : 38.85 m AQUÍFERO : Fissural
 PROPRIET. : Fortaleza Sta Teresinha Agrop. VAZÃO : 237.83m³/h ROCHAS : Calcário

FOTO N°/ESCALA : FOTO ÍNDICE N° :
 MAPAS/ESCALA :
 LOCAÇÃO :
 PERFURAÇÃO : Aguacenter Poços Artesianos Ltda
 SONDADOR : Itacir Braz Cortina
 PERFURATRIZ : Prominas R - 2H
 INÍCIO DA PERF. : 05.03.2015 FINAL DA PERF. : 05.03.2015

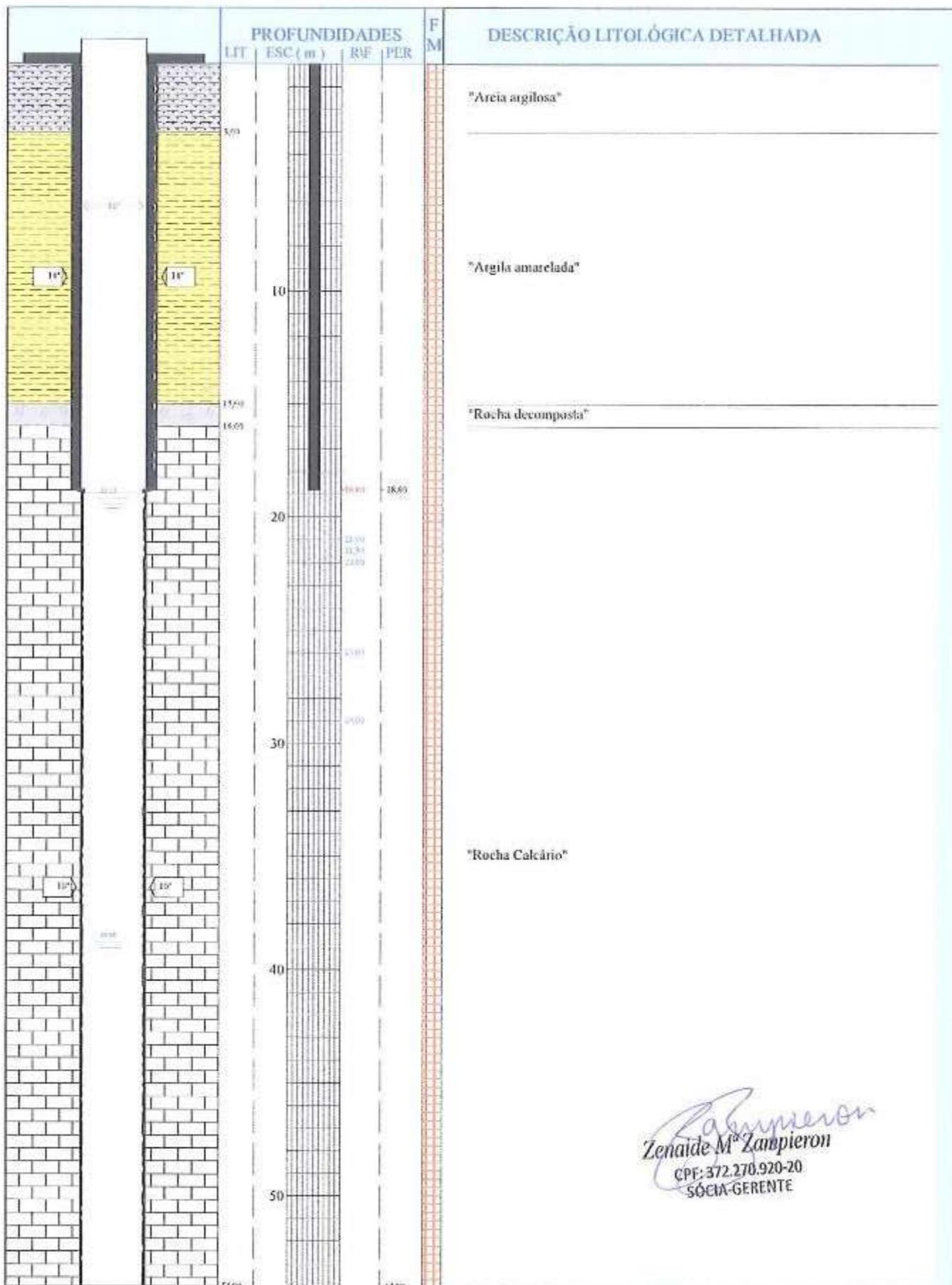
COORDENADAS GEOG.	PERFURAÇÃO(m)		
	Ø	De	Até
X = 16°01'41.0"	14"	0,00	18,80
Y = 43°46'19.3"	10"	18,80	54,00
Z =	-	-	-
BP = 0.70 m	-	-	-
FILTROS(m)		COMPLETAÇÃO(pol)	
Ø	Quant. (m)	Ø	De
		10"	0,00
		-	-
		-	-
		-	-

OBS : * Data da Perfuração: 05.03.2015
 * Entradas de água: aos 21, 21,50, 22, 26 e 29 metros
 * Data do teste de bombeamento: 30.10.2016

Total=

EQUIPAMENTO INSTALADO

Lenáide M. Zampieron
 Lenáide M. Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE



Zenaide M. Zampieron
 Zenaide M. Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE

LEGENDA
 [] [] Perfuração
 [] [] Revestimento
 [] [] Cimentação
 [] [] Nível Estático
 [] [] Nível Dinâmico

AGUACENTER - Poços Artesianos - Tel (38) 3223.6600
 Poço - J09 Local - J 09 - São João da Ponte - MG
 Obs : * Data da Perfuração 05.03.2015



AGUACENTER Poços Artesianos Ltda

CNPJ 01.785.629/0001-57

Reg no CREEA N° 22 475

POÇON° : J09 PROF. : 54,00 m IL/BOMB. : 24:00
 LOCAL : J 09 N.E. : 19,20 m RECUPER. : 19,65 m, em 04:30
 MUNIC. : São João da Ponte - MG N.D. : 38,85 m AQUÍFERO : Fissural
 PROPRIET. : Fortaleza Sta Tersinha Agrop. VAZÃO : 237,83m³/h ROCHAS : Calcário

FOTO N° /ESCALA : FOTO INDICE N° :
 MAPAS / ESCALA :
 LOCAÇÃO :
 PERFURAÇÃO : Aguacenter Poços Artesianos Ltda
 SONDADOR : Itacir Braz Cortina
 PERFURATRIZ : Prominas R - 2H
 INÍCIO DA PERE. : 05.03.2015 FINAL DA PERE. : 05.03.2015

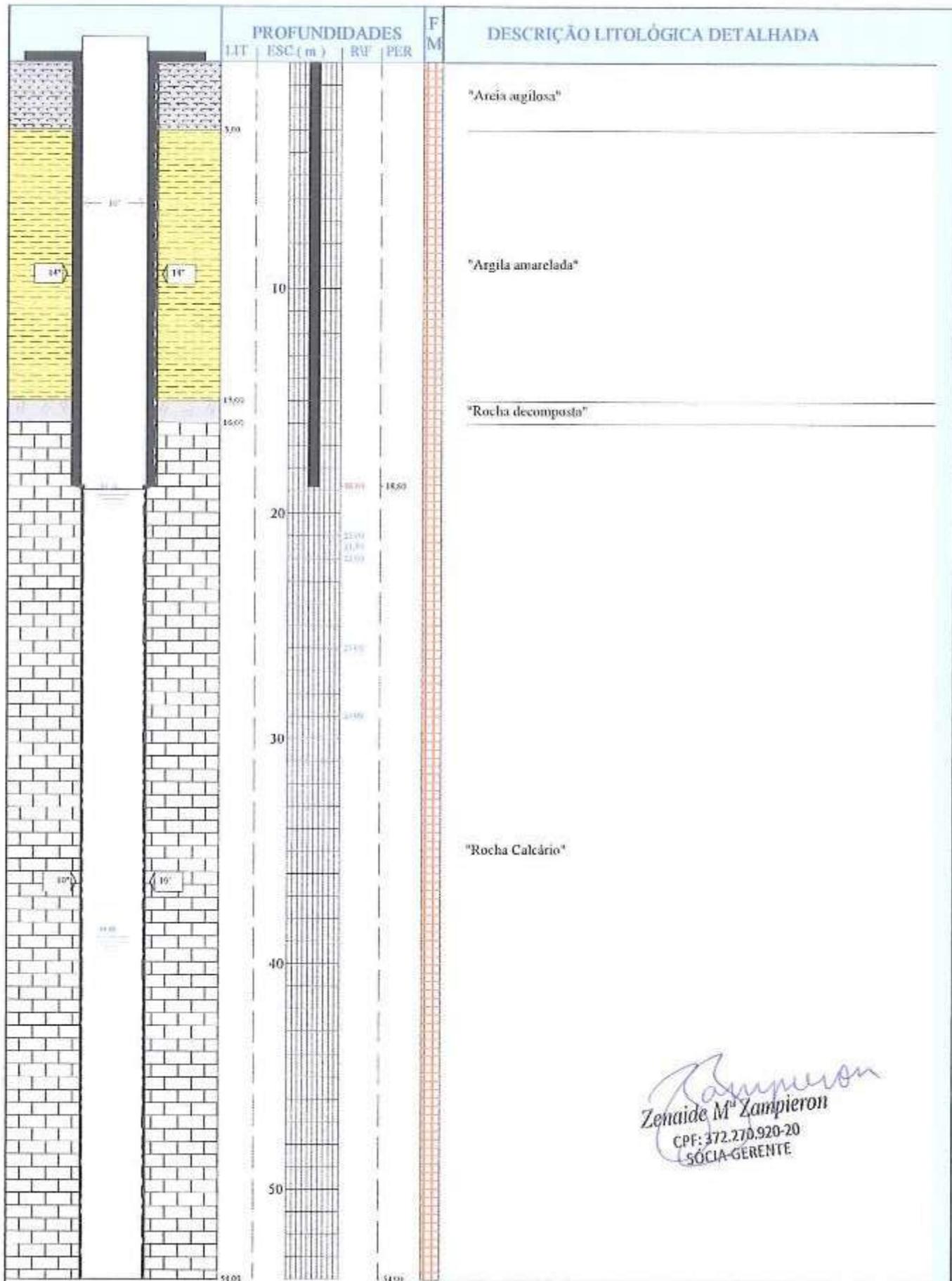
GEOG.	PERFURAÇÃO(m)		
	Ø	De	Até
X = 16°01'41.0"	14"	0,00	18,80
Y = 43°46'19.3"	10"	18,80	54,00
Z =	-	-	-
BP = 0,70 m	-	-	-
FILTROS(m)		COMPLETAÇÃO(pol)	
Ø	Quant. (m)	Ø	De
		10"	0,00
		-	-
		-	-
		-	-

OBS : * Data da Perfuração: 05.03.2015
 * Entradas de água: aos 21, 21,50, 22, 26 e 29 metros
 * Data do teste de bombeamento: 30.10.2016

Total=

EQUIPAMENTO INSTALADO

Zenaida Mª Zampieron
 Zenaida Mª Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE



Zampieron
 Zenaide M. Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA GERENTE

LEGENDA
 < > Perfuração ——— Nível Estático
 ← → Revestimento - - - - - Nível Dinâmico
 — Cimentação

AGUACENTER - Poços Artesianais - Tel (38) 3223.6600
 Poço - J09 Local - J 09 - São João da Ponte - MG
 Obs: * Data da Perfuração: 05.03.2015

STI



ST

RELATÓRIO DE POÇO TUBULAR

TIPO: POÇO TUBULAR PROFUNDO Nº. 7362

Proprietário: ARG LTDA Poço: 1

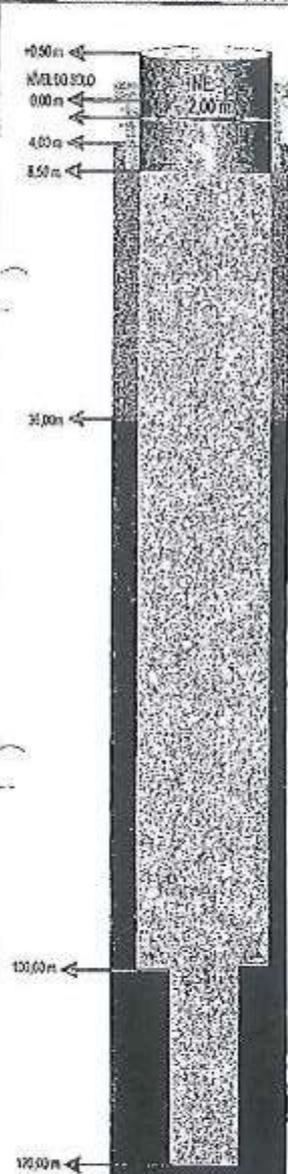
Localidade: FAZENDA SANTA IZABEL

Município: SÃO JOÃO DA PONTE Estado: MG

Profundidade Final: 120 m Data Inicial: 29/7/2010 Data Final: 12/8/2010

Nível Estático (NE): 2,00 m Nível Dinâmico (ND): 12,00 m Vazão: 208,00 m³/d

PERFIL CONSTRUTIVO



SEM ESCALA

DADOS CONSTRUTIVOS

REVESTIMENTO				ESPACAMENTO ANULAR		
Diâmetro (cm)	Diâmetro (mm)	Da (m)	Ata (m)	Da (m)	Ata (m)	Material
12	304,8	0,00	8,50	0,00	8,50	CIMENTO
10	254	8,50	100,00	8,50	100,00	MATERIAL DA FORMAÇÃO
8	182,4	100,00	120,00			

ENTRADA(S) DE ÁGUA (m³/d)

REVESTIMENTO					
Diâmetro (cm)	Diâmetro (mm)	Da (m)	Ata (m)	Material	
10	254	+ 0,50	8,50	TUBO DE AÇO CARBONO SCH 20	

GEOLOGIA

ESTRATIGRAFIA			
Da (m)	Ata (m)	Formação Geológica	
0,00	120,00	Grupo Bambuí	

LITOLOGIA

Da (m)	Ata (m)	Descrição do material atravessado pela perfuração
0,00	4,00	Argila de coloração amarelada;
4,00	36,00	Calcário de coloração cinza, fragmentação fina a média, pleocóide;
36,00	120,00	Calcário de coloração preta, fragmentação fina.

OBSERVAÇÕES

RESPONSABILIDADE TÉCNICA

Perfuração:	HIDROPOÇOS	Sonda:	P04 Percussora P-350
Método de Perfuração:	ROTOPNEUMÁTICO	Sondador:	Vicente Reis Nicolau
Autor do Projeto:	HIDROPOÇOS	Locação:	HIDROPOÇOS
Responsável Técnico:	Eng.º Pedro A. Tomazi de Baltes	CREA:	MG 9.669/D

[Assinatura]
Assinatura do Responsável Técnico



AGUACENTER *Poços Artesianos Ltda*

CNPJ 01.785.629/0001-57

Reg no CREEA N° 22 475

POÇO N°	: ST101	PROF.	: 100.00 m	H./BOMB.	: 24:00
LOCAL	: ST101	N.E.	: 19.50 m	RECUPER.	: 4.20 m, em 0:30
MUNIC.	: São João da Ponte - MG	N.D.	: 23.70 m	AQUÍFERO	: Fissural
PROPRIET.	: Fortaleza Sta Teresinha Agrop.	VAZÃO	: 181.23m³/h	ROCHAS	: Calcário

FOTO N° / ESCALA	:	FOTO ÍNDICE N°	:
MAPAS / ESCALA	:		
LOCAÇÃO	:		
PERFURAÇÃO	:	Aguacenter Poços Artesianos Ltda	
SONDADOR	:	Itacir Braz Cortina	
PERFURATRIZ	:	Prominas R - 2H	
INÍCIO DA PERF.	:	04.09.2013	FINAL DA PERF. : 06.09.2013

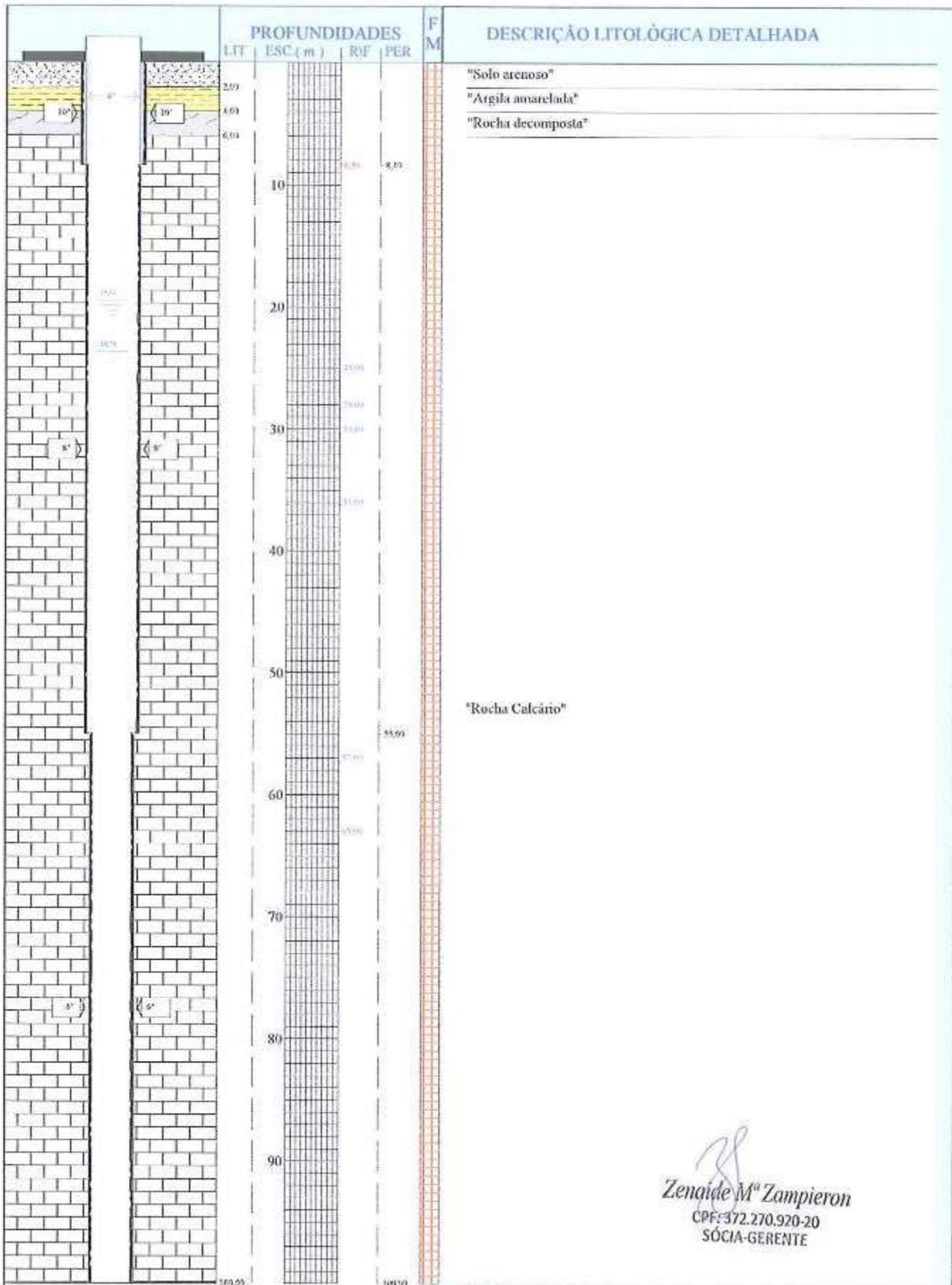
COORDENADAS. GEOG.	PERFURAÇÃO(m)		
	Ø	De	Até
X = 16°00'14.5"	10"	0.00	8,40
Y = 43°46'54.3"	8"	8,40	55,00
Z =	6"	55,00	100,00
BP = 0.60 m	-	-	-
FILTROS(m)		COMPLETAÇÃO(pol)	
Ø	Quant. (m)	Ø	De
		8"	0.00
		-	-
		-	-
		-	-

OBS : * Data da Perfuração: 04 a 06.09.2013
 * Entradas de água: aos 25, 28, 30, 36, 57 e 63 metros.
 * Data do teste de bombeamento: 30.10.2016

Total=

EQUIPAMENTO INSTALADO

Zenaida M. Zampieron
 CPF 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE



LEGENDA
 □ > < Perfuração
 ← → Revestimento
 Pre-filtros
 — Nivel Estático
 - - - Nivel Dinâmico

Zenilde M^a Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE

AGUACENTER - Poços Artesianos - Tel (38) 3223.6600
 Poço - STI01 Local - STI 01 - São João da Ponte - MG
 Obs.: * Data da Perfuração: 04 a 05.09.2013

STI02



STI-

RELATÓRIO DE POÇO TUBULAR

HIDROPOÇOS

TIPO:	POÇO TUBULAR PROFUNDO		Nº. 16344		
Proprietário:	ARG LTDA - FORTALEZA DE SANTA TEREZINHA		Poço: 3		
Localidade:	FAZENDA SANTA IZABEL		Estado:	MG	
Município:	SÃO JOÃO DA PONTE		Data Final:	15/12/2011	
Profundidade Final:	120,00 m	Data Inicial:	12/11/2011	Vazão:	60,00 m³/h
Nível Estático (NE):	2,60 m	Nível Dinâmico (ND):	39,00 m		

PERFIL CONSTRUTIVO				DADOS CONSTRUTIVOS								
				PERFURAÇÃO		ESPAÇO ANULAR						
				Dímetro (prof)	Dímetro (prof)	De (m)	Até (m)	De (m)	Até (m)	Material		
				12	304,8	0,00	5,30	0,00	6,30	CIMENTO		
	10	254	5,30	100,00								
	6	162,4	100,00	120,00								
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">NÍVEL DE ENTRADA(S) DE ÁGUA (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="3">42,00 - 78,00 - 93,00</td> </tr> </tbody> </table>							NÍVEL DE ENTRADA(S) DE ÁGUA (m)			42,00 - 78,00 - 93,00		
NÍVEL DE ENTRADA(S) DE ÁGUA (m)												
42,00 - 78,00 - 93,00												
REVESTIMENTO												
Dímetro (prof)	Dímetro (má)	De (m)	Até (m)	Material								
10	254	0,70 +	5,30	TUBO DE AÇO CARBONO SCH 20								
GEOLOGIA												
ESTRATIGRAFIA												
De (m)	Até (m)	Formação Geológica										
0,00	120,00	SUPER GRUPO BAMBUI										
LITOLOGIA												
De (m)	Até (m)	Descrição do material atravessado pela perfuração										
0,00	3,00	Argila arenosa de coloração marrom avermelhada, fração areia fina;										
3,00	4,30	Rocha calcária alterada, coloração cinza com tons marrons, fragmentação fina a média;										
4,30	61,00	Calcário são, coloração cinza, fragmentação fina;										
61,00	120,00	Calcário são, coloração cinza a cinza escura, fragmentação fina a grossa.										
OBSERVAÇÕES												
RESPONSABILIDADE TÉCNICA												
Perfuração:	HIDROPOÇOS	Sonda:	P 04 FROBIAS P 310									
Método de Perfuração:	FERCUSAÇÃO	Sondador:	VICENTE ROS									
Autor do Projeto:	HIDROPOÇOS	Localção:	HIDROPOÇOS									
Responsável Técnico:	PEDRO AFONSO TOMAZ SALLES	CREA:	MG 9569-D									
 Assinatura do Responsável Técnico												

