

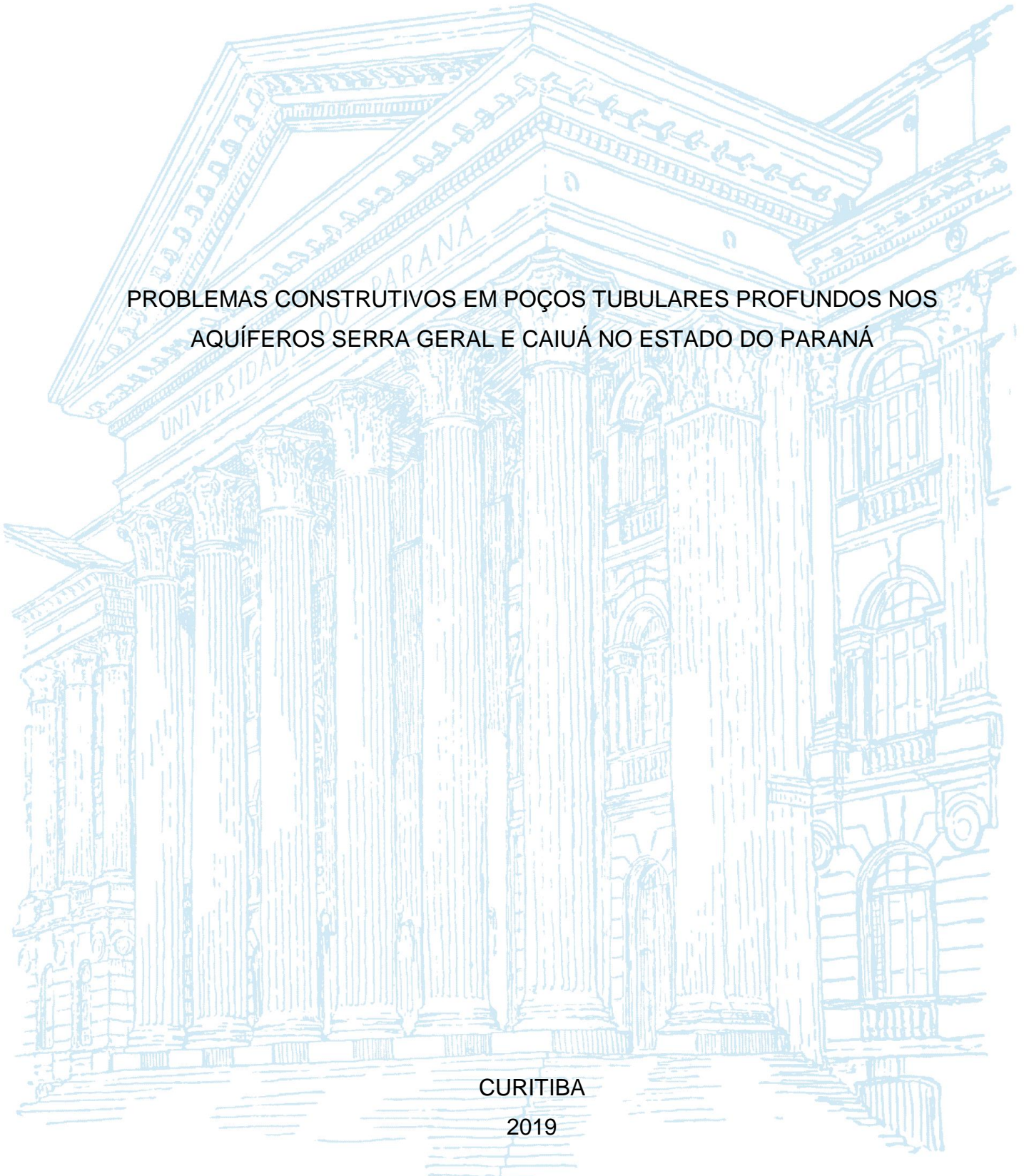
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

DANILO PERCICOTTE

PROBLEMAS CONSTRUTIVOS EM POÇOS TUBULARES PROFUNDOS NOS  
AQUÍFEROS SERRA GERAL E CAIUÁ NO ESTADO DO PARANÁ

CURITIBA

2019



DANILO PERCICOTTE

PROBLEMAS CONSTRUTIVOS EM POÇOS TUBULARES PROFUNDOS NOS  
AQUÍFEROS SERRA GERAL E CAIUÁ NO ESTADO DO PARANÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Geologia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Geólogo.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Chemas Hindi

CURITIBA

2019

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, antes de tudo, aos que vieram antes de mim e garantiram a existência da universidade pública, por vezes arriscando a própria vida para defendê-la nos momentos mais sinistros da nossa história.

Declaro aqui também minha gratidão a todos os trabalhadores da universidade, com destaque aos terceirizados, os quais a mantêm funcional cotidianamente, além de muitas vezes terem me proporcionado as interações mais humanas e fraternas no ambiente universitário. Agradeço ainda àqueles professores e professoras que além de se preocuparem com a qualidade do ensino também se demonstraram solidários à pessoa por trás do GRR, não limitando a relação professor-aluno a uma hierarquia e a frieza da nota.

E, finalmente, para os colegas, amigos e familiares que participaram dessa jornada, que me apoiaram das mais diversas formas, espero estar sempre disponível para retribuir e demonstrar minha gratidão.

### **Dos livros**

Não percas nunca, pelo vão saber,  
A fonte viva da sabedoria.  
Por mais que estudes, que te adiantaria,  
Se a teu amigo tu não sabes ler?

Mario Quintana

## RESUMO

Este trabalho analisa 22 poços tubulares profundos, implantados nos aquíferos Serra Geral e Caiuá, no Estado do Paraná, quanto às suas características construtivas. Objetiva um levantamento das principais desconformidades técnico-científicas nestes poços, assim como as possíveis consequências de tais desvios. Os dados foram coletados durante um estágio realizado no órgão responsável pelas outorgas de poços e gestão das águas subterrâneas no Estado, o Instituto das Águas do Paraná. No decorrer deste percebeu-se que há situações em que profissionais e empresas de perfuração de poços não seguem as recomendações descritas nas normas técnicas brasileiras e na literatura consagrada. Além disso, foi possível acompanhar as dificuldades do órgão em regular e fiscalizar a perfuração de poços. São analisados cinco conjuntos de elementos construtivos, buscando reunir os problemas mais recorrentes: perfuração e revestimento, filtro e pré-filtro, cimentação, posição do crivo do conjunto motobomba, e perfil litológico. Não há pretensão de esgotar todos os problemas presentes nos poços, mas lançar uma contribuição para um panorama da utilização das águas subterrâneas no Paraná, alertando para a urgência do tema.