HIDROPOÇOS LTDA. - RUA AGENÉRIO ARAUJO, N° 385 - BAIRRO CAMARGOS - BELO HORIZONTE-MG. - CEP: 30.520-220
TEL: (31) 2122-1800 / FAX: (31) 3363-2594


AGUACENTER *Poços Artesianos Ltda*

CNPJ 01.785.629/0001-57

Reg no CREEA N° 22 475

POÇO N°	: STI05	PROF.	: 100,00 m	II./BOMB.	: 24:00
LOCAL	: STI 05	N.E.	: 22,70 m	RECUPER.	: 15,90 m, em 0:30
MUNIC.	: São João da Ponte - MG	N.D.	: 38,60 m	AQUÍFERO	: Fissural
PROPRIET.	: Fortaleza Sta Teresinha Agrup.	VAZÃO	: 30,22m³/h	ROCHAS	: Calcário

FOTO N° /ESCALA : FOTO INDICE N° :

MAPAS /ESCALA :

LOCAÇÃO :

PERFURAÇÃO : Aguacenter Poços Artesianos Ltda

SONDADOR : Adecir Luis Zamboni

PERFURATRIZ : Prominas R - 2H

INÍCIO DA PERF. : 06.05.2013 FINAL DA PERF. : 07.05.2013

OBS : * Data da Perfuração: 06 a 07.05.2013
 * Entradas de água: aos 8 e 54 metros
 * Data do teste de bombeamento: 31.10.2016

GEOG.	PERFURAÇÃO(m)			
	Ø	De	Até	
X = 16°00'04.4"	8" 1/2	0,00	6,80	
Y = 43°46'44.8"	6"	6,80	100,00	
Z =	-	-	-	
BP=0,50 m	-	-	-	
FILTROS(m)		COMPLETAÇÃO(pol)		
Ø	Quant. (m)	Ø	De	Até
		6"	0,00	6,80
		-	-	-
		-	-	-
		-	-	-

Total=

EQUIPAMENTO INSTALADO

Zenaida M. Lampieron
 Zenaida M. Lampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE



AGUACENTER Poços Artesianos Ltda

CNPJ 01.785.629/0001-57

Reg no CREEA N° 22 475

POÇO N°	: STI06	PROF.	: 105,00 m	II/BOMB.	: 24:00
LOCAL	: STI06	N.E.	: 22,65 m	RECUPER.	: 1,31 m, em 1:40
MUNIC.	: São João da Ponte - MG	N.D.	: 23,96 m	AQUÍFERO	: Fissural
PROPRIET.	: Fortaleza Sta Teresinha Agrop.	VAZÃO	: 71,09m³/h	ROCHAS	: Calcário

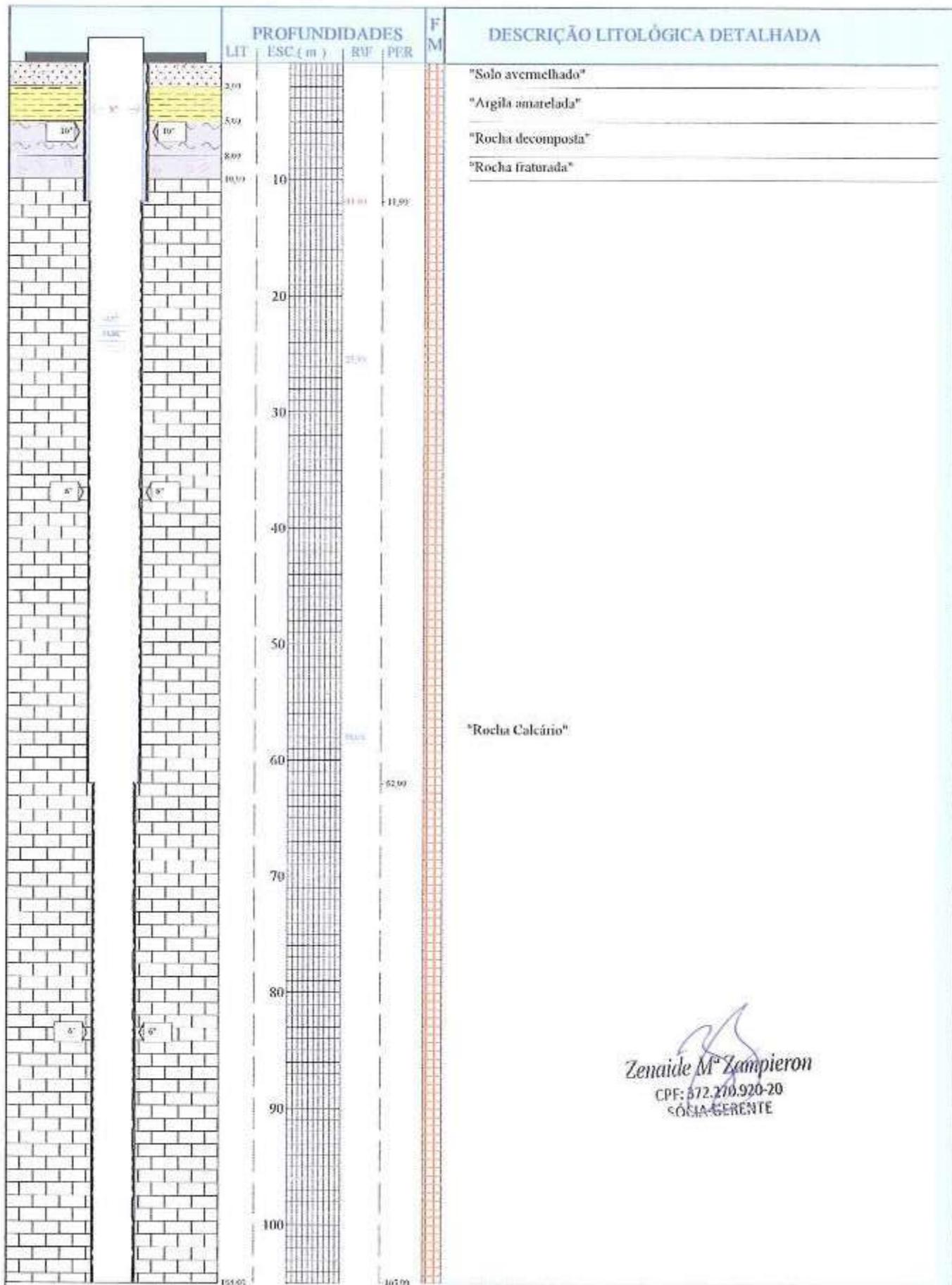
FOTO N°/ESCALA	:	FOTO INDICE N°	:	COORDENADAS.		PERFURAÇÃO(m)			
MAPAS / ESCALA	:			GEOG.	Ø	De	Até		
LOCAÇÃO	:			X = 15°59'29.7"	10"	0,00	11,90		
PERFURAÇÃO	:	Aguacenter Poços Artesianos Ltda		Y = 43°47'06.7"	8"	11,90	62,00		
SONDADOR	:	Itacir Braz Cortina		Z =	6"	62,00	105,00		
PERFURATRIZ	:	Prominus		BP = 0,60 m	-	-	-		
INICIO DA PERF.	:	16.10.2013	FINAL DA PERF.	:	FILTROS(m)		COMPLETAÇÃO(pol)		
					Ø	Quant. (m)	Ø	De	Até
							8"	0,00	11,90
							-	-	-
							-	-	-
							-	-	-

OBS : * Data da Perfuração: 16 a 17.10.2013
 * Entradas de água: aos 25,50 e 58 metros.
 * Data do teste de bombeamento: 03.11.2016

Total=

EQUIPAMENTO INSTALADO

Zenaide M^o Zampieron
 CPF: 392.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE



Zenaide M. Zampieron
 CPF: 572.270.920-20
 SÓCIA GERENTE

LEGENDA
 [Símbolo] Perfuração [Símbolo] Nível Estático
 [Símbolo] Revestimento [Símbolo] Nível Dinâmico
 [Símbolo] Pre-filtros

AGUACENTER - Poços Artesianos - Tel (38) 3223.6600
 Poço - ST106 Local - ST106 - São João da Ponte - MG
 Obs: * Data da Perfuração: 16 a 17.10.2013

**AGUACENTER***Poços Artesianos Ltda*

CNPJ 01.785.629/0001-57

Reg no CREEA N° 22 475

POÇON°	: ST107	PROF.	: 100,00 m	H./BOMB.	: 24:00
LOCAL	: ST107	N.E.	: 23,00 m	RECUPER.	: 2,53 m, em 0:50
MUNIC.	: São João da Ponte - MG	N.D.	: 29,53 m	AQUÍFERO	: Fissural
PROPRIET.	: Fortaleza Sta Teresinha Agrup.	VAZÃO	: 33,13m³/h	ROCHAS	: Calcário

FOTO N°/ESCALA	:	FOTO INDICE N°	:
MAPAS/ESCALA	:		
LOCAÇÃO	:		
PERFURAÇÃO	:	Aguacenter Poços Artesianos Ltda	
SONDADOR	:	Itacir Braz Cortina	
PERFURATRIZ	:	Prominas R - 2H	
INICIO DA PERF.	:	17.10.2013	FINAL DA PERF. : 18.10.2013

OBS : * Data da Perfuração: 17 a 18.10.2013
 * Entradas de água: aos 18 a 19 e 94 metros
 * Data do teste de bombeamento: 03.11.2016

GEOG.	PERFURAÇÃO(m)		
	O	De	Até
X =15°59'14.3"	12"	0,00	3,50
Y =43°46'57.5"	10"	3,50	21,00
Z =	8"	21,00	58,00
BP =1.50 m	6"	58,00	100,00
FILTROS(m)		COMPLETAÇÃO(pol)	
O	Quant. (m)	O	De
		10"	0,00
		-	-
		-	-
		-	-

Total=

EQUIPAMENTO INSTALADO

Zenaide M^{te} Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE



AGUACENTER *Poços Artesianos Ltda*

CNPJ 01.785.629/0001-57

Reg no CREEA N° 22 475

POÇO N°	: ST108	PROF.	: 105,00 m	H./BOMB.	: 24:00
LOCAL	: ST1 08	N.E.	: 19,97 m	RECUPER.	: 3,11 m, em 0:09
MUNIC.	: São João da Ponte - MG	N.D.	: 23,08 m	AQUÍFERO	: Fissural
PROPRIET.	: Fortaleza Sta Teresinha Agrop.	VAZÃO	: 70,02m³/h	ROCHAS	: Calcário

FOTO N°/ESCALA	:	FOTO INDICE N°	:
MAPAS/ESCALA	:		
LOCAÇÃO	:		
PERFURAÇÃO	:	Aguacenter Poços Artesianos Ltda	
SONDADOR	:	Itacir Braz Cortina	
PERFURATRIZ	:	Prominas R - 2H	
INICIO DA PERF.	:	28.10.2013	FINAL DA PERF. : 30.10.2013

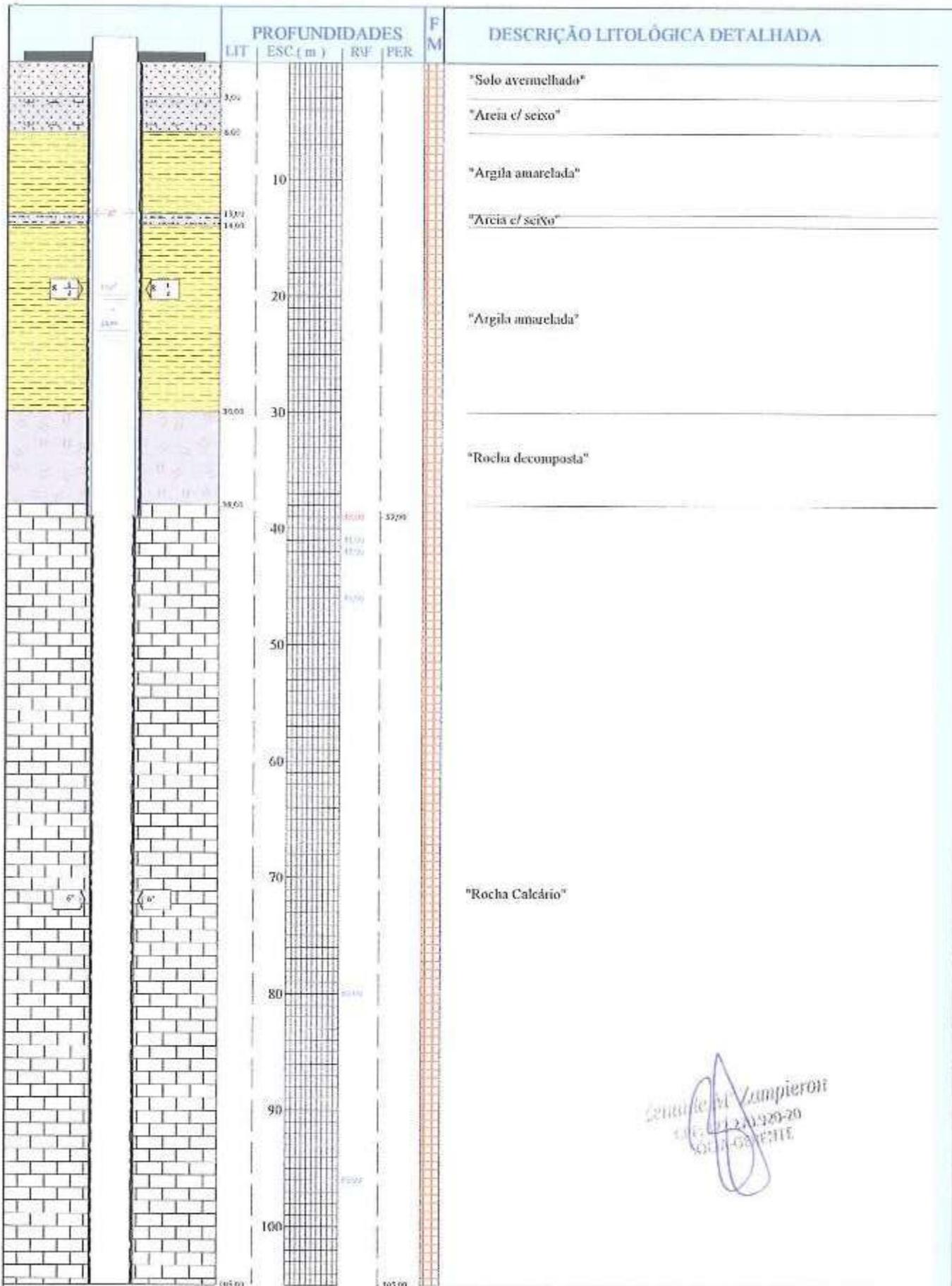
GEOG.	PERFURAÇÃO(m)		
	Ø	De	Até
X = 15°58'35,8"	8" 1/2	0,00	39,00
Y = 43°47'02,4"	6"	39,00	105,00
Z =	-	-	-
HP = 0,60 m	-	-	-
FILTROS(m)		COMPLETAÇÃO(pol)	
Ø	Quant. (m)	Ø	De Até
		6"	0,00 39,00
		-	- -
		-	- -
		-	- -

OBS: * Data da Perfuração: 28 a 30.10.2013
 * Entradas de água: aos 41, 42, 46, 80 e 96 metros.
 * Data do teste de bombeamento: 04.11.2016

Total=

EQUIPAMENTO INSTALADO

Zenaide M^{te} Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE



LEGENDA
 [] [] Perfuração
 [] [] Revestimento
 [] [] Pos-filtos
 [] [] Nível Estático
 [] [] Nível Dinâmico

AGUACENTER - Poços Artesianos - Tel (38) 3223.6600
 Poço - ST108 Local - STI 08 - São João da Ponte - MG
 Obs: * Data da Perfuração: 28 a 30.10.2013

Genivaldo Vampieron
 11.02.2013 14:20:20
 011-35888211



AGUACENTER *Poços Artesianos Ltda*

CNPJ 01.785.629/0001-57

Reg no CREEA N° 22 475

POÇON° : STI09 PROF. : 81,00 m H./BOMB. : 24:00
 LOCAL : STI 09 N.E. : 13,50 m RECUPER. : 10,10 m, em 1:00
 MUNIC. : São João da Ponte - MG N.D. : 23,60 m AQUÍFERO : Fissural
 PROPRIET. : Fortaleza Sta Teresinha Agrop. VAZÃO : 163,97m³/h ROCHAS : Calcário

FOTO N°/ESCALA : FOTO INDICE N° :
 MAPAS/ESCALA :
 LOCAÇÃO :
 PERFURAÇÃO : Aguacenter Poços Artesianos Ltda
 SONDADOR : Itacir Braz Cortina
 PERFURATRIZ : Prominas R - 2H
 INÍCIO DA PERF. : 20.02.2015 FINAL DA PERF. : 20.02.2015

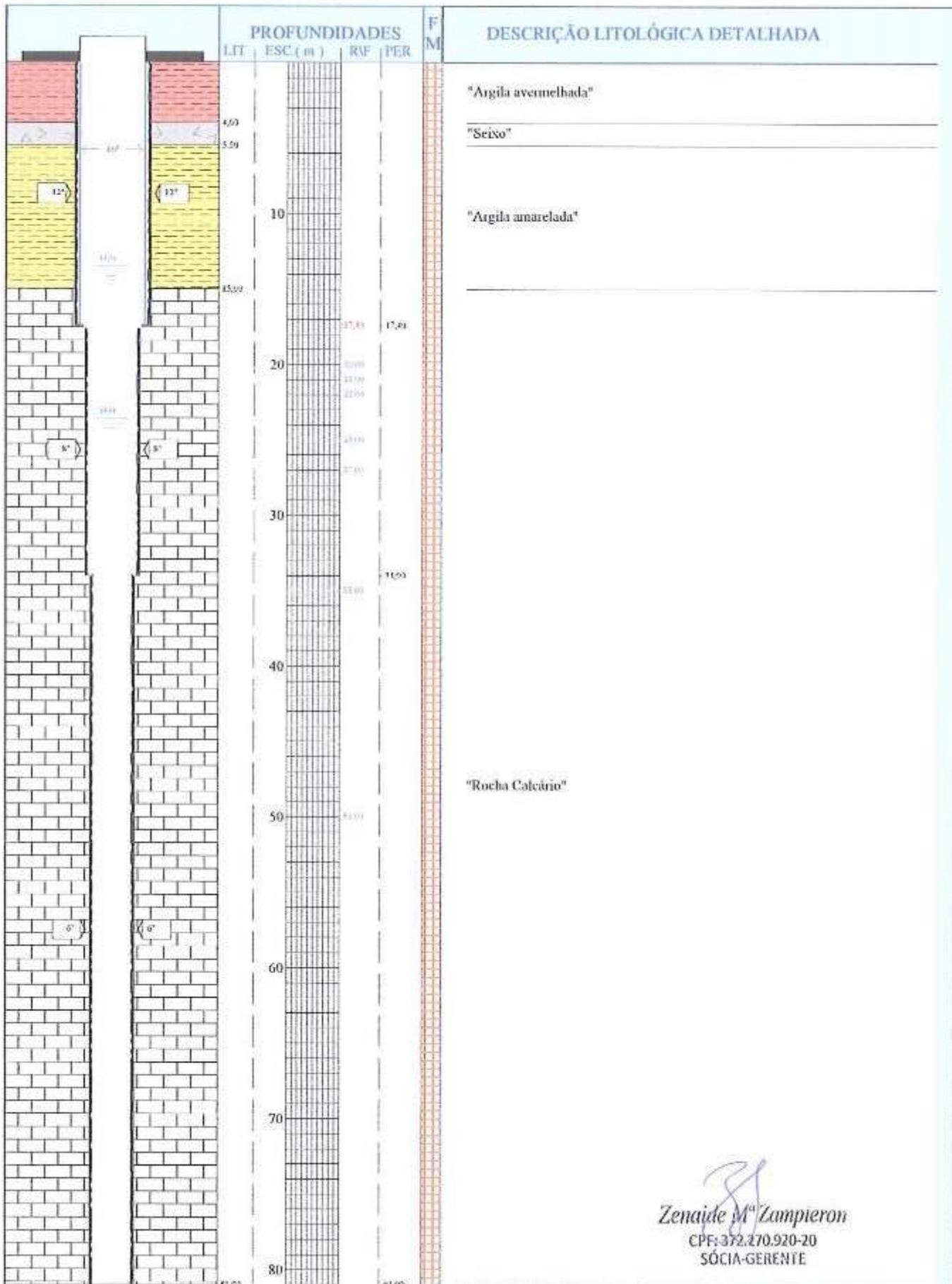
GEOG.	PERFURAÇÃO(m)		
	Ø	De	Até
X = 16°00'05.9"	12"	0,00	17,40
Y = 43°46'36.2"	8"	17,40	34,00
Z = 520,00 m	6"	34,00	81,00
HP = 0,60 m	-	-	-
FILTROS(m)		COMPLETAÇÃO(pol)	
Ø	Quant. (m)	Ø	De
		10"	0,00
		-	-
		-	-
		-	-

OBS : * Data da Perfuração: 20.02.2015
 * Entradas de água: aos 20, 21, 22, 25, 27, 35 e 50 metros.
 * Data do teste de bombeamento: 30.10.2016

Total=

EQUIPAMENTO INSTALADO

Zenilde M. Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE



LEGENDA
 □ > □ Perfuração — Nivel Estático
 < < > > Revestimento — Nivel Dinâmico
 ■■■■■■■■■■ Pre-filtros

Zenaida M. Lampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE

AGUACENTER - Poços Artesianos - Tel (38) 3223.6600
 Poço - SII09 Local - STI 09 - São João da Ponte - MG
 Obs: * Data da Perfuração: 20.02.2015