Palavras-chave: Poços tubulares profundos. Gestão de águas subterrâneas.

## **ABSTRACT**

This work evaluates 22 tubular wells, implanted in the Serra Geral and Caiuá aquifers, in the State of Paraná, regarding their constructive characteristics. It aims at surveying the main technical and scientific inconsistencies in these wells, and the possible consequences of such deviations. The data were collected during a stage carried out in the organ responsible for the granting of wells and groundwater management in the State, the Water Institute of Paraná. In the course of this it was noticed that there are situations in which professionals and well drilling companies do not follow the recommendations described in technical standards and consecrated literature. In addition, it was possible to follow the organ's difficulties in regulating and supervising the drilling of wells. Five sets of constructive elements were analyzed, aiming at gathering the most recurrent problems: drilling and casing, filter and filter pack, sanitary protection, sieve position of the pump, and lithological profile. There is no pretension to exhaust all the problems present in the wells, but to make a contribution to a panorama of the use of groundwater in Paraná, alerting to the urgency of the subject.

Keywords: Tubular wells. Groundwater management

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 –MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS SELECIONADOS.....	10
FIGURA 2 –FERRAMENTAS DE PERFURAÇÃO ROTOPNEUMÁTICA .....	18
FIGURA 3 – BROCA DE SONDA ROTATIVA.....	19
FIGURA 4 – MÉTODOS DE PERFURAÇÃO SEGUNDO TIPO DE FORMAÇÃO ....	21
FIGURA 5 – FILTRO ESPIRALADO .....	26
FIGURA 6 – ESFORÇOS ATUANTES NO FILTRO.....	28

## LISTA DE GRÁFICO

GRÁFICO 1 – PORCENTAGEM DE POÇOS COM OUTORGAS VIGENTES POR AQUÍFERO .....	09
--	----

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – NÚMERO DE OUTORGAS POR ANO .....	11
TABELA 2 – DESCARGA (VAZÃO) MÁXIMA RECOMENDADA POR DIÂMETRO DE TUBO.....	24
TABELA 3 – EXEMPLOS DE PROBLEMAS CONSTRUTIVOS.....	33
TABELA 4 – PROBLEMAS DE CIMENTAÇÃO POR CASO AVALIADO.....	37
TABELA 5 – AVALIAÇÃO DA POSIÇÃO DO CRIVO.....	38

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>8</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	10
1.2 OBJETIVOS.....	11
<b>2 CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO E CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS</b> .....	<b>12</b>
2.1 CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO.....	12
2.2 CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	14
2.2.1 Poços Tubulares Profundos – aspectos construtivos.....	16
2.2.1.1 Perfuração.....	17
2.2.1.2 Perfil litológico e perfil composto.....	21
2.2.1.3 Revestimento – porções sem filtro.....	22
2.2.1.4 Elementos filtrantes.....	25
2.2.1.5 Selamento e laje de proteção sanitária.....	29
<b>3 MÉTODOS</b> .....	<b>30</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>31</b>
4.1 PERFURAÇÃO E REVESTIMENTO.....	32
4.2 FILTRO E PRÉ-FILTRO.....	34
4.3 CIMENTAÇÃO.....	36
4.4 POSIÇÃO DO CRIVO DO CONJUNTO MOTOBOMBA.....	38
4.5 PERFIL LITOLÓGICO.....	39
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>40</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>41</b>
<b>ANEXO 1 – COMPILAÇÃO DE POÇOS ANALISADOS</b> .....	<b>43</b>
<b>ANEXO 2 – TABELAS DE ANÁLISES POR CATEGORIA DE ASPECTO TÉCNICO</b> .....	<b>56</b>
<b>ANEXO 3 – AUTORIZAÇÃO PARA USO DE DADOS</b> .....	<b>65</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água subterrânea constitui importante recurso hídrico no Brasil, tendo contribuído, segundo Rebouças (1996 apud BRASIL, 2015), para o abastecimento de 61% da população brasileira no ano de 1991. No Paraná, em 2001, foi responsável por 15% do abastecimento público nos municípios atendidos pela SANEPAR, sendo que 153 dos 399 municípios paranaenses dependiam exclusivamente de água subterrânea (FELTRIN et al., 2002). Observa-se, a partir de dados mais recentes, que esta teve participação crescente em relação ao total distribuído pela SANEPAR, alcançando 21% do volume captado, mais de 590,5 milhões de m<sup>3</sup> de água em 2014 (BRASIL, 2015).

O acesso às reservas subterrâneas de água depende da ocorrência de surgências naturais (minas, nascentes) ou da implementação de estruturas que visam a captação diretamente em subsuperfície – os poços. Há diferentes tipos de poços, como os escavados (cacimba, com drenos radiais, escavados a trado ou escavados com jato de água), cravados (ou ponteira), galerias horizontais e os denominados poços tubulares profundos, sendo este último o tipo de captação responsável pela extração de maiores volumes de água (CUSTODIO; LLAMAS, 2001; FEITOSA, 2008). De acordo com Rebouças (1996 apud BRASIL, 2015), 43% da água disponível para a população brasileira em 1991 foi obtida por poços tubulares.

Em se tratando do Estado do Paraná, havia em 2014 um total de 5807 poços tubulares profundos com Outorgas de Direito<sup>1</sup> vigentes junto ao Instituto das Águas do Paraná<sup>2</sup> (BRASIL, 2015). Não estão contabilizados nesse montante um grande número de captações, sejam eles poços com outorgas vencidas, poços dispensados de outorga<sup>3</sup> e os clandestinos, operados sem conhecimento do Estado. Desse total de poços cadastrados registra-se que 62,9 % estão instalados no aquífero Serra

---

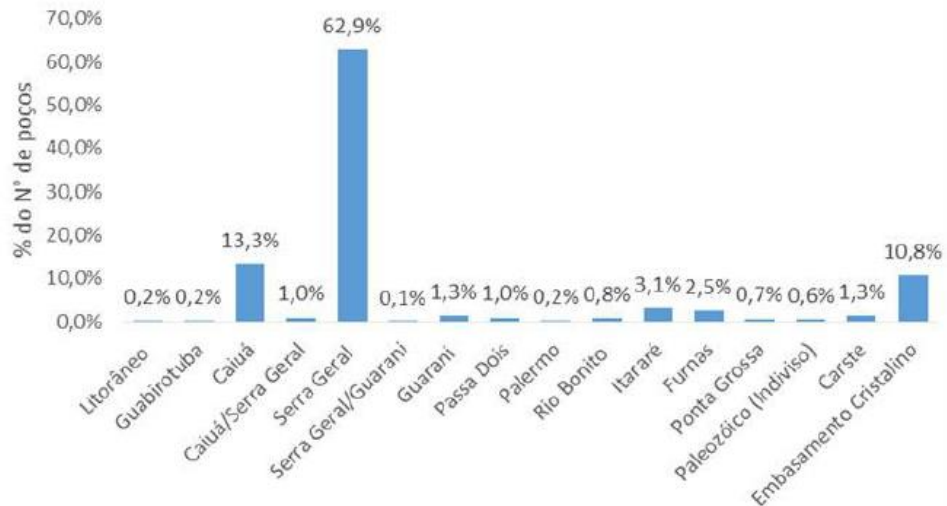
<sup>1</sup> Outorga de Direito é uma modalidade de autorização emitida pelo Estado para pessoa física ou jurídica fazer uso de determinado recurso hídrico (que é de domínio do Estado, como a água subterrânea) sob condições e prazos estabelecidos. Para poços no Paraná a outorga é vigente por 10 anos, período após o qual deve ser renovada.

<sup>2</sup> Autarquia da Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Paraná responsável pela efetivação da Política Estadual de Recursos Hídricos e pela fiscalização dos serviços de saneamento básico. Criada em 2009 pela Lei nº16.242 em substituição a antiga Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (SUDERHSA).

<sup>3</sup> Uso independente de Outorga: modalidade de regularização da captação em que se limita a vazão a 1,8m<sup>3</sup>/h.

Geral e 13,3% no Caiuá (GRÁFICO 1). Verifica-se a significância desses aquíferos também para o abastecimento público: em 2001, 52% da extração de água subterrânea pela SANEPAR foi realizada no Serra Geral, através de 414 poços tubulares; no Caiuá eram operados 121 poços tubulares (FELTRIN et al., 2002).

GRÁFICO 1 - PORCENTAGEM DE POÇOS COM OUTORGAS VIGENTES POR AQUIFERO.



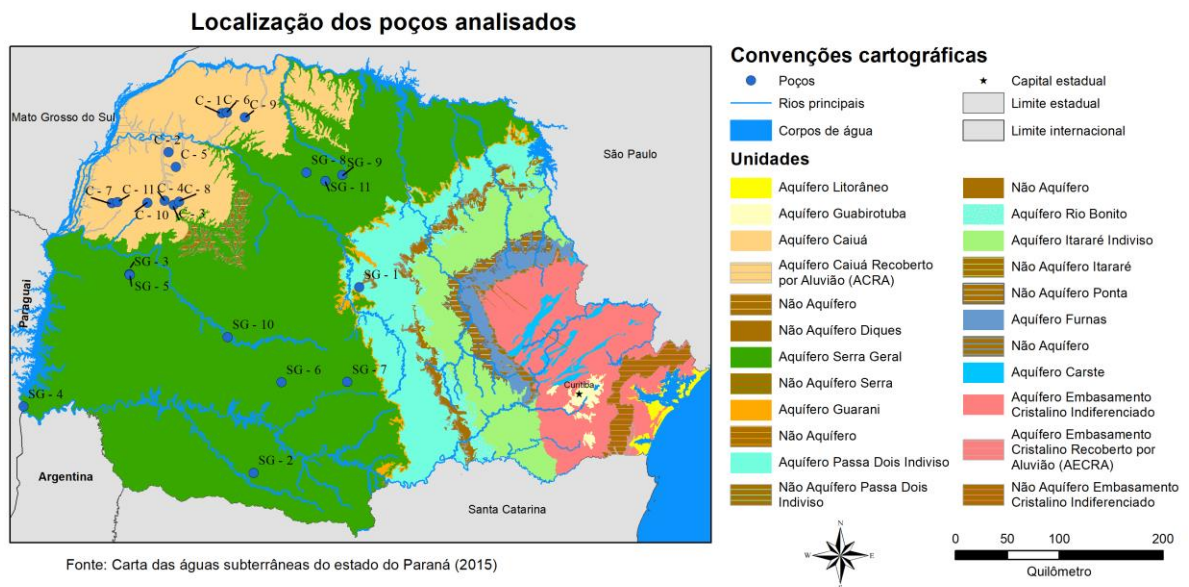
FONTE: BRASIL (2015)

Considerada a importância desses mananciais no fornecimento de água, e visando a manutenção de sua qualidade, faz-se necessário avaliar o modo como tal recurso é utilizado. Parte disso envolve a análise de como é feita sua captação. Dado que os poços tubulares profundos constituem o principal meio para a captação de grandes volumes de água em subsuperfície, objetiva-se neste trabalho contribuir para a caracterização das práticas de implantação destes sistemas, com vistas às normas técnicas estabelecidas e a literatura de referência no campo da hidrogeologia.

Para um balanço completo da qualidade dos poços é necessário utilizar extenso banco de dados (de poços tubulares já implantados) e abordar os diversos aspectos e momentos da implantação destes, como: dimensionamento da demanda, prospecção hidrogeológica e locação, concepção e execução da obra, avaliação do recurso disponível e da qualidade da água. No entanto, pela necessidade de uma abordagem condizente com uma monografia de conclusão de graduação, definiu-se aqui a seleção de um número reduzido de poços para análise, em um total de 22,

distribuídos entre os aquíferos Serra Geral e Caiuá (FIGURA 1). A escolha destes aquíferos se deu por sua posição de destaque no volume de captações. Além disso, optou-se pelo enfoque restrito aos aspectos construtivos, amparado em dados de perfuração e completação dos poços. A partir dessa base de dados, buscou-se estabelecer uma crítica aos problemas encontrados nos poços, indicando consequências possíveis dos desvios técnicos.