AGUACENTER *Poços Artesianos Ltda*

CNPJ. 01.785.829/0001-57

Reg no CREEA N° 22 475

POÇO N°	: STH10	PROF.	: 111.00 m	H./BOMB.	: 24:00
LOCAL	: STI 10	N.E.	: 21.55 m	RECUPER.	: 14.55 m, em 0:06
MUNIC.	: São João da Ponte - MG	N.D.	: 36.10 m	AQUÍFERO	: Fissural
PROPRIET.	: Fortaleza Sta Teresinha Agrop.	VAZÃO	: 84.16m³/h	ROCHAS	: Calcário

FOTO N° /ESCALA	:	FOTO INDICE N°	:
MAPAS /ESCALA	:		
LOCAÇÃO	:		
PERFURAÇÃO	:	Aguacenter Poços Artesianos Ltda	
SONDADOR	:	Itacir Braz Cortina	
PERFURATRIZ	:	Prominus R - 2H	
INICIO DA PERF.	:	13.08.2015	FINAL DA PERF. : 14.08.2015

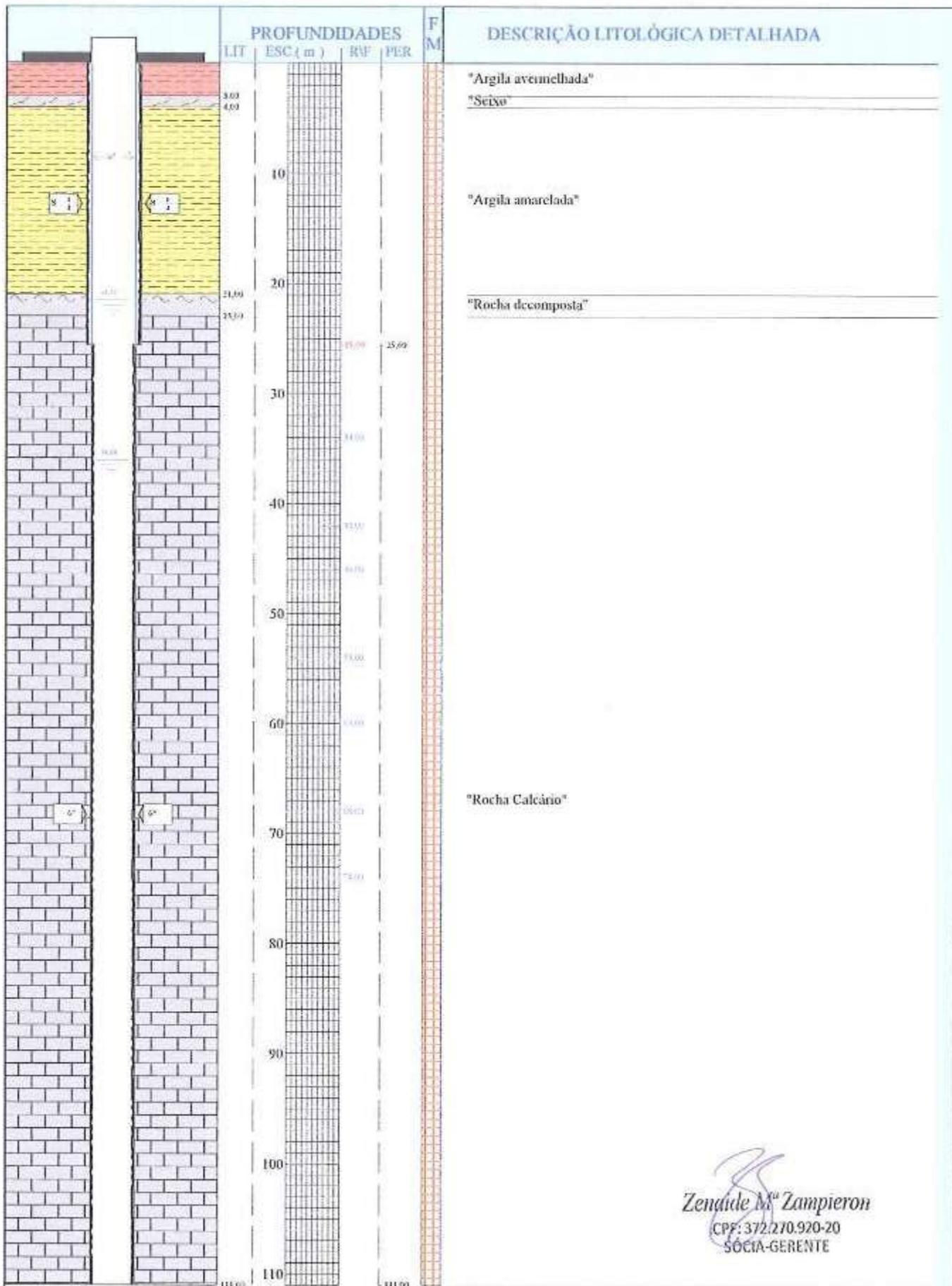
COORDENADAS.	PERFURAÇÃO(m)			
	GEOG.	Ø	De	Até
X = 15°58'41.4"	8" 1/2	0.00	25,60	
Y = 43°47'06.9"	6"	25,60	111,00	
Z =	-	-	-	
HP = 0.70 m	-	-	-	
FILTROS(m)		COMPLETAÇÃO(pol)		
Ø	Quant. (m)	Ø	De	Até
		6"	0.00	25,60
		-	-	-
		-	-	-
		-	-	-

OBS: * Data da Perfuração: 13 a 14.08.2015
 * Entradas de água: aos 34, 42, 46, 54, 60, 68 e 74 metros.
 * Data do teste de bombeamento: 04.11.2016

Total=

EQUIPAMENTO INSTALADO


 Zenaide M^ª Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE



LEGENDA
 □ → □ Perfuração
 ← → Revestimento
 ▨ Pre-filtros
 — Nivel Estático
 - - - Nivel Dinâmico

Zenilde M. Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE

AGUACENTER - Poços Artesianos - Tel (38) 3223.6600

Poço - ST110 Local - ST110 - São João da Ponte - MG

Obs: * Data da Perfuração: 13 a 14.08.2015

**AGUACENTER***Poços Artesianos Ltda*

CNPJ 01.785.629/0001-57

Reg no CREEA N° 22 475

POÇO N°	: ST111	PROF.	: 180,00 m	H./BOMB.	: 24:00
LOCAL	: Santa Mônica - ST111	N.E.	: 21,77 m	RECUPER.	: 1,23 m, em 01:20
MUNIC.	: São João da Ponte - MG	N.D.	: 23,66 m	AQUÍFERO	: Fissural
PROPRIET.	: Fortaleza Sta Terezinha	VAZÃO	: 240,72m³/h	ROCHAS	: Calcário

FOTO N° /ESCALA	:	FOTO INDICE N°	:
MAPAS / ESCALA	:		
LOCAÇÃO	:		
PERFURAÇÃO	:	Aguacenter Poços Artesianos Ltda	
SONDADOR	:	Itacir Braz Cortina	
PERFURATRIZ	:	Prominas R - 2H	
INÍCIO DA PERE.	: 04.02.2016	FINAL DA PERE.	: 06.02.2016

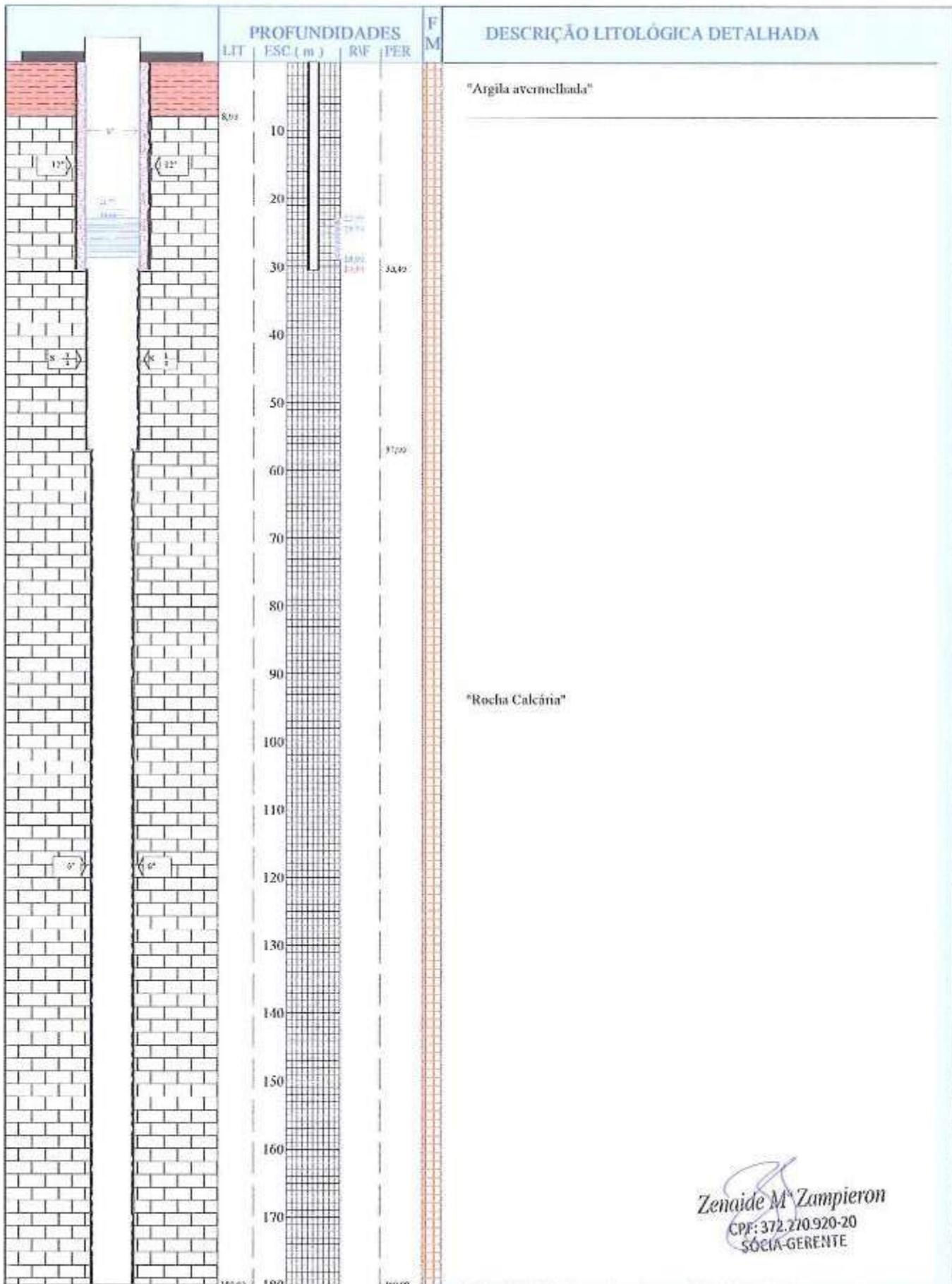
COORDENADAS. GEOG.	PERFURAÇÃO(m)			
	Ø	De	Até	
X = 15°58'28,6"	12"	0,00	30,40	
Y = 43°47'36,4"	8" 1/2	30,40	57,00	
Z = 539,00 m	6"	57,00	180,00	
BP = 0,60 m	-	-	-	
FILTROS(m)		COMPLETAÇÃO(pol)		
Ø	Quant. (m)	Ø	De	Até
8"	6,00	8"	0,00	30,40
		-	-	-
		-	-	-
		-	-	-

OBS : * Data da Perfuração: 04 à 06.02.2016
 * Data da Reabertura: 18 à 26.02.2016
 * Entradas de água: aos 24,50 à 29, 30, 96 e 118 metros.
 * Data do teste de bombeamento: 12.03.2016

Total= 6,00

EQUIPAMENTO INSTALADO

Zenaida M. Zampieron
 CPF: 372.210.920-20
 SÓCIA-GERENTE



LEGENDA

□ > < □ Perfuração — Nivel Estático
 ← > — Revestimento — Nivel Dinâmico
 — Cinzentação

Zenaide M. Zampieron
 CPF: 372.210.920-20
 SÓCIA-GERENTE

AGUACENTER - Poços Artesanais - Tel (38) 3223.6600
 Poço - SIII1 Local - Santa Mônica - STI 11 - São João da Ponte - MG
 Obs: * Data da Perfuração: 04 à 06.02.2016



AGUACENTER *Poços Artesianos Ltda*

CNPJ 01.785.629/0001-57

Reg no CREEA N° 22 475

POÇO N°	: ST112	PROF.	: 150,00 m	IL/BOMB.	: 24:00
LOCAL	: Santa Mônica - STI 12	N.E.	: 6,90 m	RECUPER.	: 25,70 m, em 0:55
MUNIC.	: São João da Ponte - MG	N.D.	: 77,83 m	AQUÍFERO	: Fissural
PROPRIET.	: Fortaleza Sta Terezinha	VAZÃO	: 71,48m³/h	ROCHAS	: Calcário

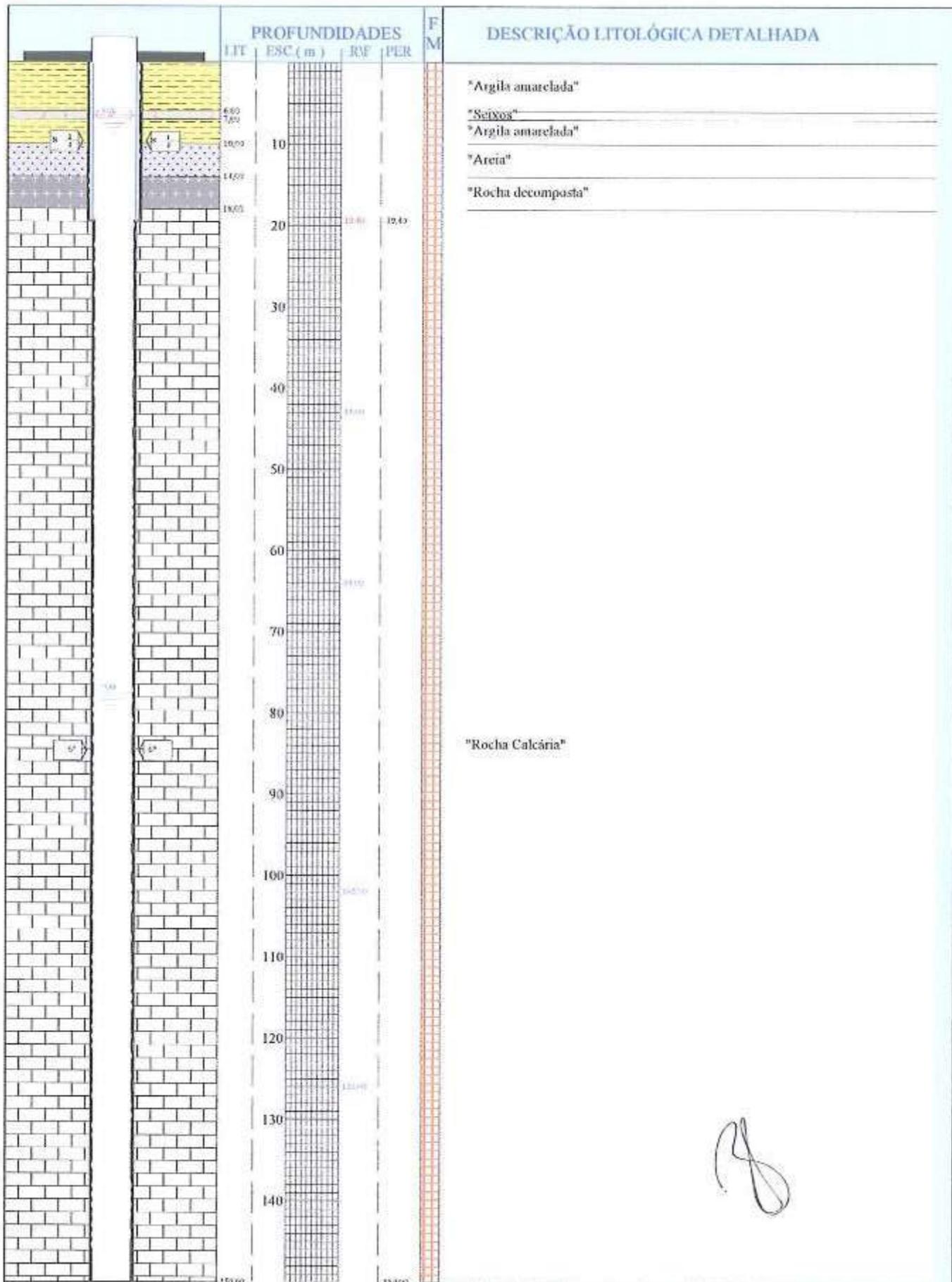
FOTO N°/ESCALA	:	FOTO ÍNDICE N°	:
MAPAS/ESCALA	:		
LOCAÇÃO	:		
PERFURAÇÃO	:	Aguacenter Poços Artesianos Ltda	
SONDADOR	:	Itacir Braz Cortina	
PERFURATRIZ	:	Prominas R - 2H	
INÍCIO DA PERF.	:	03.02.2016	FINAL DA PERF. : 04.02.2016

COORDENADAS. GEOG.	PERFURAÇÃO(m)			
	Ø	De	Até	
X = 15°58'22.0"	8" 1/2	0,00	19,40	
Y = 43°47'19.2"	6"	19,40	150,00	
Z = 533,00 m	-	-	-	
BP = 0,60 m	-	-	-	
FILTROS(m)		COMPLETAÇÃO(pol)		
Ø	Quant. (m)	Ø	De	Até
		6"	0,00	19,40
		-	-	-
		-	-	-
		-	-	-

OBS : * Data da Perfuração: 03 à 04.02.2016
 * Entradas de água: aos 43, 64, 102 e 126 metros.
 * Data do teste de bombeamento: 08.02.2016

Total=

EQUIPAMENTO INSTALADO



LEGENDA
 [] < [] Perfuração
 [] > [] Revestimento
 [] Pre-filtros
 [] Nível Estático
 [] Nível Dinâmico

AGUACENTER - Poços Artesianos - Tel (38) 3223.6600
 Poço - STI12 Local - Santa Mônica - STI 12 - São João da Ponte - MG
 Obs: * Data da Perfuração: 03 à 04.02.2016



AGUACENTER Poços Artesianos Ltda

CNPJ 01.785.629/0001-57

Reg no CREEA N° 22 475

POÇO N°	: ST113	PROF.	: 99,00 m	IL/BOMB.	: 24:00
LOCAL	: Santa Mônica - ST113	N.E.	: 5,40 m	RECUPER.	: 0,60 m, em 0:10
MUNIC.	: São João da Ponte - MG	N.D.	: 9,38 m	AQUÍFERO	: Fissural
PROPRIET.	: Fortaleza Santa Terezinha	VAZÃO	: 304,61 m³/h	ROCHAS	: Calcário

FOTO N° / ESCALA	:	FOTO ÍNDICE N°	:
MAPAS / ESCALA	:		
LOCAÇÃO	:		
PERFURAÇÃO	:	Aguacenter Poços Artesianos Ltda	
SONDADOR	:	Itacir Braz Cortina	
PERFURATRIZ	:	Prominas R - 2H	
INÍCIO DA PERF.	:	08.02.2016	FINAL DA PERF. : 10.02.2016

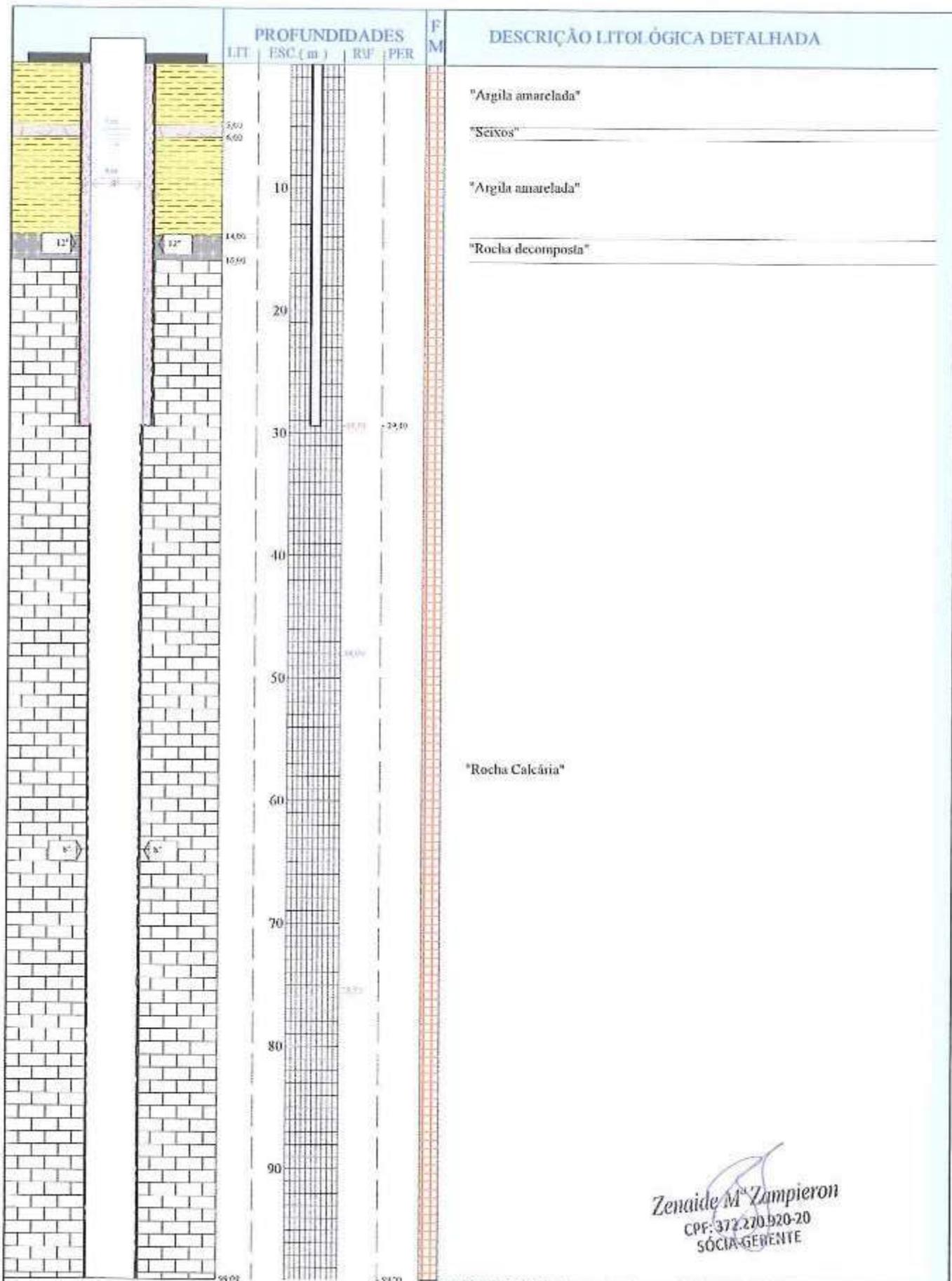
COORDENADAS. GEOG.	PERFURAÇÃO(m)		
	Ø	De	Até
X = 15°58'08.7"	12"	0,00	29,40
Y = 43°47'16.9"	8"	29,40	99,00
Z = 524,00 m	-	-	-
BP = 0,60 m	-	-	-
FILTROS(m)		COMPLETAÇÃO(pol)	
Ø	Quant. (m)	Ø	De
		8"	0,00
		-	-
		-	-
		-	-

OBS : * Data da Perfuração: 08 à 10.02.2016
 * Entradas de água: aos 28, 48 e 75,50 metros
 * Data do teste de bombeamento: 10.02.2016

Total=

EQUIPAMENTO INSTALADO

Zenilde M. Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE



LEGENDA
 [Symbol] Perfuração [Symbol] Nível Estático
 [Symbol] Revestimento [Symbol] Nível Dinâmico
 [Symbol] Cimentação

Zenaide M^{te} Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE

AGUACENTER - Poços Artesianos - Tel (38) 3223.6600
 Poço - ST113 Local - Santa Mônica - ST1 13 - São João da Ponte - MG
 Obs : * Data da Perfuração: 08 à 10.02.2016



AGUACENTER *Poços Artesianos Ltda*

CNPJ 01.785.629/0001-57

Reg no CREEA N° 22 475

POÇO N° : STM01 PROF. : 113,00 m H/BOMB. : 24:00
 LOCAL : STM 01 N.E. : 4,32 m RECUPER. : 30,45 m, em 2:00
 MUNIC. : São João da Ponte - MG N.D. : 38,45 m AQUÍFERO : Fissural
 PROPRIET. : Fortaleza Sta Teresinha Agrop. VAZÃO : 96,82m³/h ROCHAS : Calcário

FOTO N° /ESCALA : FOTO INDICE N° :
 MAPAS /ESCALA :
 LOCAÇÃO :
 PERFURAÇÃO : Aguacenter Poços Artesianos Ltda
 SONDADOR : Itacir Braz Cortina
 PERFURATRIZ : Prominas R - 2H
 INICIO DA PERE. : 10.10.2013 FINAL DA PERE. : 11.10.2013

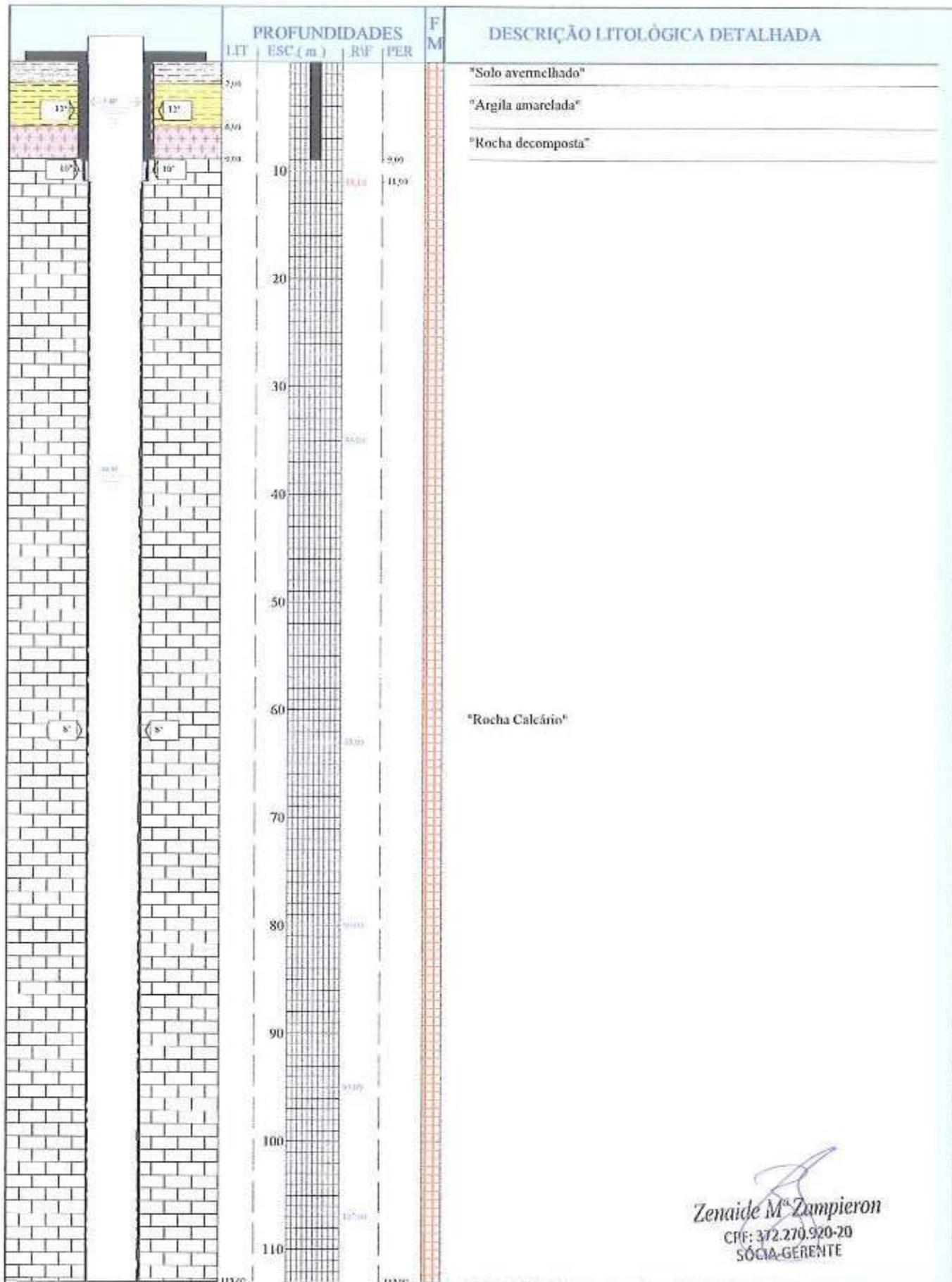
OBS : * Data da Perfuração: 10 a 11.10.2013
 * Entradas de água: aos 35, 63, 80, 95 e 107 metros.
 * Data do teste de bombeamento: 08.05.2014

COORDENADAS, GEOG.	PERFURAÇÃO(m)			
	Ø	De	Até	
X =16°00'27.5"	12"	0,00	9,00	
Y =43°45'28.1"	10"	9,00	11,00	
Z =516,00 m	8"	11,00	113,00	
BP=0,60 m	-	-	-	
FILTROS(m)		COMPLETAÇÃO(pol)		
Ø	Quant. (m)	Ø	De	Até
		8"	0,00	11,10
		-	-	-
		-	-	-
		-	-	-

Total=

EQUIPAMENTO INSTALADO

Zenilde M. Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE



LEGENDA
 □ < □ Perforação — Nível Estático
 ← → Revestimento — Nível Dinâmico
 — Cimentação

AGUACENTER - Poços Artesianos - Tel (38) 3223.6600
 Poço - STM01 Local - STM 01 - São João da Ponte - MG
 Obs: * Data da Perforação. 10 a 11.10.2013

Zenaide M^ª Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE

STM02


AGUACENTER *Poços Artesianos Ltda*

CNPJ 01.785.629/0001-57

Reg no CREEA N° 22 475

POÇON° : BENG01 **PROF.** : 120,00 m **H./BOMB.** :
LOCAL : Pço Baixo Braço 01 Sta Monica **N.E.** : 3,00 m **RECUPER.** :
MUNIC. : São João da Ponte **N.D.** : m **AQUÍFERO** : Fissural
PROPRIET. : A.R.G Ltda **VAZÃO** : 30,00m³/h **ROCHAS** : Calcário

STM-

FOTO N°/ESCALA : **FOTO INDICE N°** :
MAPAS/ESCALA :
LOCAÇÃO :
PERFURAÇÃO : Aguacenter Poços Artesianos
SONDADOR : Haxir Braz Cortina
PERFURATRIZ : Prominas R-JH
INICIO DA PERF. : 10.09.2013 **FINAL DA PERF.** : 11.09.2013

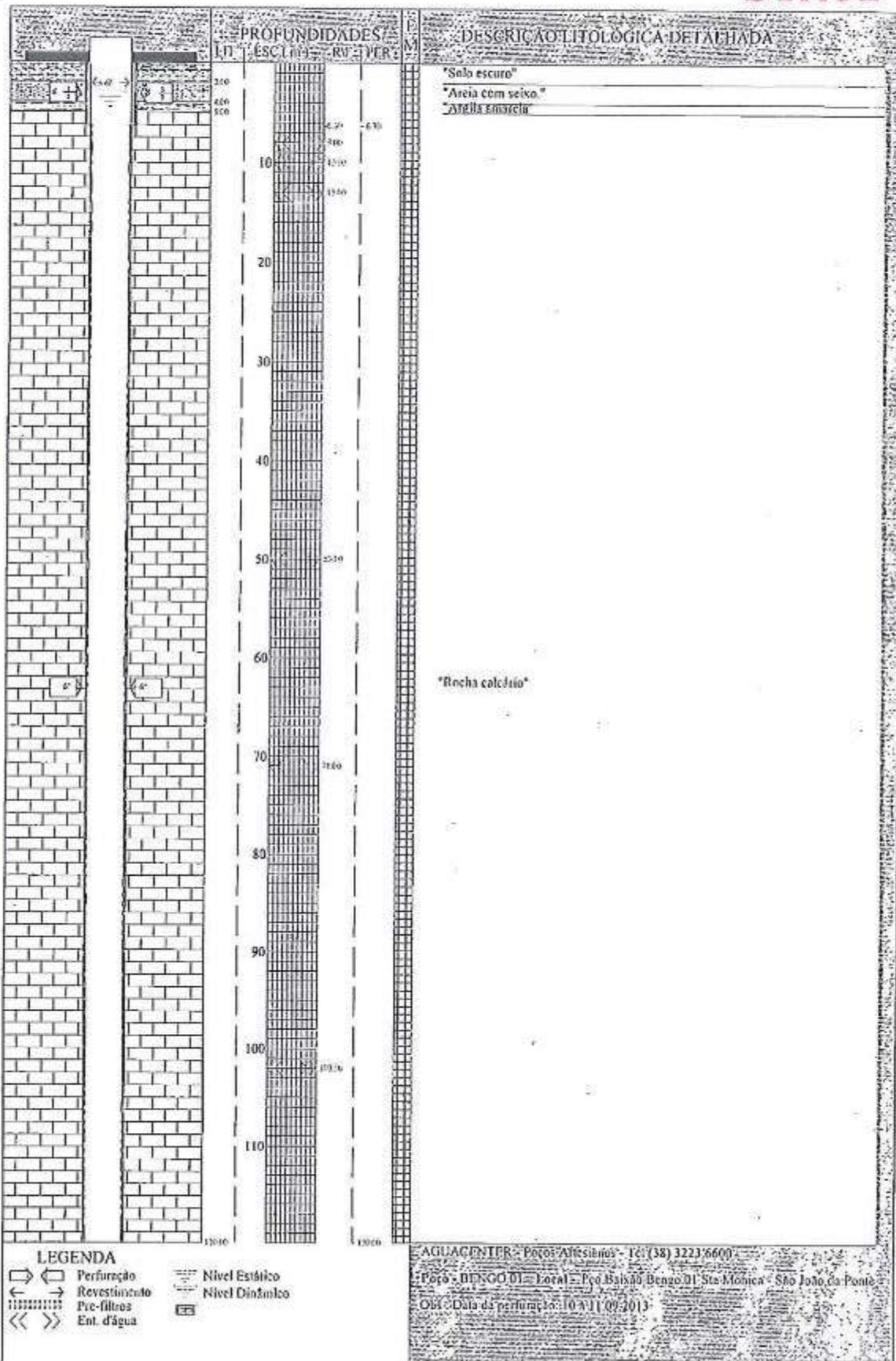
GEOG.	PERFURAÇÃO(m)		
	Ø	De	Até
X -16°00'37.2"	8"1/2	0,00	6,30
Y -43°45'26.9"	6"	6,30	120,00
Z =508,00 m	-	-	-
BP =1,00 m	-	-	-
FILTROS(m)		COMPLETAÇÃO(pol)	
Ø	Quant. (m)	Ø	De
		6"	0,00
		-	-
		-	-
		-	-

OBS: Data da perfuração: 10 à 11.09.2013
 *Entradas de água: nos 8, 10, 13, 50, 71 e 102 m

Total=
EQUIPAMENTO INSTALADO

STM-

STM02



**AGUACENTER***Poços Artesianos Ltda*

CNPJ 01.785.629/0001-57

Reg no CREEA N° 22 475

POÇO N° : STM03 PROF. : 120.00 m H./BOMB. : 24:00
 LOCAL : STM 03 N.E. : 9.20 m RECUPER. :
 MUNIC. : São João da Ponte - MG N.D. : 47.21 m AQUIFERO : Fissural
 PROPRIET. : Fortaleza Sta Teresinha Agrop. VAZÃO : 75.00m³/h ROCHAS : Calcário

FOTO N°/ESCALA : FOTO INDICE N° :
 MAPAS/ESCALA :
 LOCAÇÃO :
 PERFURAÇÃO : Aguacenter Poços Artesianos Ltda
 SONDADOR : Itacir Braz Cortina
 PERFURATRIZ : Prominas R - 2H
 INICIO DA PERF. : 12.09.2013 FINAL DA PERF. : 14.09.2013

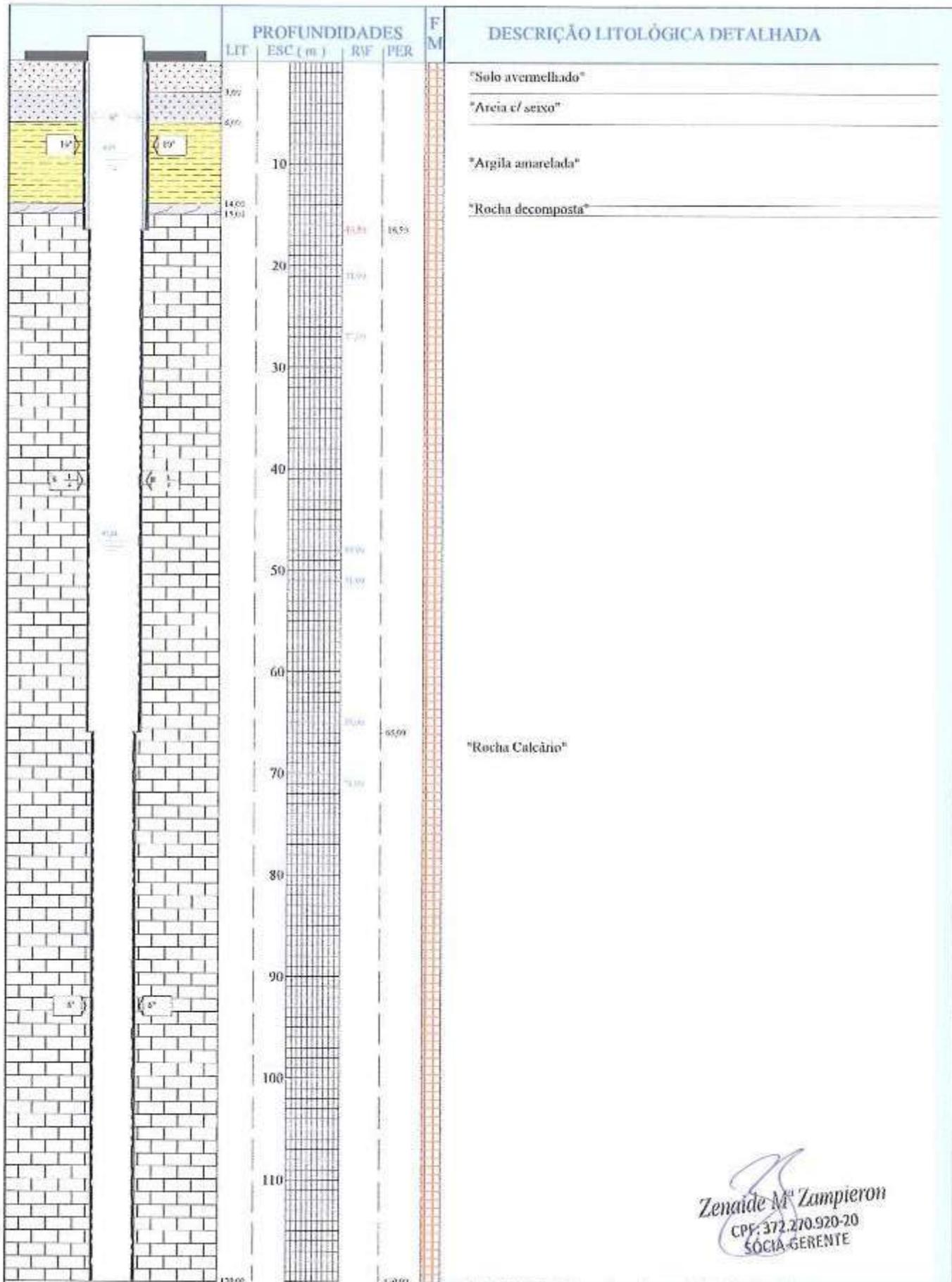
OBS : * Data da Perfuração: 12 a 14.09.2013
 * Entradas de água: aos 21, 27, 48, 51, 65 e 71 metros.
 * Data do teste de bombeamento: 07.11.2016

GEOG.	PERFURAÇÃO(m)		
	O	De	Até
X = 16°00'44.5"	10"	0,00	16,50
Y = 43°44'58.5"	8" 1/2	16,50	66,00
Z =	6"	66,00	120,00
BP = 0.50 m	-	-	-
FILTROS(m)		COMPLETAÇÃO(pol)	
O	Quant. (m)	O	De Até
		8"	0,00 16,50
		-	- -
		-	- -
		-	- -

Total=

EQUIPAMENTO INSTALADO

Zenaide M^{te} Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE



LEGENDA
 [Symbol] Perturação [Symbol] Nível Estático
 [Symbol] Revestimento [Symbol] Nível Dinâmico
 [Symbol] Pre-filtros

Zenaide M. Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE

AGUACENTER - Poços Artesianos - Tel (38) 3223.6600
 Poço - STM03 Local - STM 03 - São João da Ponte - MG
 Obs: * Data da Perfuração: 12 a 14/09/2013



AGUACENTER Poços Artesianos Ltda

CNPJ 01.785.629/0001-57

Reg no CREEA N° 22 475

POÇO N° : STM04 PROF. : 110,00 m IL/BOMB. : 24:00
 LOCAL : STM 04 N.E. : 16,41 m RECUPER. : 41,24 m, em 0:14
 MUNIC. : São João da Ponte - MG N.D. : 57,65 m AQUÍFERO : Fissural
 PROPRIET. : Fortaleza Sta Teresinha Agrop. VAZÃO : 49,59m³/h ROCHAS : Calcário

FOTO N° / ESCALA : FOTO INDICE N° :
 MAPAS / ESCALA :
 LOCAÇÃO :
 PERFURAÇÃO : Aguacenter Poços Artesianos Ltda
 SONDADOR : Itacir Braz Cortina
 PERFURATRIZ : Prominas R - 2H
 INICIO DA PERE. : 11.09.2013 FINAL DA PERE. : 12.09.2013

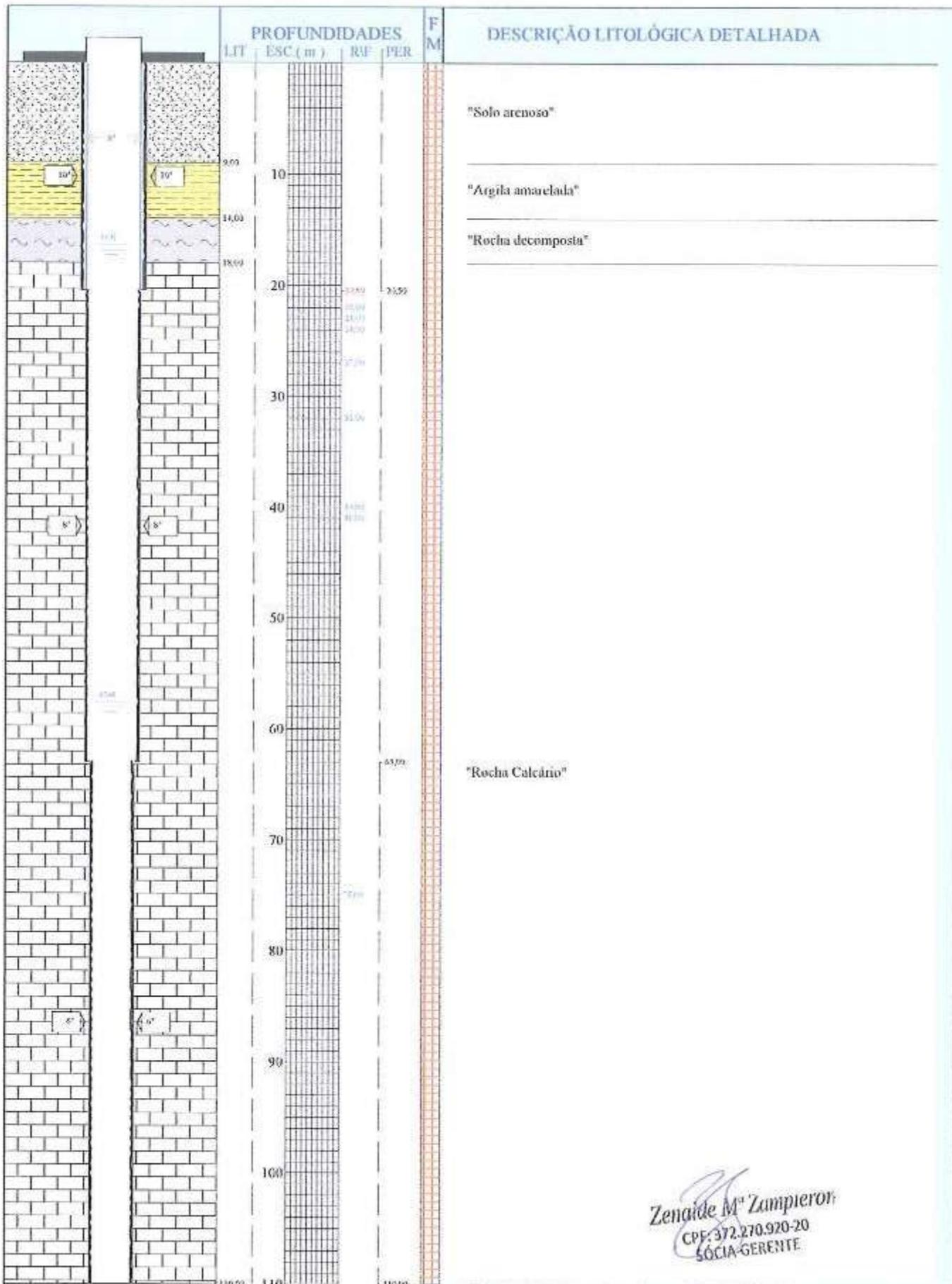
COORDENADAS. GEOG.	PERFURAÇÃO(m)		
	Ø	De	Até
X = 16°00'22.6"	10"	0,00	20,50
Y = 43°44'57.2"	8"	20,50	63,00
Z =	6"	63,00	110,00
BP = 0,60 m	-	-	-
FILTROS(m)		COMPLETAÇÃO(pol)	
Ø	Quant. (m)	Ø	De
		8"	0,00
		-	-
		-	-
		-	-