FIGURA 1 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS SELECIONADOS



FONTE: BRASIL (2015)

LEGENDA: distribuição dos poços nos aquíferos Serra Geral e Caiuá. Poços identificados segundo código atribuído: "C" para situados no Caiuá, "SG" para Serra Geral. O número depois das letras foi atribuído em ordem de protocolo no Instituto das Águas, de 1 a 11, do mais antigo para o mais recente.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Os questionamentos sobre a qualidade de poços tubulares profundos no Estado do Paraná derivaram da realização de estágio no Instituto das Águas no período entre julho de 2017 e setembro de 2018, no qual a principal atividade era a análise de processos de Outorga de Direito de uso de águas subterrâneas e Uso independente de Outorga. Neste estágio foi possível observar diversos casos de não cumprimento de normas técnicas, sendo necessário solicitar correções ao profissional responsável pela obra. Contudo, não há fiscalização, por parte do Instituto, da efetivação destas medidas, devido à restrição de pessoal. Entre os anos

2009 e 2018 foram emitidas em média 916 Outorgas de Direito por ano (TABELA 1), chegando ao ápice de 2129 em 2018. Neste período, houve flutuações na quantidade de geólogos no Instituto direcionados para a emissão de outorgas, mas sempre se manteve em número inferior à demanda. Em 2017/2018, por exemplo, havia somente dois geólogos, sendo que ambos continham também outras atribuições, como tratamento de Anuências Prévias e funções administrativas (GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ, 2019). Neste contexto ficam frequentemente impossibilitados de coordenar e executar trabalhos de fiscalização.

TABELA 1 - NÚMERO DE OUTORGAS POR ANO

Outorgas de Direito de uso de águas subterrâneas emitidas por ano no Paraná											
Ano	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019*
Nº de outorgas emitidas	752	925	729	1189	669	665	747	841	510	2129	1218
Média de emissões	916										*até maio

FONTE: autoria própria, com base em dados do AGUASPARANA (2019).

Se aliarmos a importância da água subterrânea para a satisfação da demanda por recursos hídricos à capacidade do Estado de regular sua extração, com o fato que profissionais da hidrogeologia e empresas de perfuração de poços eventualmente cometem desvios técnicos, temos um cenário crítico de possível comprometimento da qualidade dos aquíferos, além de danos materiais e à saúde de proprietários de poços. Assim sendo, aponta-se aqui a necessidade de expor e dimensionar o problema, visando motivar sua resolução. A forma encontrada para contribuir neste sentido foi abordar uma parte da questão, no que tange às práticas construtivas de poços tubulares nos dois aquíferos paranaenses mais relevantes em volume de captação.

## 1.2 OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho é contribuir para uma avaliação da situação das captações de água subterrânea no Estado do Paraná, expondo suas

deficiências e possíveis danos resultantes delas. Dada a impossibilidade de um balanço completo, optou-se por abordar um fração da questão: os problemas construtivos encontrados de forma recorrente em poços tubulares profundos nos aquíferos Serra Geral e Caiuá, demonstrando-os a partir de exemplos concretos, com base em dados coletados no Instituto das Águas do Paraná. Para esta abordagem tomou-se por referência as normas técnicas brasileiras e a literatura consagrada na área da hidrogeologia.

A partir destes casos selecionados, espera-se demonstrar a diversidade e de problemas, expressas no trabalho de diferentes geólogos e empresas, e com ampla distribuição espacial nos aquíferos. Assim, espera-se fomentar a necessidade de estudos mais abrangentes e que resultem em iniciativas de preservação da água subterrânea, com implantação, se necessário, de novas políticas e modelos de gestão.

## **2 CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO E CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

Buscando estabelecer parâmetros para a avaliação dos casos selecionados, cabe abordar sinteticamente alguns aspectos técnico-teóricos no que diz respeito aos aquíferos em questão e a implantação de captações de água subterrânea, com destaque para os aspectos construtivos de poços tubulares profundos.

### **2.1 CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO**

O aquífero Serra Geral, ou Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), do tipo fissural e livre, de águas bicarbonatadas cálcicas a bicarbonatadas cálcico-magnesianas, constitui-se de rochas vulcânicas formadas por sucessivos derrames de magmas basálticos que recobriram 75% da Bacia Sedimentar do Paraná por sucessivos derrames. Neste aquífero a água se movimenta por estruturas horizontais e sub-horizontais atectônicas, como contatos entre derrames e zonas vesiculares, assim como verticalizadas, como fraturas e falhas; estas últimas conectam o sistema e permitem sua recarga. O fluxo de água subterrânea ocorre, a nível regional, de leste para oeste, podendo apresentar condicionantes locais que alteram esta orientação. Enquanto fatores de controle regional no Estado do Paraná

cita-se o próprio gradiente da bacia, já enquanto determinantes locais, as principais drenagens (ATHAYDE; ATHAYDE, 2015; FRAGA, 1986 apud FELTRIN et al., 2002).

Em estudo com base em 337 poços da SANEPAR distribuídos no SASG, Athayde e Athayde (2015) obtiveram o valor de capacidade específica média de 1,5 m<sup>3</sup>/h/m. Demonstraram também correlações entre a proximidade com lineamentos, hierarquia de lineamentos (pertencentes ao arcabouço estrutural do Serra Geral ou não), orientação espacial dos lineamentos, vazão e capacidade específica. Destacaram-se em capacidade específica os poços próximos a lineamentos (traçados na escala 1:600.000) de direção entre N50E e N60E. Além disso, observa-se em tal estudo o incremento de vazão e capacidade específica na medida em que os poços se aproximam de lineamentos do arcabouço estrutural (observáveis em escala 1:2.500.000).

Aponta-se ainda a importância da densidade de lineamentos e da geomorfologia do terreno na prospecção de água nesse aquífero: maior densidade de lineamentos sendo um aspecto favorável a maior produtividade, assim como a localização dos poços em vales em V (ATHAYDE; ATHAYDE, 2015). Ainda associado à geomorfologia do Serra Geral tem-se que o manto de intemperismo tem espessura variável, de muito pouco presente a em torno de 30 metros, com maiores espessuras em regiões topograficamente mais elevadas (REBOUÇAS, 1976)

Sobre o Serra Geral, no noroeste do Estado do Paraná, ocorre o aquífero Caiuá, que caracteriza-se como livre e de porosidade intergranular. Constitui-se de arenitos finos a médios, quartzosos a subarcoseanos, com porosidade média entre 15% e 22%, localmente com intercalações de lamitos e carbonatos, e espessura saturada em geral entre 50m e 100m (CELLIGOI, 2000). Fernandes e Coimbra (1994) dividem o Grupo Caiuá em 3 formações, que ocorrem no Paraná com diferentes espessuras totais: a Fm. Goio-erê, localizada na borda da bacia, chega a 50 metros, enquanto a Fm. Rio Paraná tem espessura máxima de 277m; há ainda a Fm. Santo Anastácio de ocorrência restrita.

Apesar do predomínio de arenitos de origem eólica, formados em ambiente desértico, com boa porosidade primária devido ao bom grau de seleção, Rebouças (1976) e Fernandes (1992 apud CELLIGOI, 2000) indicam que localmente o aquífero pode comportar-se como confinado por intercalações com rochas de baixa permeabilidade. Celligoi (2000) confirma, através da análise de perfilagens geofísicas de poços, que esta é uma característica não dominante.

Segundo Celligoi (2000), a partir de estudo conduzido com base em 168 poços, a vazão média para o aquífero Caiuá é de 15,3 m<sup>3</sup>/h, porém 38,5% dos poços tem vazão menor do que 5 m<sup>3</sup>/h. A capacidade específica média é de 0,8 m<sup>3</sup>/h/m, com 55,5% dos poços apresentando valores inferiores a 0,5 m<sup>3</sup>/h/m. Valores maiores de condutividade hidráulica e transmissividade estão associados às áreas de maior espessura saturada, na porção centro-noroeste do aquífero. A superfície potenciométrica tende a acompanhar o relevo, dado o caráter em geral livre do aquífero, com tendência regional de diminuição da potenciométrica em direção a calha do Rio Paraná. A respeito da classificação da água observa-se predomínio de bicarbonatadas cálcicas a calco-magnesianas.

Em se tratando da conexão entre os dois aquíferos, Serra Geral e Caiuá, visto que são sobrepostos, Bettú et al. (2006) afirmam que esta é favorecida por estruturas tectônicas comuns a ambos. Tal conclusão foi alcançada comparando feições estruturais de superfície no Grupo Caiuá com lineamentos magnetométricos do Serra Geral, localizando elementos semelhantes e avaliando possíveis trocas de águas entre os sistemas nestes locais. Através de análises químicas de água de poços verificou-se que há frequente mistura de águas do SASG, com mais Sódio e Magnésio (originados de plagioclásios e minerais máficos, respectivamente), às do aquífero Caiuá, de característica potássica (do intemperismo de feldspato alcalino). A mistura é mais intensa em regiões de maior conexão por estruturas rúpteis e de menor espessura de arenitos, e tende a ser ausente em regiões de arenitos muito espessos.

## 2.2 CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Comparando dois aquíferos de tipos distintos, fissural e intergranular, verificam-se diferenças significativas, como tipo de porosidade, composição do substrato rochoso, propriedades hidráulicas. E mesmo no interior de um aquífero há variações, como: espessura de solo/manto de intemperismo, potenciométrica, resistência mecânica das rochas, maior ou menor porosidade. Sendo assim, a captação da água subterrânea deve ser concebida adaptando suas características às particularidades do aquífero.

Para obter captações eficientes, visando contemplar as situações geológicas variadas e atendendo uma demanda com segurança operacional e ambiental, há

parâmetros técnicos a serem considerados. Dado o enfoque em poços tubulares profundos neste trabalho, trataremos a seguir dos parâmetros que conduzem neste sentido, tomando por referência as normas da ABNT NBR12212 e NBR12244, que regem o projeto e a execução de poços tubulares profundos, respectivamente, e arcabouço científico na área de hidrogeologia.

De acordo com Driscoll (1987) o projeto de um poço deve ter como objetivos: a maior vazão com o menor rebaixamento possível, compatíveis com a capacidade do aquífero; água de boa qualidade, devidamente protegida de contaminação; durabilidade, com vida útil de pelo menos 25 anos; custo adequado, tanto de em perspectiva de curto prazo quanto longo prazo. A implantação de um poço tubular profundo passa por diversas etapas, que se iniciam no dimensionamento da demanda a ser atendida e na busca por condições hidrogeológicas favoráveis ao atendimento desta.

Para obter informações hidrogeológicas Driscoll (1987) sugere que há quatro grandes categorias de técnicas de exploração: mapas e relatórios hidrogeológicos, levantamentos geofísicos de superfície e de poço (perfilagem), procedimentos de amostragem. O autor destaca ainda a importância de cartas topográficas e interpretação de imagens aéreas para atuar em áreas inexploradas. Feitosa (2008) aponta também o papel dos dados de poços perfurados nas proximidades da área de estudo, os quais podem fornecer parâmetros hidrodinâmicos. Com esse cruzamento de dados pode-se chegar a um conjunto de parâmetros estimados, como potenciometria, espessura de camadas geológicas, capacidade específica – tudo a depender da qualidade e densidade de dados iniciais. E amparado neste levantamento deve-se avaliar a vulnerabilidade dos aquíferos a contaminação (ABNT, 2006a).

Uma vez conhecidas as características do aquífero com a maior precisão possível e determinado o local de instalação do poço (considerando o potencial hídrico e condições logísticas), deve-se proceder com o projeto (ou pré-projeto). Neste estarão contidas as características prováveis, como profundidade, nível estático e dinâmico, vazão, materiais a serem empregados na construção, sujeitos a confirmação após perfuração. Registra-se também dados como demanda e método de perfuração (ABNT, 2006a). Poços tubulares podem ser perfurados por três métodos essenciais (com variações possíveis): percussivo (em desuso), rotativo, rotopneumático (CUSTODIO; LLAMAS, 2001; DRISCOLL, 1987; FEITOSA, 2008).