OBS : * Data da Perfuração: 11 a 12.09.2013
 * Entradas de água: aos 22, 23, 24, 27, 32, 40, 41 e 75 metros.
 * Data do teste de bombeamento: 01.11.2016

Total=

EQUIPAMENTO INSTALADO

Zenaiide M^{te} Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE



LEGENDA
 □ > < Perfuração
 ← → Revestimento
 ▨ Pre-filtros
 — Nivel Estático
 - - - Nivel Dinâmico

Zenilde M^a Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE

AGUACENTER - Poços Artesianos - Tel (38) 3223.6600
 Poço - STM04 Local - STM 04 - São João da Ponte - MG
 Obs: * Data da Perfuração: 11 a 12.09.2013

STM05


AGUACENTER *Poços Artesianos Ltda*

CNPJ 01.785.629/0001-57

Reg no CREEA N° 22 475

STM-
 POÇO N° : PAUPRETO PROF. : 120,00 m IL/BOMB. :
 LOCAL : Pço Pau Preto - Fz. Sta Monica N.E. : 4,00 m RECUPER. :
 MUNIC. : São João da Ponte N.D. : m AQUÍFERO : Fissural
 PROPRIET. : A.R.G Ltda VAZÃO : 70,00m³/d ROCHAS : Calcário

FOTO N°/ESCALA : FOTO INDICE N° :
 MAPAS/ESCALA :
 LOCAÇÃO :
 PERFURAÇÃO : Aguacenter Poços Artesianos
 SONDADOR : Itacir Braz Cortina
 PERFURATRIZ : Prominas R-III
 INICIO DA PERE. : 12.09.2013 FINAL DA PERF. : 14.09.2013

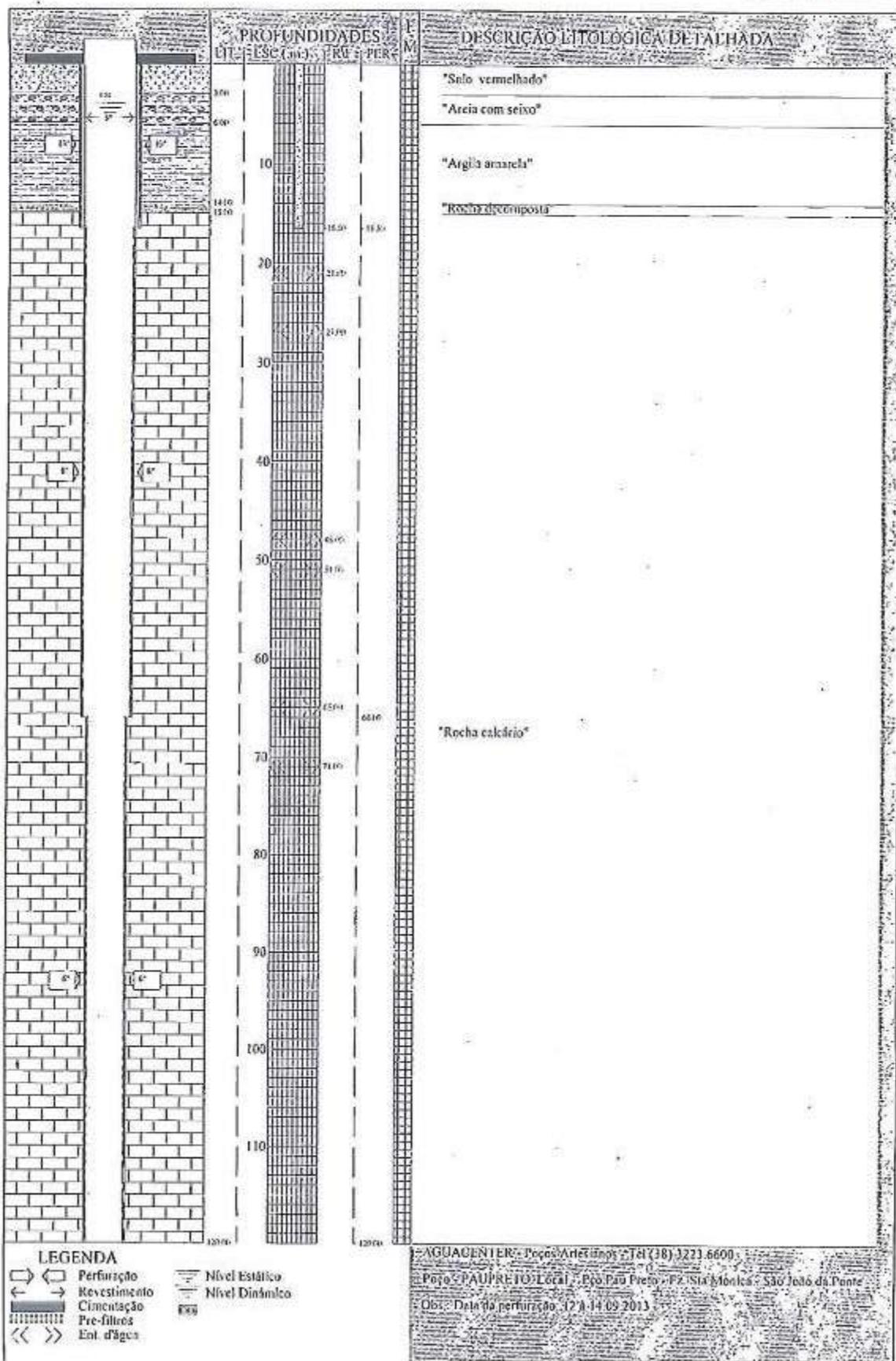
COORDENADAS GEOG.	PERFURAÇÃO(m)		
	Ø	De	Até
X -16°00'44,2"	10"	0,00	16,50
Y -43°41'58,4"	8"	16,50	66,00
Z -520,00 m	6"	66,00	120,00
BP -0,50 m	-	-	-
FILTROS(m)		COMPLETAÇÃO(pol)	
Ø	Quant. (m)	Ø	De Até
		8"	0,00 16,50
		-	-
		-	-
		-	-

OBS : Data da perfuração: 12 à 14.09.2013
 *Entradas de água: nos 21, 27, 48, 51, 65 e 71m

Total=

EQUIPAMENTO INSTALADO

STM05





AGUACENTER *Poços Artesianos Ltda*

CNPJ 01.785.629/0001-57

Reg no CREEA N° 22 475

POÇO N°	: STM06	PROF.	: 120,00 m	H./BOMB.	: 24:00
LOCAL	: STM 06	N.E.	: 31,87 m	RECUPER.	: 0,00 m, em 0:01
MUNIC.	: São João da Ponte - MG	N.D.	: 31,87 m	AQUÍFERO	: Fissural
PROPRIET.	: Fortaleza Sta Teresinha Agrop.	VAZÃO	: 9,67m³/h	ROCHAS	: Calcário

FOTO N° / ESCALA	:	FOTO INDICE N°	:
MAPAS / ESCALA	:		
LOCAÇÃO	:		
PERFURAÇÃO	:	Aguacenter Poços Artesianos Ltda	
SONDADOR	:	Itacir Braz Cortina	
PERFURATRIZ	:	Prominas R - 2H	
INÍCIO DA PERF.	:	09.09.2013	FINAL DA PERF. : 10.09.2013

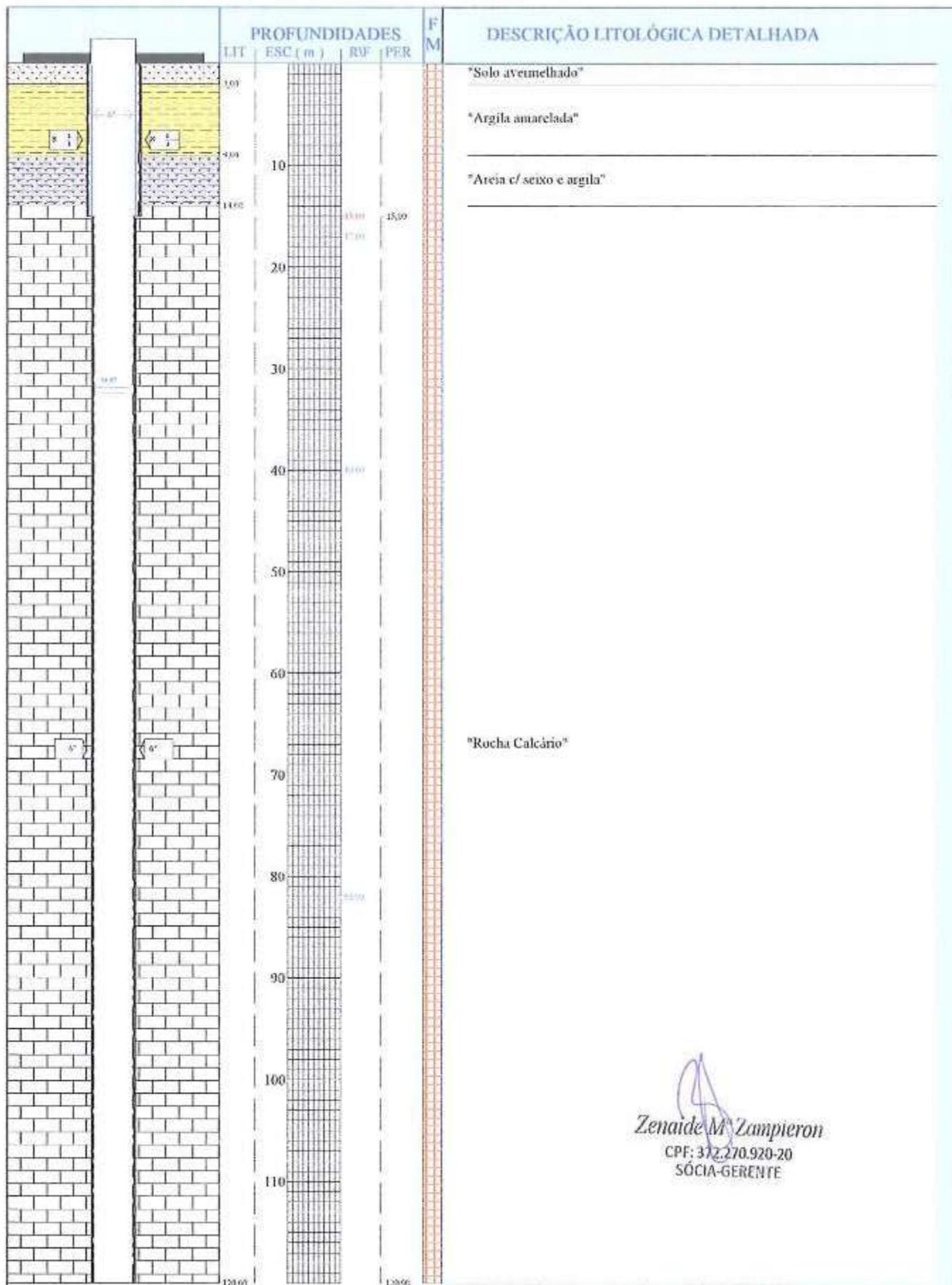
OBS : * Data da Perfuração: 09 a 10.09.2013
 * Entradas de água: aos 17, 40 e 82 metros
 * Data do teste de bombeamento: 01.11.2016

COORDENADAS, GEOG.	PERFURAÇÃO(m)		
	O	De	Até
X = 16°01'28.9"	8" 1/2	0,00	15,00
Y = 43°45'27.0"	6"	15,00	120,00
Z =	-	-	-
BP=0,70 m	-	-	-
FILTROS(m)		COMPLETAÇÃO(pol)	
O	Quant. (m)	O	De
		6"	0,00
		-	-
		-	-
		-	-

Total=

EQUIPAMENTO INSTALADO

Zenaide M^a Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE



LEGENDA

- | | | | |
|--|--------------|--|----------------|
| | Perfuração | | Nível Estático |
| | Revestimento | | Nível Dinâmico |
| | Pre-filtros | | |

Zenaide M. Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SÓCIA-GERENTE

AGUACENTER - Poços Artesianos - Tel (38) 3223.6600

Poço - SIM06 Local - STM 06 - São João da Ponte - MG

Obs : * Data da Perfuração: 09 a 10.09.2013



AGUACENTER Poços Artesianos Ltda

CNPJ 01.785.629/0001-57

Reg no CREEA N° 22 475

POÇON° : STM07 PROF. : 123,00 m H./BOMB. : 24,00
 LOCAL : STM 07 N.E. : 35,14 m RECUPER. : 23,85 m, cm 0:25
 MUNIC. : São João da Ponte - MG N.D. : 52,90 m AQUÍFERO : Fissural
 PROPRIET. : Fortaleza Sta Teresinha Agrop. VAZÃO : 5,02m³/h ROCHAS : Calcário

FOTO N° /ESCALA : FOTO INDICE N° :
 MAPAS / ESCALA :
 LOCAÇÃO :
 PERFURAÇÃO : Aguacenter Poços Artesianos Ltda
 SONDADOR : Itacir Braz Cortina
 PERFURATRIZ : Prominas R - 2H
 INICIO DA PERF. : 21.11.2013 FINAL DA PERF. : 22.11.2013

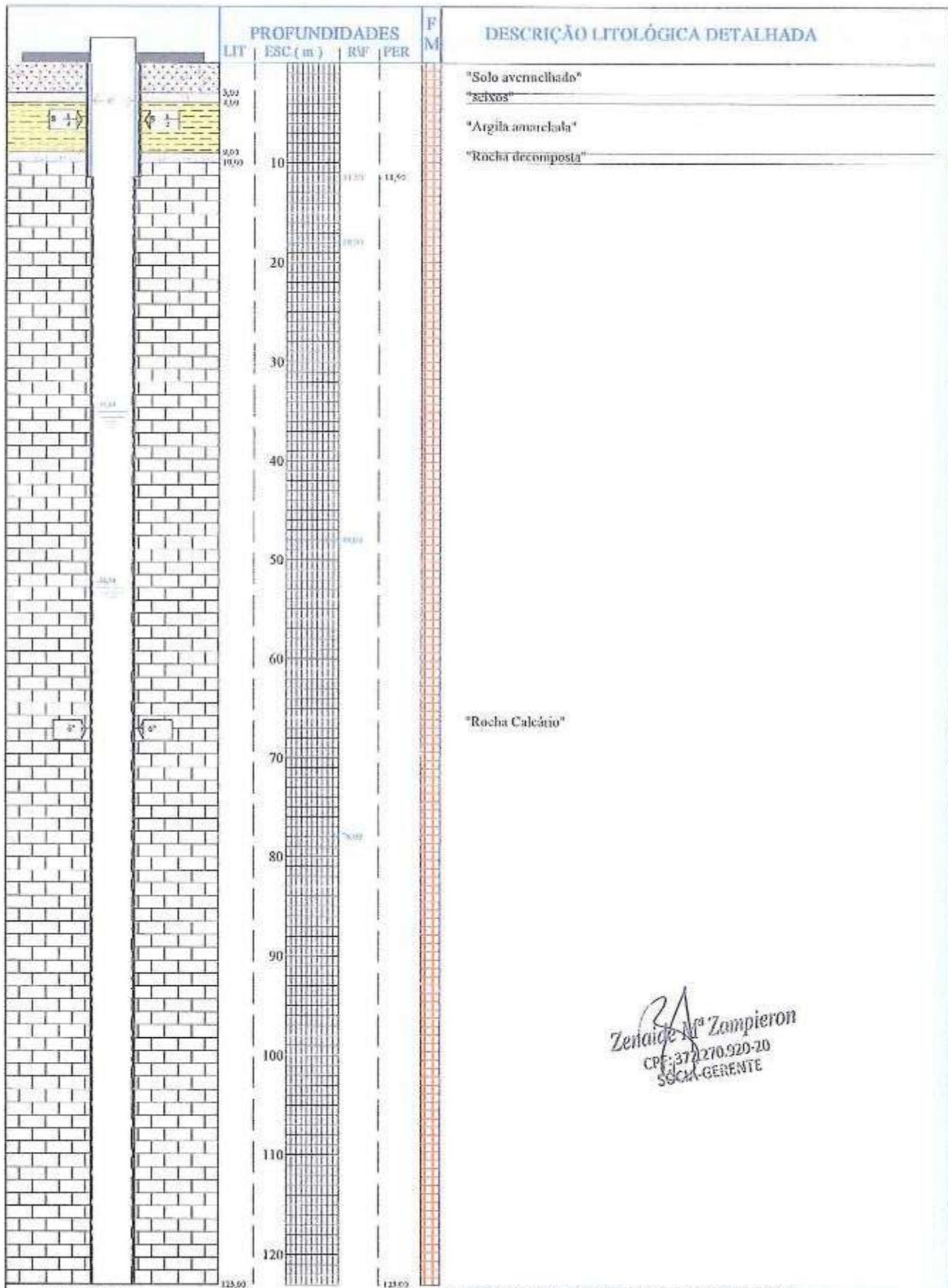
OBS : * Data da Perfuração: 21 a 22.11.2013
 * Entradas de água: aos 18, 48 e 78 metros
 * Data do teste de bombeamento: 02.11.2016

COORDENADAS.		PERFURAÇÃO(m)		
GEOG.		Ø	De	Até
X =	16°00'18.7"	8" 1/2	0,00	11,50
Y =	43°44'53.0"	6"	11,50	123,00
Z =	"	-	-	-
BP =	0,50 m	-	-	-
FILTROS(m)		COMPLETAÇÃO(pol)		
Ø	Quant. (m)	Ø	De	Até
		6"	0,00	11,50
		-	-	-
		-	-	-
		-	-	-

Total=

EQUIPAMENTO INSTALADO

Zenilde Mª Zampieron
 CPF: 272.270.920-20
 SOCIA-GERENTE



Zenaida M^a Zampieron
 CPF: 372.270.920-20
 SCSA GERENTE

LEGENDA

Perfuração
 Revestimento
 Pre-filtros
 Nível Estático
 Nível Dinâmico

AGUACENTER - Poços Artesianos - Tel (38) 3223.6600
 Poço - STM07 Local - STM 07 - São João da Ponte - MG
 Obs: * Data da Perfuração: 21 a 22.11.2013

APÊNDICE – Artigo

Comportamento hidráulico do aquífero cárstico Lagoa do Jacaré e sua relação hidráulica com o Rio Verde Grande, norte de Minas Gerais

Mateus De Filippo ¹ · Paulo Galvão ¹

RESUMO

A bacia do rio Verde Grande, assim como outras na região norte de Minas Gerais, passa por episódios de escassez hídrica. No município de São João da Ponte, há um megaempreendimento do setor agropecuário, cujo abastecimento e irrigação é realizado pela exploração de água subterrânea via bateria de poços tubulares. Ainda que o recurso hídrico superficial local seja escasso, a bateria explora o Aquífero Cárstico Lagoa do Jacaré, de grande potencial hídrico. Assim, foi feito um estudo hidrogeológico na área para avaliar a sustentabilidade da exploração no que se refere a potenciais impactos no rio Verde Grande, principal rio da região, e foco de conflitos hídricos. As questões levantadas são: qual o comportamento do aquífero cárstico frente à exploração de água subterrânea? Existe conexão hidráulica local entre o aquífero cárstico e o rio Verde Grande? Para tal, foram avaliados, entre outubro de 2017 e junho de 2019, dados mensais de produção de poços, de monitoramento dos recursos hídricos e de ensaios de bombeamento, entre outros. Os resultados indicam um comportamento resiliente do aquífero cárstico frente à exploração de água subterrânea pela bateria de poços e a ausência de conexão hidráulica direta com o Rio Verde Grande na área, contrariando a hipótese de existência de impacto na disponibilidade hídrica desse rio decorrente de superexploração localizada de água subterrânea.

Palavras-chave: Hidrogeologia, aquífero cárstico, bateria de poços, conexão hidráulica.

¹ Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, CPMTG-IGC.

Hydraulic behavior of the Lagoa do Jacaré karst aquifer and its hydraulic relationship with the Verde Grande river, north of Minas Gerais

ABSTRACT

The Verde Grande watershed, as others in the northern region of Minas Gerais, goes through episodes of water scarcity. In the municipality of São João da Ponte, there is an agricultural mega-enterprise, whose water supply and irrigation are carried out by the exploitation of groundwater via a set of tubular wells. The local surface water resource is restricted; thus, the tubular wells exploit the Lagoa do Jacaré Karstic Aquifer, with high water potential. In this study, a hydrogeological study was carried out in the area to assess the sustainability of the exploitation in terms of potential impacts on the Verde Grande river, the main river in the region, a focus of water conflicts. The questions raised are: what is the karst aquifer behavior in relation to groundwater exploitation? Is there a local hydraulic connection between karst aquifer and Verde Grande river? To this end, between October 2017 and June 2019, monthly data on wells production, monitoring of water resources, and pumping tests, among other methods. The results indicate a resilient behavior of the karst aquifer against the groundwater exploitation by the set of wells, and the absence of direct hydraulic connection with the Verde Grande river in the area, contradicting the hypothesis of an impact on the water availability of this river due to localized overexploitation of groundwater.

Keywords: Hydrogeology, karst aquifer, set of wells, hydraulic connection.

1. INTRODUÇÃO

Aquíferos cársticos são conhecidos pela anisotropia, heterogeneidade e grande potencial hídrico associados às discontinuidades geradas pela dissolução de rochas carbonáticas, como também em planos de falhas e fraturas (porosidade terciária). Por esse motivo, apresentam ampla variabilidade de parâmetros hidráulicos, com diferenças de muitas ordens de magnitude, a depender da característica da rocha, tipo de porosidade, direção de fluxo ou escala de avaliação (Ford e Williams, 2007).