Durante e após a perfuração é possível refinar o conhecimento sobre o aquífero e a partir disso melhor dimensionar o projeto. Em geral é possível reconhecer as entradas de água, estimar a vazão e descrever as litologias atravessadas, além de se poder executar geofísica de poço. A partir daí, com base no pré-projeto e nas novas informações, é realizada a completação do poço, incluso: revestimento (em alguns casos parte é inserido durante a perfuração) e filtro (quando necessário), pré-filtro (associado existência de filtros), cimentação (selamento) do espaço anular e laje de proteção. A bomba submersa a ser utilizada na operação do poço tende a ser instalada após limpeza, desenvolvimento e teste de produção/bombeamento (FEITOSA, 2008).

Estando concluído o poço, já com bomba e tubulações próprias instaladas, é efetuada desinfecção do poço. Após essa etapa procede-se com a avaliação qualidade da água. Esta deve ser executada com atenção a boas práticas de coleta e análise. Fetter (2001, p. 389-397) indica quatro passos de um planejamento cauteloso de amostragem: determinação do objetivo das análises; definição do número de amostras a serem coletadas; seleção dos elementos a serem analisados e limites de quantificação esperado para cada um; planejamento de controle de qualidade, por exemplo, através do envio de amostras duplicadas (teste de precisão) ou com concentrações conhecidas (teste de acurácia) ao laboratório.

### 2.2.1 Poços Tubulares Profundos – aspectos construtivos

Seguindo com a caracterização das práticas recomendadas na implantação de poços tubulares, abordaremos com mais detalhe alguns aspectos diretamente relacionados ao escopo do trabalho, ou seja, com enfoque nas características construtivas que espera-se observar nos casos escolhidos. Portanto, incluem-se aqui os procedimentos realizados entre a perfuração e a completação do poço. São estes: perfuração (seguindo profundidade e diâmetros projetados) e verificação da perfuração; elaboração de perfil litológico (com base em descrição de amostras, perfilagem geofísica e análises laboratoriais); dimensionamento de coluna de revestimento, filtros (com abertura apropriada a formação e ao pré-filtro) e pré-filtro; instalação de revestimento e filtros; instalação de pré-filtro; selamento, ou cimentação e construção de laje de proteção sanitária. Alguns destes serão tratados em conjunto e parte do pré-projeto será também discutido, visto que determina os

resultados nessa fase da implantação do poço. Não serão contemplados, conseqüentemente, procedimentos prévios, como a pesquisa hidrogeológica, nem posteriores, como desenvolvimento, desinfecção e teste de bombeamento.

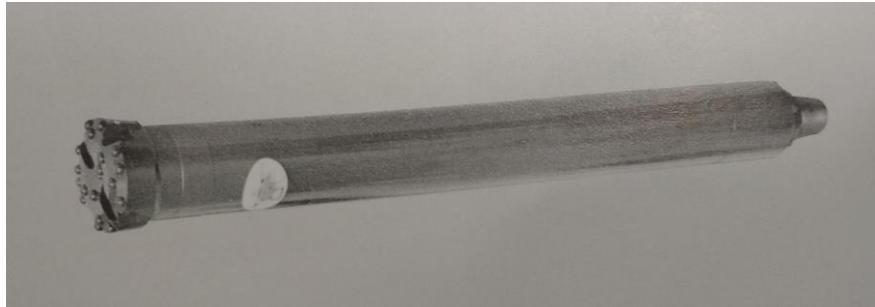
#### 2.2.1.1 Perfuração

As dimensões da perfuração (diâmetros e profundidade) de um poço são determinadas essencialmente pela vazão pretendida, já estabelecida com base na disponibilidade hídrica do aquífero, e pelas características geológicas-hidrogeológicas locais (ABNT, 2006a). O diâmetro deve ser suficiente para acomodar os elementos a serem instalados em seu interior e para que, dada uma vazão, a velocidade da água no interior do poço (revestido ou não) não ultrapasse 1,5 m/s, evitando excessiva perda de carga (DRISCOLL, 1987, p. 416). A profundidade, por sua vez, deve ser projetada de modo que o poço atravesse a totalidade da camada aquífera, com exceção de situações que tornem isso economicamente inviável, como em aquíferos muito espessos (CUSTÓDIO; LLAMAS, 2001, p. 1672). Driscoll justifica esta medida afirmando que assim:

1. Maior espessura de aquífero pode ser utilizada como área de captação do poço, resultando em maior capacidade específica.
2. Maior rebaixamento estará disponível, permitindo maior produção pelo poço.
3. Rebaixamento suficiente fica disponível para manter a produção do poço mesmo durante períodos de severa seca ou superexploração. (DRISCOLL, 1987, p. 432, tradução nossa).

Para executar a perfuração deve-se escolher o método mais adequado às condições geológicas locais, sendo os dois principais o rotopneumático (ou rotopercussivo) e o rotativo. O primeiro se utiliza de ferramenta pneumática acionada por compressor, o martelo, que percute a broca (bit) na rocha em alta taxa de repetição, fragmentando-a (FIGURA 2). Ao mesmo tempo o aparato é pressionado contra a rocha e rotacionado pela haste de perfuração, contribuindo para a abrasão e remoção do material lítico. Neste método o resíduo produzido é retirado do poço por fluxo de ar injetado a partir do martelo, elevando os fragmentos de rocha pelo espaço anular (ao redor da coluna de perfuração) (DRISCOLL, 1987; FEITOSA, 2008, p. 436). Se necessário, podem ser adicionados água e agentes surfactantes (espumantes) para facilitar o carreamento de material (ABNT, 2006b).

FIGURA 2: FERRAMENTAS DE PERFURAÇÃO ROTOPNEUMÁTICA



FONTE: DRISCOLL (1987).

LEGENDA: martelo pneumático com bit acoplado.

O método rotativo, por sua vez, que atua por abrasão da rocha via rotação da broca (FIGURA 3), tem como uma de suas principais características a necessidade de sempre utilizar um fluido de perfuração. Este deve ser à base de água, acrescido de argila ou polímeros, sem presença de hidrocarbonetos ou quaisquer substâncias com potencial poluidor do aquífero e ter suas propriedades físico-químicas (como viscosidade, densidade, pH, composição) especificadas e monitoradas conforme as exigências de cada caso. Tem como funções a remoção de detritos originados na perfuração, estabilização do furo (evitando desmoronamentos), resfriamento e lubrificação da broca, controle da perda de fluídos (formando uma película na parede do poço), manter detritos em suspensão quando a perfuração e circulação de fluido não estão em curso (evitando seu assentamento no fundo do furo, o que poderia levar a travamento da broca). Além disso, pode favorecer a execução de alguns métodos geofísicos de poço<sup>4</sup> (DRISCOLL, 1987; CUSTÓDIO; LLAMAS, 2001, p. 1698).