Outra característica marcante de aquíferos cársticos é a complexidade da relação hidráulica com corpos hídricos superficiais, cujo fluxo de água subterrânea pode ocorrer em diferentes condições de porosidade (granular, fraturas ou condutos), onde o aquífero pode se comportar de maneira influente, efluente ou mesmo independente, desconectado de corpos hídricos da área (Feitosa et al. 2008). O conhecimento dessa relação é de suma importância, sobretudo, em situações em que há grande exploração de água em aquífero cárstico, associado à escassez hídrica superficial ou conflito pelo uso de água (Goldscheider e Drew, 2007).

Estudos semelhantes, sobre conexão hidráulica de corpos hídricos superficiais com aquíferos cársticos associados aos calcários do Grupo Bambuí em Minas Gerais, podem ser citados, como Tavares (2020) e Alves et. al (2021), que estudaram a relação entre aquíferos cársticos e redução do volume d'água em lagoas, respectivamente, no Parque Estadual do Sumidouro e Sete Lagoas. Ambos os estudos indicaram que o aumento da demanda hídrica subterrânea impacta diretamente na dinâmica hidráulica entre o aquífero e as lagoas, reduzindo o volume d'água e, conseqüentemente, o espelho das lagoas.

A bacia do rio Verde Grande, assim como outras na região norte de Minas Gerais, vem passando por episódios de racionamento e conflitos pelo uso da água. Há uma demanda de abastecimento hídrico que, predominantemente, supera a oferta de

água superficial em grande parte da bacia, assim como uma demanda maior de abastecimento por água subterrânea. Foi elaborado, pela ANA (2018), uma atualização do Marco Regulatório do rio Verde Grande visando uma regulação mais restritiva das captações outorgadas na bacia, frente ao cenário de conflito hídrico instalado.

Nesse contexto, há um megaempreendimento do setor agropecuário, cujo suprimento de água para abastecimento e irrigação é garantido principalmente pela exploração de água subterrânea em uma bateria de poços tubulares. Ainda que o recurso hídrico superficial seja escasso, a bateria explora um aquífero cárstico bem desenvolvido nos calcários da Formação Lagoa do Jacaré (Grupo Bambuí), de grande potencial hídrico, atestada por altas vazões dos poços.

Algumas questões foram levantadas: qual o comportamento do aquífero cárstico frente à exploração de água subterrânea via bateria de poços? Existe conexão hidráulica local entre esse aquífero e o rio Verde Grande? Para tal, foram avaliados dados sobre produção da bateria de poços e monitoramento dos recursos hídricos, de ensaios de bombeamento para estimar parâmetros hidráulicos do aquífero, elaborados o balanço hídrico e superfícies potenciométricas, bem como o levantamento topográfico da calha do rio Verde Grande e a elaboração de perfis hidrogeológicos para melhor entender a conexão entre aquífero e o rio.

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se em região rural no município de São João da Ponte, norte de Minas Gerais, distante 120 km de Montes Claros, distante de ocupações urbanas. Nessa região, há um grande empreendimento do setor agropecuário, denominado Fazenda Santa Mônica (Figura 1), cujo suprimento de água para

abastecimento e irrigação é obtido principalmente pela exploração de água subterrânea por meio de uma bateria de poços tubulares.

Geologicamente, a região está na porção centro sul do Cráton do São Francisco (Figura 2), composta por rochas pré-cambrianas, sobrepostas por coberturas fanerozoicas. O Grupo Bambuí, que recobre a região, é constituído por rochas sedimentares siliciclásticas e carbonáticas, depositadas em ambiente de plataforma marinha epicontinental, sendo, regionalmente, dividido em cinco formações, da base para o topo (Dardene, 1978; Iglesias e Uhlein, 2009): 1) Sete Lagoas, 2) Serra de Santa Helena, 3) Lagoa do Jacaré, 4) Serra da Saudade e 5) Três Marias.

Com base em mapas geológicos regional (CODEMIG e UFMG, 2015) e local (MDGEO, 2017a), são individualizadas três unidades geológicas (Figura 2):

1) Calcários, calcarenitos e pelitos da Formação Lagoa do Jacaré: coloração cinza a preto, aflorando ao longo da calha e da planície de inundação do riacho Salobro como blocos ou lajes e em maciços rochosos na região oeste da fazenda, onde se explorava uma pedreira de calcário no passado.

2) Coberturas detríticas-lateríticos: constituídos por material argilo-arenoso de coloração avermelhada, decorrentes da decomposição de calcários. Com base em perfis litológicos de poços, as espessuras variam entre 5 e 30 m (MDGEO, 2017b).

3) Sedimentos aluvionares: material mal selecionado composto por bancos métricos de areia branca e/ou amarelada, intercalados por estratos argilo-arenosos, cascalho e seixos de quartzo arredondados. A espessura foi estimada em, no mínimo, 8 m, ao longo da planície de inundação do rio Verde Grande (MDGEO, 2017a).

Climatologicamente, a região está na Zona Tropical Brasil Central, de umidade do tipo semiárido e temperatura média superior a 18°C (IBGE, 2019). Conforme classificação de Köppen, o clima é do tipo tropical, com estação seca de inverno, sendo que dentre os subtipos dessa categoria climática, destaca-se na área o clima

semiárido com baixa precipitação de chuvas, podendo haver períodos de estiagem que se prolongam por muitos meses, não sendo suficientes para recarga completa dos aquíferos (CODEMIG & UFMG, 2015). A média pluviométrica plurianual é de 1012 mm, sendo 93% (941 mm), concentrado no período chuvoso, o que evidencia os períodos secos de pouquíssimas chuvas na região.

No contexto hidrográfico, a área está na sub-bacia do riacho Salobro (525 km²), no baixo curso, próximo à foz com o rio Verde Grande, principal corpo hídrico da região (Figura 1) e afluente da margem direita do rio São Francisco. O riacho Salobro é um curso d'água intermitente, ficando localmente seco em grande parte do ano, influenciado principalmente por questões climáticas (clima semiárido e distribuição de chuvas), geológicas (região cárstica com presença de sumidouros) e antrópicas (barragem para captação de água no distrito de Tamboril, a montante da área), assim como potencial influência de captações por poços ao longo do seu leito, inclusive na própria fazenda. O rio Verde Grande é um dos principais rios da região norte de MG, percorrendo uma extensa área, desde o entorno de Montes Claros, até sua confluência com o rio Verde Pequeno, na fronteira com a Bahia e, em seguida, desaguando na margem direita do rio São Francisco, em Matias Cardoso.

Geomorfologicamente, o relevo é tipicamente cárstico, com estruturas de dissolução, como dolinas, sumidouros e lapiás, que configuram a porção externa do relevo cárstico (exocarste), assim como condutos, cavernas e estruturas de dissolução causadas pela circulação de água subterrânea (endocarste). O solo da região, classificado como latossolo vermelho ou amarelo (IBGE & EMBRAPA 2001), está associado à alteração intempérica dos calcários ou das coberturas detrítico-lateríticas.

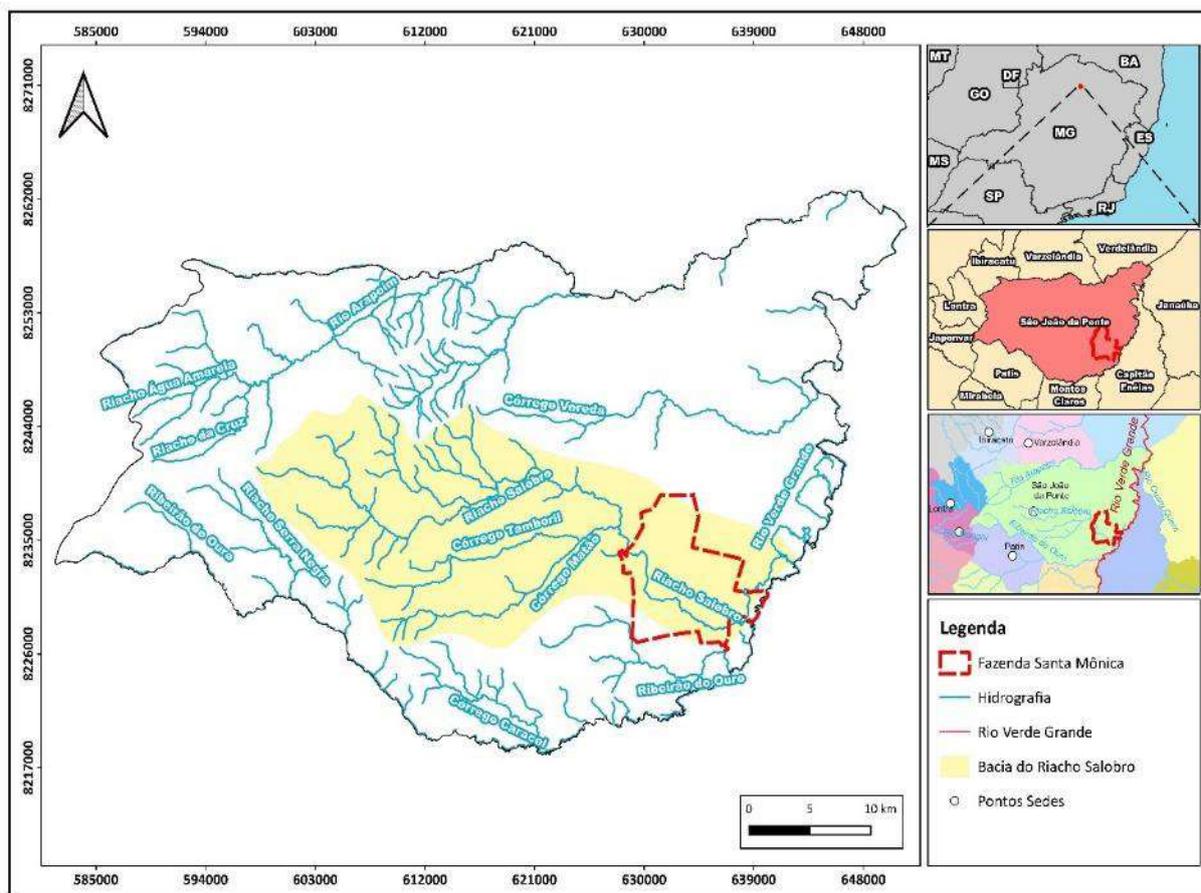


Figura 1: Área de estudo - limites da Fazenda Santa Mônica (em vermelho) e do município de São João da Ponte (em preto). Localização hidrográfica em relação à sub-bacia do Riacho Salobro (sombreada em amarelo) e à Bacia do Rio Verde Grande (detalhe).

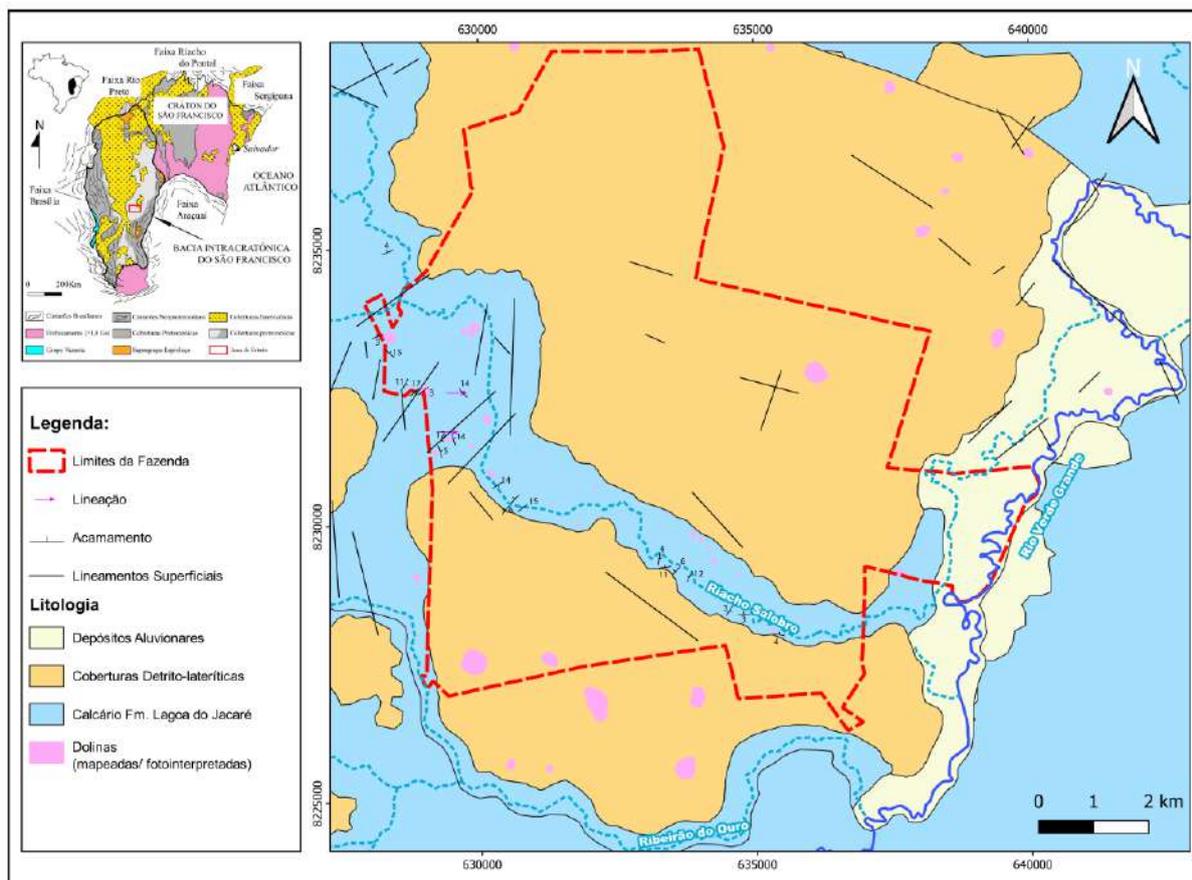


Figura 2: Geologia da área, com destaque para os calcários da Formação Lagoa do Jacaré aflorantes na calha do Riacho Salobro e sobrepostos pelas coberturas detrito-lateríticas (adaptado de CODEMIG & UFMG, 2015 e MDGEO, 2017b).

Com relação à hidrogeologia, há dois aquíferos principais: 1) cárstico (porosidade terciária), predominante na região, com circulação de água subterrânea em estruturas de dissolução dos calcários da Formação Lagoa do Jacaré (condutos cársticos), assim como em fraturas. Trata-se de um aquífero predominantemente livre, com alta permeabilidade e potencialidade hídrica, resultando em elevadas vazões de poços, alcançando centenas de m^3/h . As estruturas portadoras de água subterrânea são comuns até 80 m de profundidade (MDGEO, 2017a); e 2) granulares (porosidade primária), sendo aquíferos livres superficiais com espessuras inferiores a 30 m, representados por coberturas detrito-lateríticas distribuídas em

grande parte da área, além de coberturas aluvionares nas margens do rio Verde Grande. Embora não sejam grandes produtores de água, os aquíferos granulares exercem importante função na recarga alogênica do aquífero cárstico sotoposto.

Referente aos parâmetros hidráulicos do aquífero cárstico, segundo Custódio & Llamas (1983), genericamente um calcário fraturado possui condutividade hidráulica (K) entre 0,01 e 1 m/d. Silva (1984) interpretou ensaios de bombeamento de 60 poços existentes no aquífero cárstico Jaíba, a norte de São João da Ponte, obtendo transmissividades (T) entre 0,8 e 694 m²/d, e armazenamento (S) entre 10⁻² e 10⁻⁵, refletindo a heterogeneidade característica de aquíferos cársticos na região.

A recarga do aquífero é, predominantemente pluvial, ao longo de toda superfície do terreno, seja por infiltração direta em calcários aflorantes (recarga autogênica), sobretudo na calha do riacho Salobro, ou indiretamente, pelo acúmulo e infiltração de água dos aquíferos granulares (recarga alogênica). Concentra-se no período chuvoso (novembro a março), pois, na estiagem, praticamente não chove na região. O riacho Salobro é um curso d'água intermitente que, durante a estação chuvosa, comporta-se como "rio influente", cedendo água ao aquífero. Na estiagem (abril a outubro), o rio é seco e, portanto, não recarrega o aquífero.

Na fazenda, há 5 barragens de acumulação de água fluvial e pluvial na calha do Salobro que, quando saturadas, favorecem a infiltração, potencializando a recarga localmente. Com base em dados climáticos e balanço hídrico, foi estimada uma taxa de infiltração na bacia do Salobro de 15,4% da precipitação (MDGEO, 2018).

O riacho Salobro fica seco na maior parte do ano e, com comportamento influente durante os meses mais chuvosos e, portanto, não se configura como uma estrutura de descarga do aquífero na área. A conexão hidráulica e a possibilidade de descarga desse aquífero no rio Verde Grande serão discutidas adiante.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Bateria de poços tubulares e redes de monitoramento

A bateria de poços tubulares (PT) da fazenda contempla 65 poços, dos quais 55 são ativos e com instrumentos de monitoramento de níveis d'água (NA) e vazões. Até setembro de 2017, o monitoramento do NA foi realizado nos próprios poços de bombeamento. A partir de outubro de 2017, esse monitoramento foi realizado em poços de monitoramento (PM) exclusivos, sendo 19 instalados na fazenda (14 novos e 5 antigos poços de bombeamento desativados) além de outros 6 poços, em propriedade de vizinhos a norte e oeste da fazenda (Figura 3). Todos os poços captam águas predominantemente do aquífero cárstico Lagoa do Jacaré e, em alguns casos, também na porção saturada da cobertura detrito-laterítica.

Referente ao monitoramento de vazões do rio Verde Grande e do riacho Salobro, foram instaladas 7 estações fluviométricas (VZ 01 a 07) compostas por réguas instaladas em posições estratégicas, a montante e a jusante da fazenda (Figura 3). No entanto, as estações VZ-01 e VZ-04, no riacho Salobro, foram descartadas, devido à forte influência antrópica no riacho ao longo de todo seu curso (tanto dentro da fazenda quanto a montante e a jusante). O monitoramento nessas duas estações deixou de ser relevante, por não se tratar de vazões naturais do riacho. A estação VZ-06 não foi considerada devido à sua localização. Portanto, nesse estudo, serão utilizados os dados de quatro estações fluviométricas (VZ-02, VZ-03, VZ-05 e VZ-07), situadas no rio Verde Grande. O monitoramento das precipitações pluviométricas é realizado na fazenda em pluviômetro particular, localizado próximo à sede (onde estão os poços de bombeamento STM-04 e STM-07 - Figura 3).

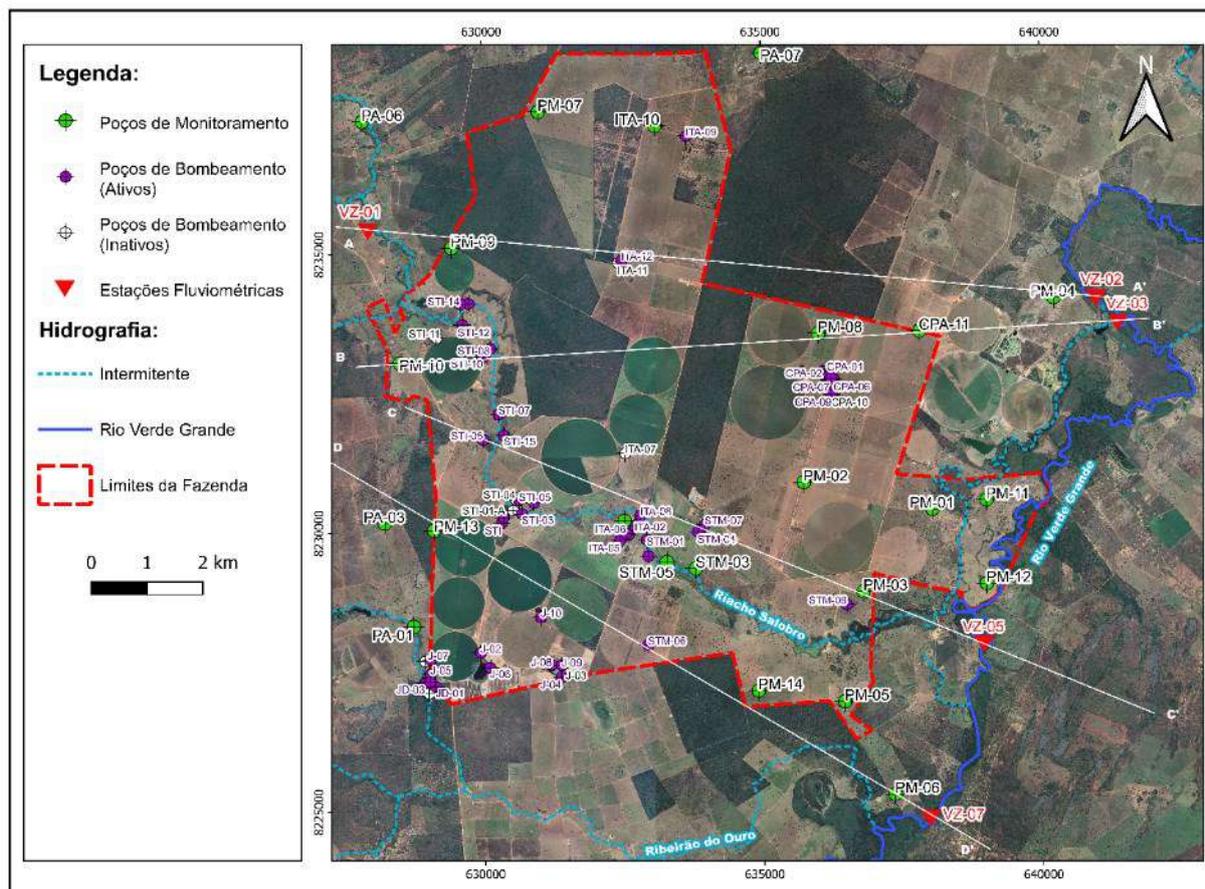


Figura 3: Localização dos poços de bombeamento, de monitoramento do nível d'água, estações fluviométricas e indicação das seções hidrogeológicas.

3.2. Avaliações da exploração dos poços e do monitoramento hidrogeológico

Foram avaliados dados mensais de vazão de exploração dos poços tubulares (PT), níveis d'água (NA) de poços de monitoramento (PM) e vazões do rio Verde Grande, entre outubro/2017 e junho/2019. A vazão de produção dos poços foi obtida pela razão dos volumes bombeados, medidos nos hidrômetros, pelo tempo de operação de cada poço, medidos nos horímetros das bombas submersas.

Os níveis estático e dinâmico foram monitorados, inicialmente, nos próprios poços tubulares de bombeamento e, posteriormente (outubro/2017), medidos nos poços exclusivos para o monitoramento do NA. As profundidades de NA foram obtidas com

medidor elétrico, posteriormente, convertidas em cota altimétrica do NA, mediante subtração pela cota de boca do poço.

A vazão do rio Verde Grande foi monitorada mensalmente em estações fluviométricas instaladas em pontos estratégicos ao longo do seu leito. As medições foram realizadas com micromolinete fluviométrico *USGS Pygmy Current Meter*, modelo *Current Meter Digitizer*. Nas estações, também foram medidas diariamente as alturas da lâmina d'água do rio, em réguas fluviométricas nas margens.

3.3. Balanço hídrico

O balanço hídrico (BH) foi realizado com base no método de Thornthwaite-Mather (1955), que considera o movimento vertical natural da água, sem interferência antrópica, representando a entrada de água proveniente exclusivamente da precipitação e a saída, pela evapotranspiração real e pelo excedente hídrico, expresso pela equação $P - (ETR + EXC) = \pm \Delta ARM$, onde: P=precipitação média mensal (mm); ETR= evapotranspiração real média mensal (mm); EXC=excedente hídrico; ΔARM =variação do armazenamento de água do solo (umidade).

O cálculo do BH foi precedido pela determinação da evapotranspiração potencial (ETP) pelo método de Penman-Monteith (Monteith, 1973), com base nos dados de temperatura, umidade, velocidade do vento e insolação, monitorados na estação meteorológica de Montes Claros (código 83437), operada pelo INMET (2018), a 70 km da área (em linha reta), de características climáticas similares.

Devido à relevância local e maior período de amostragem, os dados de precipitação foram provenientes do monitoramento local no pluviômetro da fazenda, com registros de chuva desde julho de 1981, dados que também foram utilizados nas avaliações comparativas da exploração dos poços e variações de NA e vazões.

Para o cálculo do BH e da ETP foram utilizadas as planilhas eletrônicas Excel “BHseqV6.3.2002” e “BHnormV4.0.1998”, desenvolvidas por Rolim & Sentelhas (1998, 2002), disponíveis em: <https://pt.scribd.com/document/282161512/BHseq63> e <https://pt.scribd.com/document/373135767/BHnorm>. Foram inseridos os dados de temperatura e precipitação mensais entre outubro/2017 e junho/2019.

Para a variável capacidade de água disponível no solo – CAD, que, segundo Rolin *et. al* (1998), é função das características físicas do solo e da profundidade de exploração efetiva das raízes, foi utilizado 150 mm, baseado no valor utilizado por Galvão *et al.* (2018), em estudo hidrogeológico correlato desenvolvido também em calcários do Grupo Bambuí, em Sete Lagoas (MG).

3.4. Superfícies potenciométricas e fluxos subterrâneos

As superfícies potenciométricas foram determinadas a partir de dados de NA em poços de monitoramento, em regime estático, com a bateria de poços desligada a, pelo menos, 12 horas. Essa condição permitiu representar o NA em situação natural do aquífero, sem (ou com mínima) influência do bombeamento. Foram confeccionados dois mapas de superfície potenciométrica, referentes aos períodos chuvoso (fevereiro/2018) e seco (setembro/2018), (Figura 6).

3.5. Ensaios de bombeamento e parâmetros hidráulicos do aquífero

Os parâmetros hidráulicos transmissividade (T) e condutividade hidráulica (K) foram estimados via ensaios de bombeamento individuais (rebaixamento e recuperação do NA) em 51 poços tubulares, em 2016. Durante os ensaios foram medidos os níveis estáticos, dinâmicos e vazão dos poços.

Por se tratar de ensaios com leituras no próprio poço bombeado, foi utilizado o método de Cooper e Jacob (1946) na interpretação. Por ser um aquífero cárstico,

foram realizadas adequações práticas ao método (Galvão et al. 2015), conceitualmente desenvolvido para meio poroso homogêneo isotrópico e contínuo, para um meio heterogêneo, anisotrópico e descontínuo. Os valores de K foram calculados pela equação $K=T/b$, onde b é a espessura saturada do aquífero, considerada 80 m, com base em dados de perfis litológicos (MDGEO, 2017a).

Por se tratar de rebaixamento no próprio poço bombeado, é inviável o cálculo do coeficiente de armazenamento (S), sendo calculado apenas valores de T e K. Com base na razão entre vazão e rebaixamento do NA, também foram calculadas as vazões específicas (ou capacidade específica) dos poços que, embora não seja um parâmetro hidráulico do aquífero, reflete a capacidade dos poços produzirem água subterrânea (Figura 5). Em alguns poços, não foi possível calcular os parâmetros hidráulicos, por consequência de problemas no bombeamento, nas leituras ou ausência de rebaixamento.

3.6. Levantamento topográfico da calha do rio Verde Grande

O levantamento topográfico foi realizado utilizando o equipamento modelo V90, referenciado ao datum SIRGAS 2000 e ao datum vertical (altimétrico) Mareógrafo de Imbituba, mesma referência utilizada pelo IBGE em suas bases topográficas (NEDRO, 2020). Foram levantadas as cotas de fundo das calhas do Rio Verde Grande em todas as estações fluviométricas, para serem confrontadas com as cotas de NA nos poços de monitoramento.

3.7. Perfis hidrogeológicos

Para a avaliação da conexão hidráulica do aquífero com o rio Verde Grande (RVG) foram definidas quatro seções verticais cortando toda área da fazenda em direção

às estações fluviométricas, atravessando também os PM próximos ao rio e outros PM e PT existentes na fazenda.

Nos perfis hidrogeológicos (Figura 8) foram representados os aquíferos cárstico e superficiais sobrepostos, a calha do riacho Salobro e do RVG, e o NA dos meses fevereiro e outubro de 2018, que corresponderam, respectivamente, aos picos dos períodos chuvoso e seco, representando a variação sazonal do nível d'água.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Exploração da bateria, monitoramento e balanço hídrico

Há uma grande variabilidade nas vazões individuais dos poços, com predominância de valores inferiores a 50 m³/h (42%), sendo boa parte entre 50 e 150 m³/h (33%) e, em menor proporção, poços com vazões superiores a 150 m³/h (25%), como mostra o histograma de vazões de bombeamento (Figura 5).

Em termos de produção global da bateria, foram monitorados volumes mensais entre 300 mil m³ e 1,3 milhões de m³ de água subterrânea, em média 700 mil m³ (Figura 4). Esses volumes equivalem a vazões médias mensais entre 420 e 1.925 m³/h (média global próximo a 1000 m³/h) de exploração de água subterrânea pela bateria. Vale ressaltar que essa produção está dentro do volume anual outorgado para o empreendimento para a pesquisa hidrogeológica (18 milhões de m³).

Dos 25 PM (Figuras 3 e 6), 11 estão nos setores central e leste da fazenda, entre a região com a maior concentração de PT e o RVG. Considerando que os demais PM dos setores norte e oeste são irrelevantes para a avaliação da conexão hidráulica da bateria com o rio, foram analisados apenas os níveis desses 11 PM: PM-01, PM-03, PM-04, PM-05, PM-06, PM-11, PM-12A, PM-02, PM-08, PM-14 e CPA-11 (Figura 4 e Tabela 1).

Os dados de NA monitorados e apresentados na Figura 4 e Tabela 1 são leituras mensais do nível estático nesses poços entre outubro de 2017 e junho de 2019, com a bateria de poços de bombeamento desligada. De maneira geral, os poços exibem um comportamento do NA semelhante, com oscilações temporais mensais acompanhando o regime sazonal de chuvas e tendência a um rebaixamento do NA, a depender do período de comparação.

A exceção é observada nos PM-06 e PM-04, situados nas extremidades sudeste e nordeste da área, próximo às estações fluviométricas VZ-07 e VZ-02 (Figura 3), que ressalta um rebaixamento mais acentuado do NA. Esses poços foram instalados apenas em fevereiro de 2018 (por questões de permissão de superficiários), portanto, sem dados desde outubro de 2017. Entende-se que, possivelmente, os níveis nesses dois PM também estariam abaixo nos meses iniciais com ausência de dados (outubro/17 a janeiro/18), o que deixaria de ressaltar o suposto rebaixamento contínuo e mais acentuado, observado no gráfico (Figura 4).

Destaca-se que, no período, nota-se, pelo histograma de precipitações (Figura 4), um grande volume de chuvas concentrado no período chuvoso 2017-2018, em níveis históricos para região. Esse acúmulo de chuvas foi responsável por uma elevação do NA geral em todos os PM (assim como nas vazões do rio), nitidamente destacada em uma avaliação individual de cada instrumento da rede de monitoramento.

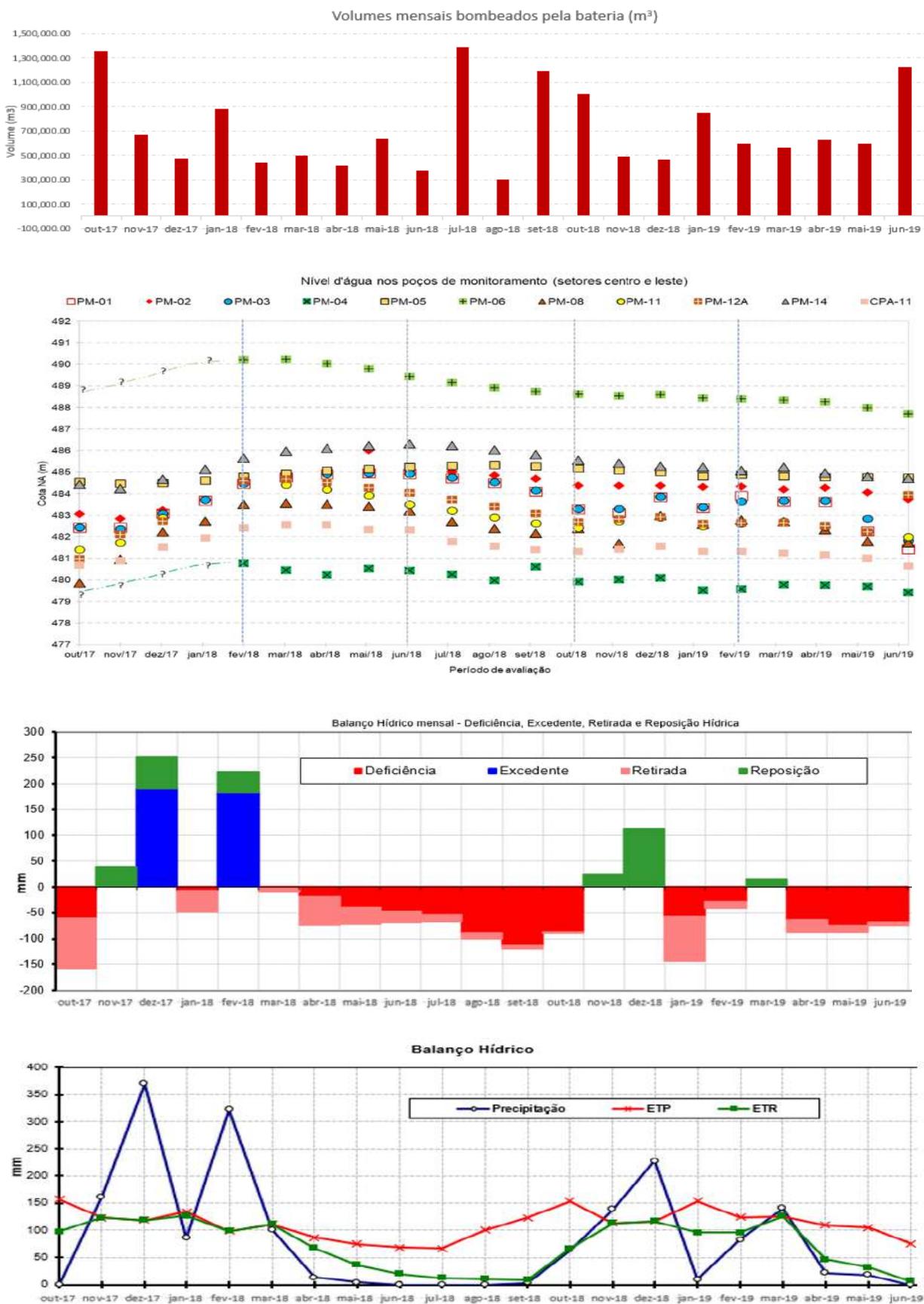


Figura 4: Variação de vazões de exploração da bateria, do NA nos PM situados entre a bateria e o RVG e extrato do balanço hídrico no período de out/7 a jun/19.

Tabela 1: Variação do nível d'água nos PM em períodos comparativos distintos.

Período	PM-01	PM-03	PM-04	PM-05	PM-06	PM-11	PM-12A	PM-02	PM-08	CPA-11	PM-14
Jun19-out17	-1,0	-0,62	-	+0,21	-	+0,58	+2,95	+0,67	+1,88	0,04	+0,28
Out18-out17	+0,85	+0,87	-	+0,62	-	+1,01	+1,71	+1,32	+2,54	+0,64	+1,11
Jun19-jun18	-3,49	-3,12	-1,03	-0,50	-1,72	-1,50	-0,10	-1,35	-1,47	-1,68	-1,59
Fev19-fev18	-0,55	-0,84	-1,20	+0,10	-1,82	-	-1,94	-0,23	-0,71	-1,09	-0,57

(Sinal positivo: elevação do NA no período avaliado. Sinal negativo: diminuição do NA no período avaliado)

Considerando a diferença entre os valores monitorados em todo o período (out/17 e jun/19 – 1ª linha), em uma análise global simplificada, percebe-se que predomina uma ligeira elevação do NA, o que pode estar relacionado a leituras em meses hidrológicos distintos (junho e outubro). Contudo, esse comportamento contrapõe a existência de um rebaixamento do NA global associado ao período total avaliado.

Em uma comparação realizada entre os meses de máxima estiagem possíveis de serem avaliados (out/18-out/17 – 2ª linha), há uma elevação geral do NA em todos os instrumentos (entre 0,62 e 2,54 m), associado ao grande volume de precipitações registrado no período chuvoso 2017-2018 (Figura 4).

Por outro lado, em uma comparação realizada na metade final do período avaliado, entre 2018 e 2019 (contando agora com os dados dos PM 06 e 04), percebe-se que, independentemente se a avaliação é feita em meses de estiagem (jun/19-jun/18 – 3ª linha) ou de chuva (fev/19-fev/18 – 4ª linha), há uma tendência de rebaixamento global do NA, respectivamente entre 0,10 e 3,49 m (jun/19-jun/18) e entre 0,33 e 1,94 m (fev/19-fev/18). Da mesma forma, entende-se que essa diminuição também esteja associada ao grande volume de precipitações do período chuvoso 2017-2018, o que não se repetiu na mesma intensidade (volumes), no período chuvoso 2018-2019 (Figura 4).

Sobre o balanço hídrico (Figura 4), há a predominância de períodos de deficiência hídrica, típico da região semiárida do norte de Minas Gerais, com tendências de reposição com o avanço do período chuvoso e excedente restrito no auge do período chuvoso (dezembro a fevereiro). No período, há um grande excedente nos meses de dezembro e fevereiro de 2018 (acima de 150 mm/mês), coerente com o grande volume de precipitações que se concentrou na área nesse período, com totais mensais superiores a 300 mm, valores atípicos se comparado a média histórica desses meses, desde 1981, ano em que se iniciou o monitoramento no pluviômetro local.

4.2. Ensaios de bombeamento e parâmetros hidráulicos

Na análise gráfica dos ensaios de bombeamento foi comum o aparecimento de mais de uma reta de rebaixamento, situação comum na interpretação de ensaios em meios descontínuos, sobretudo em carste, em que a água bombeada muitas vezes está associada a mais de uma estrutura (ex. fraturas e condutos), podendo inclusive apresentar propriedades hidráulicas direcionais (K e T) distintas (Figura 5).

Predominam poços com vazões abaixo de 50 m³/h, mas em número considerável entre 50 e 150 m³/h. O rebaixamento do NA revela o predomínio de valores menores que 30 m, sendo, a grande maioria, inferiores a 15 m. Estes números indicam dois aspectos principais: 1) o aquífero tem elevado potencial de produção de água; e 2) essa produção não reflete em um rebaixamento no NA em grande magnitude (resiliência do aquífero). Essa relação é notada pela vazão específica dos poços.

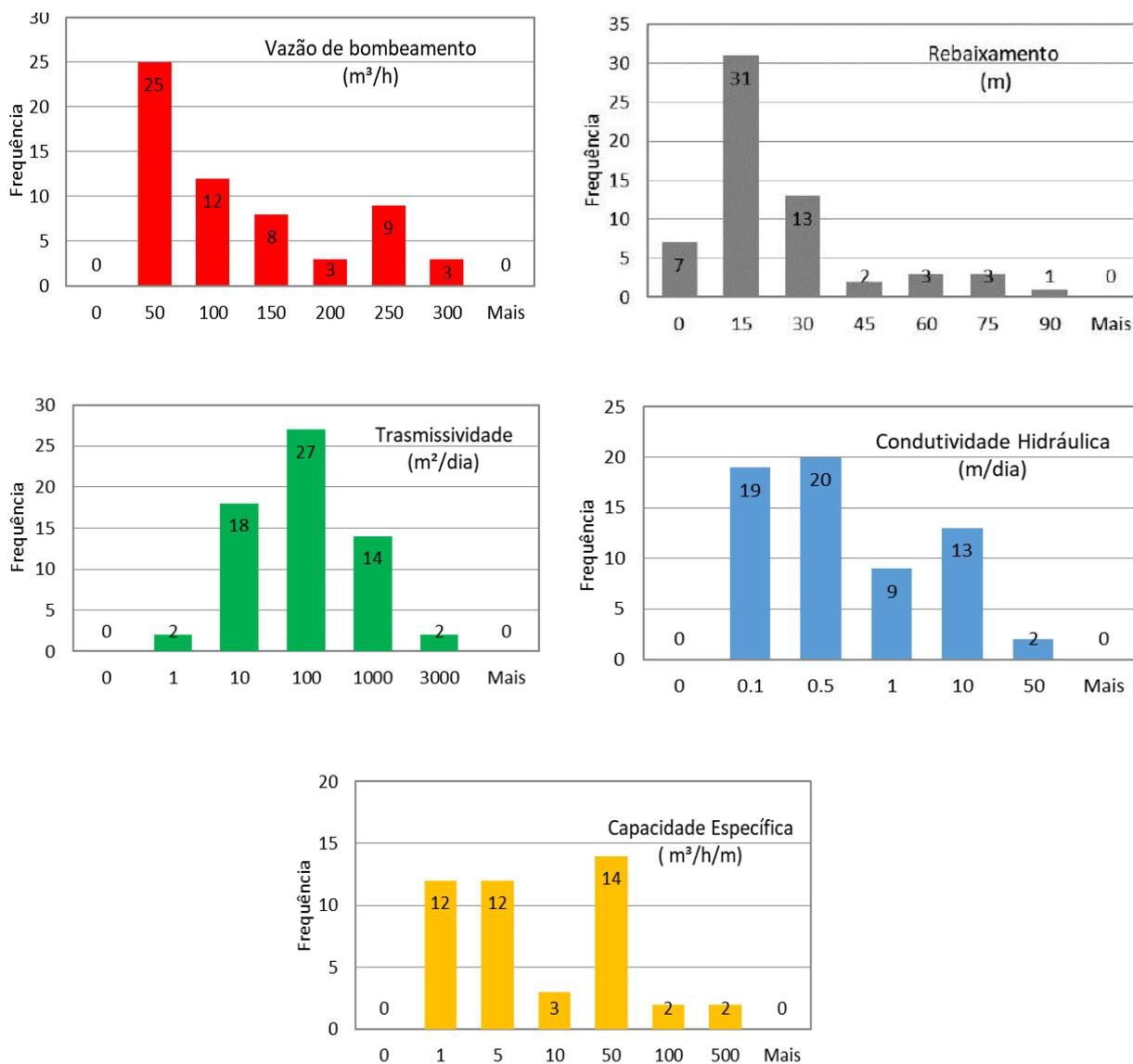


Figura 5 - Gráficos de frequência de parâmetros de produção dos poços e de parâmetros hidráulicos do aquífero cárstico via ensaios de bombeamento.

Entende-se que o bombeamento não esteja provocando superexploração, captando água subterrânea majoritariamente da reserva renovável do aquífero. Ou seja, as vazões exploradas não estão superiores à capacidade de recarga/disponibilidade hídrica local do aquífero cárstico (Feitosa et al. 2008). Essa avaliação é corroborada pela relativa rápida recuperação do NA aos patamares iniciais (nível estático), geralmente inferior a 12 horas após paralisação do bombeamento (ensaio de

bateria). Se o aquífero estivesse sendo superexplorado, o rebaixamento seria de maior magnitude, com redução de vazão nos poços e contínuo aprofundamento das bombas submersas, o que não ocorre. Analisando os dados de nível estático, verifica-se que 80% dos poços têm nível estático com profundidade inferior a 30 m.

O histograma da transmissividade (T) apresenta a distribuição de probabilidade log-normal, típico de aquíferos cársticos e fraturados. O histograma de condutividade hidráulica (K) indica valores concentrados entre 0,1 e 10 m/dia, evidenciando bombeamento tanto do sistema cárstico como um todo, como de estruturas cársticas excepcionais, como condutos principais. Entretanto, predominam valores inferiores a 0,5 m/dia, que refletem uma excelente condição geral de permeabilidade do aquífero.

Tendo em vista que em ensaios pontuais com leituras de rebaixamento no próprio poço bombeado não é possível calcular o coeficiente de armazenamento (S), foi adotado como referência os valores 0,01 e 0,02 (parâmetro adimensional), obtidos em testes de interferência realizados em 2016 nos poços do setor Capão das Abelhas – CPA (MDGEO, 2016), valores esses, associados à aquíferos livres.

Referente à vazão específica (Q/s) dos poços, os valores estão entre 1 e 5 m³/h/m, seguido pelo intervalo entre 10 e 50 m³/h/m, evidenciando a presença de estruturas cárstico-fraturadas, e, no caso dos valores mais elevados, de um carste mais desenvolvido (condutos principais), com grande potencial de produção de água subterrânea. As duas tendências vistas em Q/s se repetem na vazão e K, reforçando a existência de dois principais sistemas/estruturas portadoras de água subterrânea no aquífero, um sistema cárstico-fissural secundário e um sistema cárstico principal bem desenvolvido, formado por possíveis grandes condutos. Evidentemente que há também valores de parâmetros hidráulicos coerentes com a percolação de água em

fraturas (porosidade secundária) mas, de menor potencial, bem como de porosidade primária, associado ao aquífero poroso superficial (cobertura detrito-laterítica).

4.3. Superfícies potenciométricas

Foram confeccionados dois mapas de superfície potenciométrica, referentes aos níveis d'água monitorados nos 25 PM, no auge dos períodos chuvoso (fevereiro/2018) e seco (setembro/2018), para representar espacialmente a variação sazonal do nível d'água subterrâneo (Figura 6). Foram definidas isolinhas de carga hidráulica de 2 m, entendidas como intervalo mínimo adequado para a avaliação espacial nesta escala de trabalho.