---

<sup>4</sup> Mas vale ressaltar que depende muito dos métodos empregados. A lama de perfuração altera os parâmetros de resposta dos sensores, podendo resultar em impacto negativo. O importante é conhecer o método geofísico em uso e o funcionamento dos sensores.

FIGURA 3 – BROCA DE SONDA ROTATIVA



FONTE: DRISCOLL (1987)

LEGENDA: exemplo de broca tricônica, de utilização comum em perfurações com método rotativo.

A circulação de fluido de perfuração, também chamado lama de perfuração, pode ser feita de duas formas, direta ou inversa. Na primeira o fluido é bombeado por dentro da coluna de perfuração e o material perfurado ascende pelo espaço anular; no segundo a lama é inserida no espaço anular, descendo por ação gravitacional, e é succionada pela ferramenta de perfuração no fundo do poço. A circulação inversa tem como vantagem poder exercer maior pressão sobre as paredes do poço com menor risco de provocar erosão, mas dado o caráter gravitacional é mais recomendada para perfurações de maior diâmetro, no qual o volume (e massa) de fluido é maior.

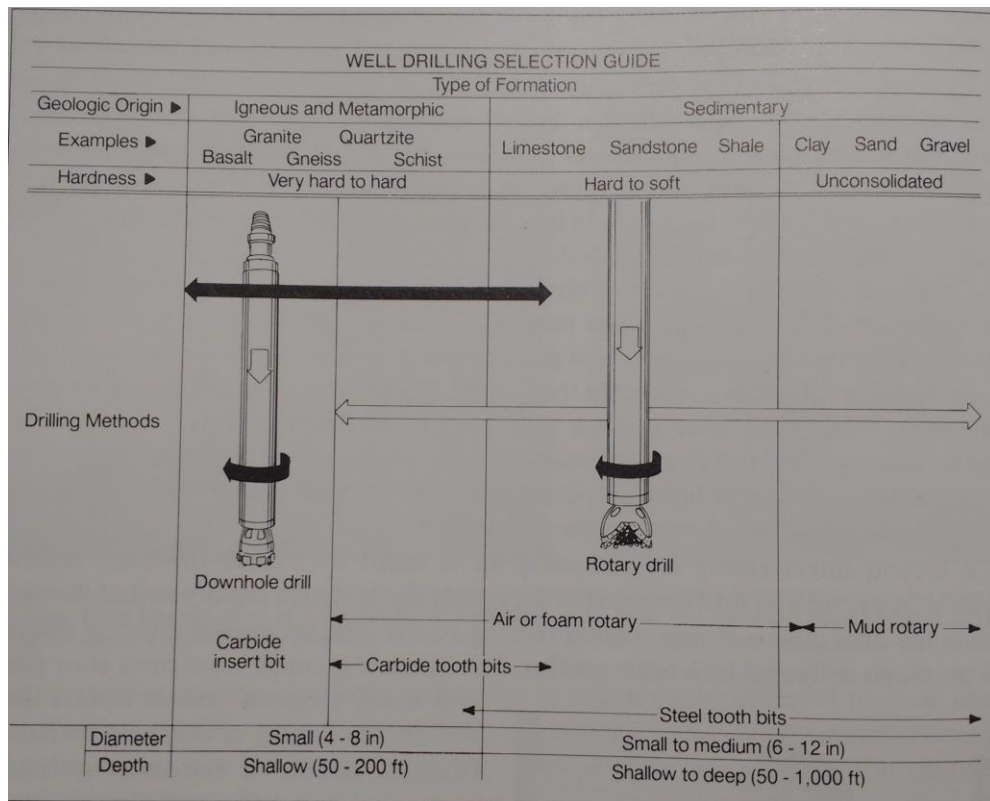
A sonda rotativa também se diferencia da rotopercussiva por não conter mecanismo ativo que pressione a broca sobre a rocha. O aumento do atrito é dependente do próprio peso exercido pela coluna de perfuração, sendo comum a adição de segmentos mais massivos acima da broca para incrementar esta força. De todo modo, em ambos os métodos a pressão sobre a rocha deve ser bem dimensionada de maneira a garantir a verticalidade e alinhamento do furo<sup>5</sup>, apesar de em grandes profundidades ser praticamente impossível a perfeição nos dois parâmetros (DRISCOLL, 1987, p. 333)

Como estes dois métodos de perfuração atuam de forma diferente sobre o substrato, seu potencial de aplicação também é diferenciado (FIGURA 4). O ropneumático é muito produtivo (rápido avanço da perfuração) em rochas mais rígidas e compactas, como granitos, quartzitos e basaltos, mas pouco produtivo em sedimentos inconsolidados, por exemplo. Já o rotativo favorece a operação em rochas mais friáveis e pela possibilidade do uso de fluídos de alta densidade é mais seguro em formações geológicas desmoronantes. Apesar disso, também pode ser aplicado em rochas cristalinas sãs, mas com menor eficiência.

---

<sup>5</sup> Verticalidade e alinhamento dizem respeito, respectivamente, à inclinação do furo em relação à superfície, sendo 90° o ideal para poços produtores de água, e ao quão retilíneo é o furo.

FIGURA 4 – MÉTODOS DE PERFURAÇÃO SEGUNDO TIPO DE FORMAÇÃO



FONTES: DRISCOLL (1987)

LEGENDA: sugestões de utilização dos métodos rotopneumático (*downhole drill*) e rotativo (*rotary drill*) segundo condições geológicas/reológicas, diâmetro e profundidade, aliada a recomendação de fluido.

Recomendações adicionais sobre a perfuração são: a possibilidade de realizar furo guia (furo piloto, ou ainda poço de exploração) para investigação, a ser alargado para atingir diâmetro final previsto; e garantir o registro das entradas de água atingidas (ABNT, 2006a, 2006b). Também é importante seguir corretos procedimentos de amostragem dos materiais geológicos e de aferição de verticalidade e alinhamento.