Observa-se um padrão de distribuição das equipotenciais e do fluxo subterrâneo na área muito semelhante em ambos os períodos avaliados. O fluxo natural predominante tem sentido leste, em direção ao rio Verde Grande, com uma inflexão para nordeste próximo à sua calha, acompanhando a direção preferencial de fluxo superficial.

Localmente, na porção central da fazenda, próximo à calha do riacho Salobro, onde se concentra o maior número de poços de bombeamento (e com consideráveis vazões), observa-se a formação de um cone de rebaixamento, com um fluxo em direção aos poços produtores. Esse efeito é observado também devido à proximidade dos poços de monitoramento ITA-04 e STM-05 dos poços produtores.

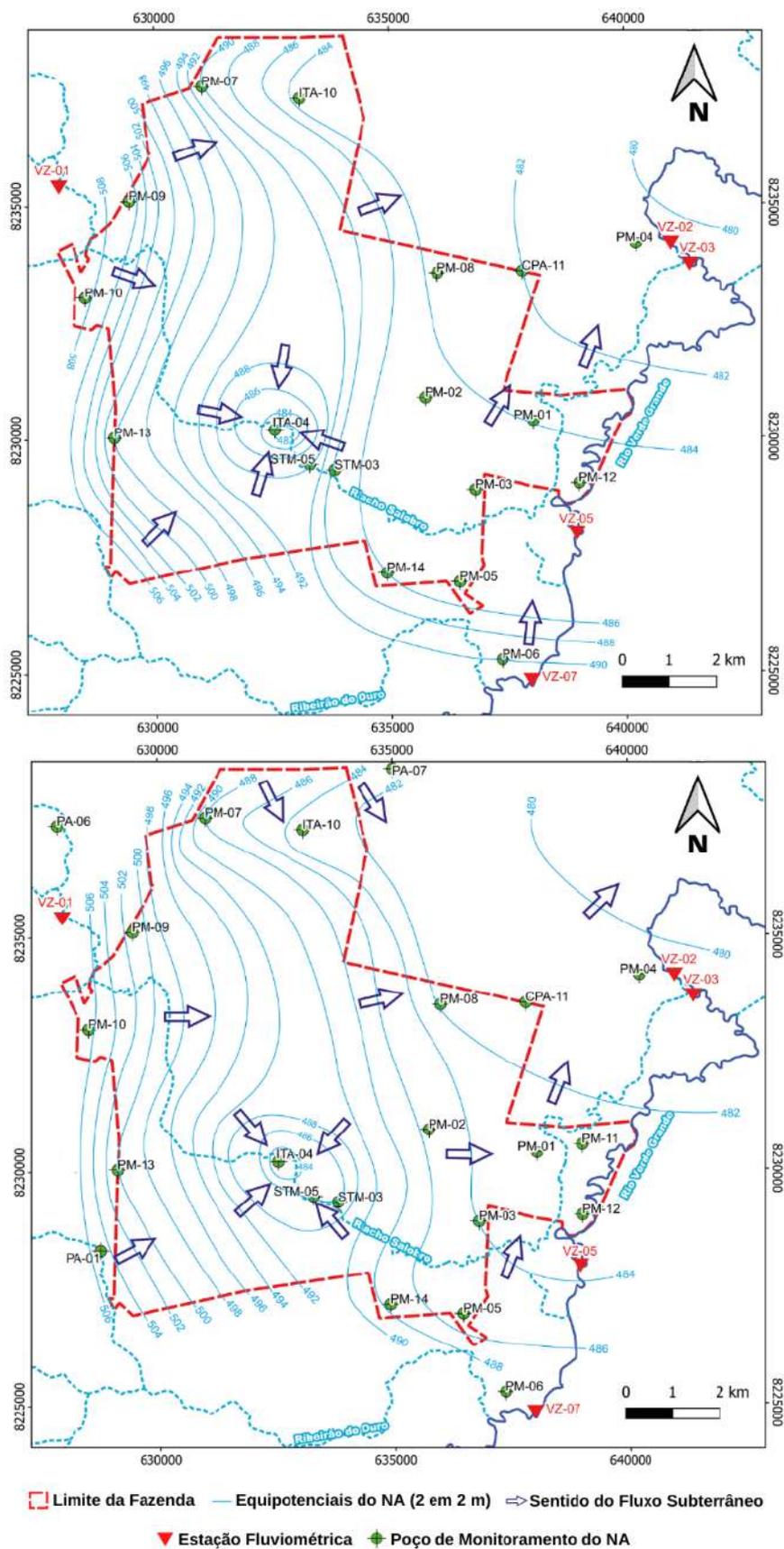


Figura 6: Superfícies potenciométricas e fluxos subterrâneos representativos do auge dos períodos chuvoso (fev/18, acima) e seco (set/18, abaixo) do mesmo ano.

4.4. Altimetria da calha do RVG, seções hidrogeológicas e conexão hidráulica

Foram avaliadas as cotas de fundo da calha e da lâmina d'água nas 4 estações fluviométricas do RVG: VZ-02 (492,8 m) VZ-03 (492,8 m), VZ-05 (496,5 m) e VZ-07 (497,0 m) (Figura 7). A avaliação da conexão hidráulica do aquífero com o RVG foi realizada nas seções verticais A, B, C e D, cortando toda área da fazenda em direção às estações fluviométricas, considerando também poços de monitoramento e de bombeamento (Figura 7).

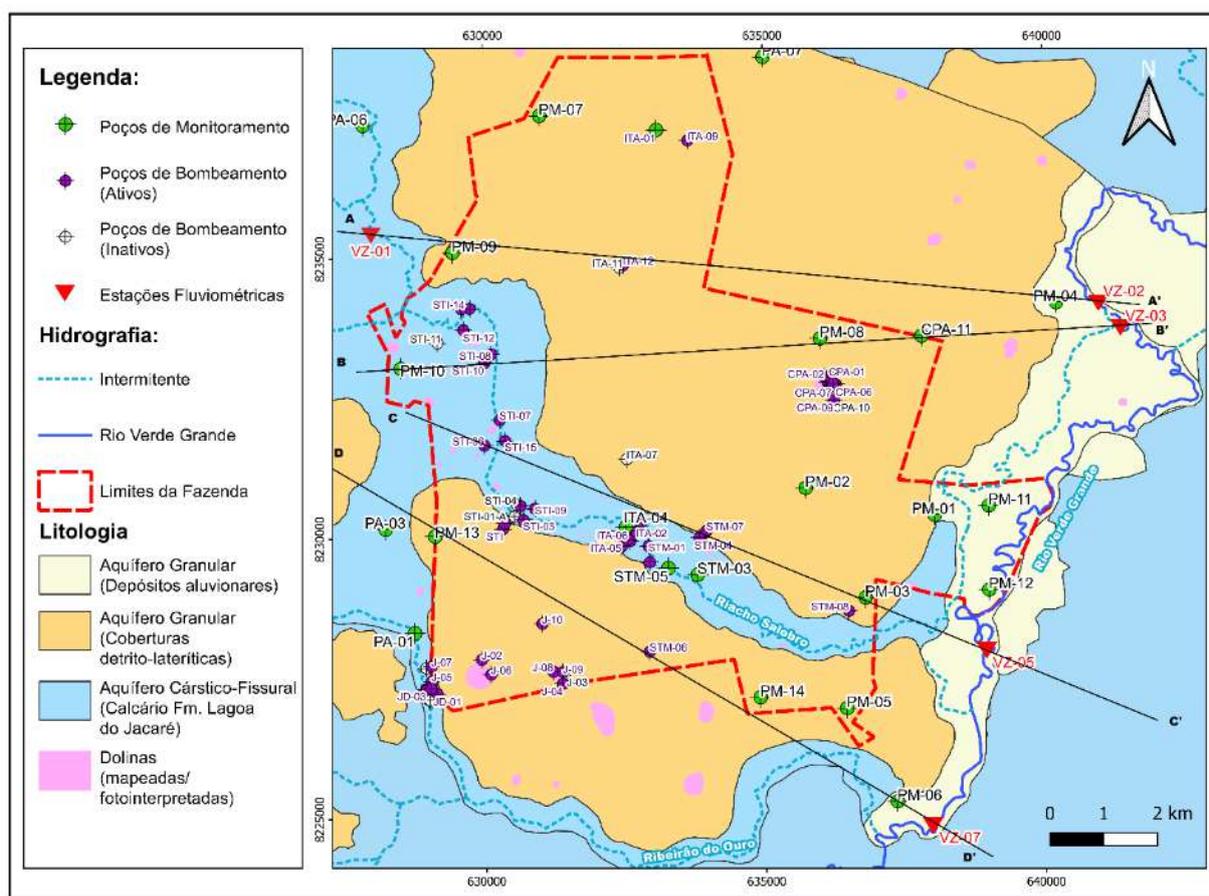


Figura 7: Domínios hidrogeológicos e indicações das seções hidrogeológicas e demais elementos relevantes para a compreensão da conexão hidráulica, ilustrada nas seções verticais adiante (Figura 8).

Analisando quatro seções hidrogeológicas verticais (Figura 8), percebe-se que, na maioria dos locais, não há diferenças significativas entre os níveis estáticos nos PM (e PT) no período seco (set/18) e chuvoso (fev/18) do ano de 2018, em que se tem o registro completo de leituras. A exceção se dá nas imediações das barragens de acumulação de água no leito do RS, nos poços próximos às barragens B1 e B2 (região oeste - seções B e C), onde, em virtude do acúmulo de chuva em fevereiro de 2018 (Figura 4), houve consideráveis elevações no NA. Na região centro-leste, de interesse para a avaliação da conexão hidráulica, essa diferença entre os níveis desses meses é ainda menor, predominantemente inferior a 1 m.

Comparando as cotas de fundo da calha do RVG (e de lâmina d'água) nas 4 estações, com os níveis estáticos dos PM mais próximos ao RVG, observa-se que níveis dos PM mais próximos à cada estação fluviométrica estão sempre abaixo das cotas de fundo da calha do RVG, independente dos períodos seco ou chuvoso.

A diferença média entre as cotas do NA do aquífero, obtida em poços de monitoramento proximais, e a do ponto mais fundo da calha em cada estação é de 12 m, com exceção do VZ-07, em que a diferença é de 7 m. Portanto, nas 4 seções, a calha e a lâmina d'água do rio estão bem acima da cota do nível d'água estático do aquífero cárstico, indicando a inexistência de uma conexão hidráulica direta entre aquífero e rio e, conseqüentemente, descaracterizando o rio Verde Grande como estrutura de descarga do aquífero cárstico nessa área.

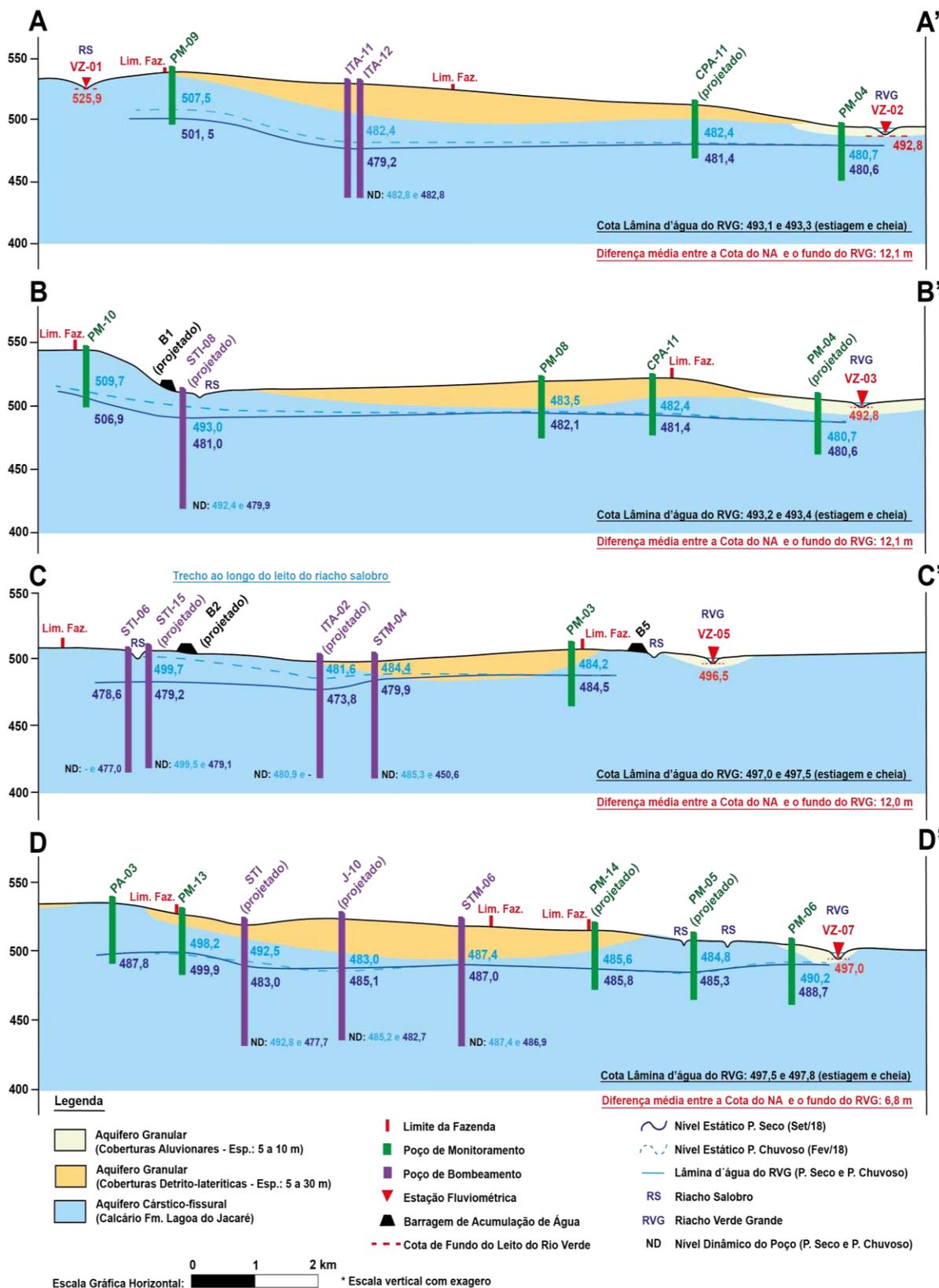


Figura 8: Relação hidráulica entre o aquífero cárstico e rio Verde Grande. Os níveis estáticos dos períodos seco e chuvoso são semelhantes e a diferença entre as cotas de fundo do RVG e do NA do aquífero nos PM mais próximos é da ordem de 12 m.

Contudo, ainda que os dados indiquem que o RVG está desconectado com o aquífero (sem relação direta de efluência-influência), é sugerido que ele possa exercer alguma recarga no aquífero em períodos de cheia, onde seu volume e extensão lateral aumenta consideravelmente, atingindo uma planície de inundação de dezenas de metros de largura, gerando uma recarga pelas aluviões, predominantemente mais permeáveis que o leito. No entanto, além do aumento da carga hidráulica do rio, extensão lateral e maior permeabilidade das aluviões, provavelmente essa relação de recarga não seja uniforme, sendo restrita também a regiões mais fraturadas e/ou carstificadas do seu leito.

5. CONCLUSÕES

Os parâmetros hidráulicos e vazões específicas indicam a existência de dois principais sistemas aquíferos: cárstico-fissural secundário e cárstico principal bem desenvolvido, provavelmente formado por grandes condutos.

O aquífero cárstico tem elevado potencial hídrico, mas que não se reflete em rebaixamento no nível d'água global em grande magnitude, indicando comportamento hidráulico resiliente frente à exploração da bateria, explicado pela retirada de água subterrânea majoritariamente da reserva renovável, não extrapolando à capacidade local de recarga/disponibilidade hídrica cárstica.

Há uma relação direta entre variações de níveis estáticos do aquífero e volumes bombeados pela bateria de poços, com um rebaixamento crescente do NA ao longo da estiagem em virtude do aumento da demanda de água subterrânea e, conseqüentemente, a recuperação dos níveis nos meses de chuva, dada a menor demanda de água subterrânea para irrigação e dessedentação, em virtude do aumento da disponibilidade de água superficial, caracterizando uma maior exploração de água subterrânea no período de estiagem.

O fluxo subterrâneo natural é predominantemente para leste, em direção ao rio Verde Grande, com inflexão para nordeste próximo a sua calha, acompanhando a direção de fluxo superficial. Localmente, no setor central da área, próximo à calha do riacho Salobro, onde há o maior número de poços de bombeamento e com altas vazões, há um cone de rebaixamento. Esse efeito visual de rebaixamento mais acentuado, observado nos mapas potenciométricos, também é influenciado pela maior proximidade de alguns PM's em relação aos poços de bombeamento locais, o que faz com o que o efeito do rebaixamento seja mais evidente pontualmente nesses PM's. Em outros locais, ainda que se tenha poços bombeando, não se tem PM's tão próximos a uma bateria de produção concentrada, que possa também evidenciar outro cone de rebaixamento pontual.

Não há diferenças relevantes entre níveis estáticos entre períodos seco e chuvoso, sobretudo na região centro-leste da área. No período/condições avaliadas, a calha e lâmina d'água do rio Verde Grande está, em média, 12 m acima da cota do nível d'água estático do aquífero cárstico, indicando ausência de conexão hidráulica direta entre eles, descaracterizando o rio como estrutura de descarga do aquífero na área.

Mesmo assim, sugere-se que o rio Verde Grande possa exercer alguma recarga no aquífero (influência) em períodos de cheia, favorecida por um elevado aumento do volume e de carga hidráulica do rio e pela presença de aluviões permeáveis no entorno da calha, e em locais mais fraturados e/ou carstificados ao longo do leito do rio. Para uma avaliação mais assertiva da relação influência-efluência entre aquífero e rio, é sugerida uma investigação qualitativa complementar, análises hidroquímicas e isotópicas, e o uso de traçadores nas águas subterrâneas e superficiais (poços de bombeamento, de monitoramento e rio Verde Grande).

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos às empresas do Grupo A.R.G: Fortaleza de Santa Terezinha Agricultura e Pecuária e Carapreta Carnes Nobres, à MDGEO Hidrogeologia e Meio Ambiente e ao Programa de Pós-graduação de Geologia Econômica e Aplicada do Instituto de Geociências, da Universidade Federal de Minas Gerais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, M., GALVÃO, P., ARANHA, P. 2021. Karst hydrogeological controls and anthropic effects in urban lake. *Journal of Hydrology*. Elsevier.593.
- ANA, 2018. Marco regulatório da bacia hidrográfica do rio Verde Grande. Agência Nacional de Águas.
- CODEMIG & UFMG, 2015. Projeto Fronteira de Minas Gerais. Folha São João da Ponte-Sd.23-Z-C-V. Escala 1:100.000. Romano, W.A.
- COOPER JR., H.H., JACOB, C.E., 1946. A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history. *Trans.Am. Geophys. Union*.27, 526–534.
- CUSTÓDIO. E, LLAMAS M. R., 1983. *Hidrologia Subterránea*. Ed.Omega. 2ª edición. 2 Volumen. 2345p.
- DARDENE, M.A., 1978. Síntese sobre estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. *Anais 30ºCBG*. SBG, p.597–610.
- FEITOSA, F.A.C., MANOEL FILHO, J.R., FEITOSA, E.C., DEMETRIO, J.G.A., 2008. *Hidrogeologia: Conceitos e aplicações*. 3ªed. CPRM/LABHId, 812p.
- FORD, D, WILLIAMS, P. 2007. *Karst hydrogeology and Geomorphology*. Ed.John Wiley Sons.562p.
- GALVÃO P., HALIHAN, T., HIRATA, R., 2015. The Karst Permeability Scale Effect of Sete Lagoas, MG, Brazil. *J Hydrol*.531:85/15–105.
- GALVÃO, P., HIRATA, R., CONICELLI, B., 2018. Estimating groundwater recharge using GIS-based distributed water balance model in an environmental protection area in the city of Sete Lagoas (MG). Brazil. *Environmental Earth Sciences*. 77(398).

- GOLDSCHIEDER, N. DREW, D., 2007. Methods in Karst Hydrogeology. International Contributions to Hydrogeology.
- IBGE. 2019. Mapa de Climas do Brasil. Disponível em ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/mapas_murais/clima.pdf
- IBGE & EMBRAPA, 2001. Solos do Brasil. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia/15829-solos.downloads>
- IGLESIAS M., UHLEIN A., 2009. Estratigrafia do Grupo Bambuí e coberturas fanerozóicas no vale do rio São Francisco. Revista Brasileira Geociências, 39(2): 256-267.
- INMET, 2018. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>
- MDGEO, 2016. Ensaio individuais de bombeamento e recuperação e interferência nos poços e avaliação inicial da vulnerabilidade à contaminação. F.S.T.A.P. Documento privado A.R.G.
- MDGEO, 2017a. Informações sobre os perfis litológicos - construtivos dos poços tubulares da Fazenda Santa Mônica. Documento privado A.R.G.
- MDGEO, 2017b. Mapeamento geológico na região da Fazenda Santa Mônica. Documento privado A.R.G.
- MDGEO, 2018. Monitoramento de hidrômetros e horímetros dos poços de bombeamento da Fazenda Santa Mônica. Consolidação dados até dezembro 2018. Documento privado A.R.G.
- MONTEITH, J. L., 1973. Principles of environmental physics. Edward Arnold, London, 241p.
- NEDRO, 2020. Levantamento topográfico planialtimétrico – Estações fluviométricas. Fazenda Santa Mônica. Documento privado A.R.G.
- ROLIM, G.S & SENTELHAS, P.C. 1998. Balanço Hídrico Normal Thornthwaite & Mather. Planilha Excel BHnorm V4.0.1998. ESALQ/USP. Disponível em <https://pt.scribd.com/document/373135767/BHnorm>.
- ROLIM, G.S & SENTELHAS, P.C. 2002. Balanço Hídrico Sequencial Thornthwaite & Mather. Planilha Excel. BHseq V6.3. ESALQ/USP. Disponível em <https://pt.scribd.com/document/282161512/>.
- SILVA, A. B., 1984. Análise morfoestrutural, hidrogeológica e Hidroquímica no estudo do aquífero cárstico do Jaíba, norte de Minas Gerais. USP.

TAVARES, I.P. 2020. Caracterização hidrológica e das interferências antrópicas da Bacia do córrego Samambaia, região da APA Carste de Lagoa Santa – MG. IGC-UFMG.

THORNTHWAITE, C.W., MATHER, Jr., 1955 The Water Balance. Laboratory of Climatology, USA.