### 2.2.1.2 Perfil litológico e perfil composto

A perfuração do poço garante acesso direto ao meio geológico, permitindo as devidas adaptações no pré-projeto. A investigação de qualidade nesse momento é essencial para garantir um poço eficiente. Esta pode ser dividida em ao menos 3 procedimentos distintos: a descrição de amostras obtidas durante a sondagem, a análise laboratorial de amostras e a perfilagem geofísica.

Para descrição litológica a norma da ABNT NBR12244/2006 considera obrigatória a coleta de amostras no decorrer da perfuração a cada 2 metros e a cada mudança litológica. Já para a amostragem dirigida a análise em laboratório (análise granulométrica) é exigida uma porção de no mínimo 1Kg. Sua função é obter a curva granulométrica da formação geológica e deve ser feita sempre que houver variações significativas na rocha com potencial aquífero. Tal informação permite o correto dimensionamento dos elementos filtrantes. Em laboratório podem ser conduzidos ainda testes de condutividade hidráulica de amostras para estudo de camadas saturadas (DRISCOLL, 1987, p. 432).

A perfilagem geofísica, finalmente, consiste em uma gama de métodos de investigação via equipamentos específicos, que ao percorrerem o interior do poço (seja durante ou após a perfuração) fornecem informações sobre as propriedades físicas do meio. Quando combinados entre si e com o perfil litológico descrito permitem o detalhamento do perfil do poço e o aprofundamento do conhecimento sobre a formação, resultando em um perfil composto. Como exemplos de métodos geofísicos de poço e suas funções pode-se citar, entre outros: gamaespectrometria, que permite avaliar argilosidade da formação; sônico, que proporciona informações sobre a densidade das rochas, e conseqüentemente porosidade; resistividade, favorável para identificação da zona saturada (FETTER, 2001, p. 492). O uso de cada método deve ser avaliado de acordo com o projeto em questão e tem também determinações econômicas.

#### 2.2.1.3 Revestimento – porções sem filtro

O revestimento do poço tem como principais funções sustentar a parede do poço, isolar porções indesejadas do substrato/aquífero (seja em solo ou rocha), servir de conduto hidráulico (mais significativo em poços completamente revestidos). Há diversos materiais disponíveis para sua construção, mas os mais comuns são os tubos de aço ou de material termoplástico. A escolha do material deve ser coerente com as características do meio perfurado e do projeto. Driscoll observa que deve ser feita com base em “qualidade da água, profundidade do poço, custo, diâmetro da perfuração, procedimento de perfuração (ou método de perfuração) e regulamentações federais, estaduais e locais” (DRISCOLL, 1987, p. 418, tradução nossa). A norma brasileira que rege o projeto de poços tubulares expressa em

outros termos, em parte equivalentes, os parâmetros de seleção de materiais dos tubos de revestimento:

O revestimento deve ser especificado quanto à natureza, resistência mecânica, corrosão, estanqueidade das juntas, manuseabilidade na colocação, resistência às manobras de operação e manutenção do poço. (ABNT, 2006a, p. 10)

Os tipos de tubos, por sua vez, possuem normas próprias como DIN 2440 e NBR 5590, além das especificações dos fabricantes. O mesmo vale para as seções filtrantes, discutidas mais adiante. Tais normas visam padronizar os materiais garantindo confiabilidade e facilitando a escolha dos parâmetros adequados a cada projeto.

Além do tipo da tubulação são inclusas no pré-projeto (e refinar no projeto) as dimensões da mesma. Em aquíferos com necessidade de revestimento total o comprimento deve ser suficiente para completa-lo (entre tubos fechados e seções filtrantes), tomando o cuidado de isolar as porções suscetíveis a contaminação superficial. Já em caso de poços parcialmente revestidos tem-se como exigência penetrar ao menos 3 metros em rocha não desmoronável/sã, impossibilitando a percolação de contaminantes superficiais que eventualmente circulem no solo ou rocha intemperizada (ABNT, 2006a). Em relação à porção exposta na superfície a indicação é igual para ambos os tipos de poços: ao menos 30cm de saliência deve ser garantida, com o cuidado de deixar tubos mais extensos em áreas sujeitas a inundação (DRISCOLL, 1987, p. 624).

A outra dimensão a ser definida é o diâmetro, sendo necessário nesse ponto considerar o diâmetro nominal, ou seja, o interno. Mais uma vez deve-se considerar que o fluxo de água no interior do poço não ultrapasse 1,5m/s e que seja possível acomodar o conjunto motobomba (TABELA 1). Custodio e Llamas (2001, p. 1673) sugerem distância de 75mm a 100mm entre a superfície externa da bomba e a parede do tubo, enquanto a norma brasileira sugere seguir as recomendações do fabricante do sistema de bombeamento. Estas observações são válidas para poços em que a câmara de bombeamento se localiza no interior do tubo. Em poços parcialmente revestidos com câmara de bombeamento em rocha exposta a parede rochosa determina o diâmetro nominal do poço, sendo a referência para o distanciamento da bomba.

TABELA 2 – DESCARGA (VAZÃO) MÁXIMA RECOMENDADA POR DIÂMETRO DE TUBO

Diâmetro do tubo		Máxima descarga	
pol	mm*	m <sup>3</sup> /dia	m <sup>3</sup> /h
4	102	1090	45,42
5	127	1690	70,42
6	152	2450	102,08
8	203	4250	177,08
10	254	6700	279,17
12	305	9590	399,58
14	337	11700	487,50
16	387	15500	645,83
18	438	19800	825,00
20	489	24700	1029,17
24	591	36100	1504,17
* Diâmetro interno			

FONTE: modificado de Driscoll (1987, p. 417)

LEGENDA: vazão máxima possível por diâmetro de tubo (considerando padrões médios de espessura de parede de tubo) para manter velocidades de fluxo inferiores a 1,5m/s e minimizar perda de carga. Não está em questão a especificação da motobomba, cujo diâmetro envolve outras considerações.

A NBR 12212/2006 recomenda diâmetro nominal mínimo de 150mm, com exceções possíveis para poços de baixa vazão em que são aceitáveis medidas de 100mm e 125mm. Os poços podem ser completados em diâmetros diversos, sendo comum um perfil telescópico, com redução gradativa do diâmetro com o avanço da profundidade. É possível ainda utilizar revestimentos provisórios para sustentar o substrato desmoronante durante a perfuração. Estes tem diâmetro maior que o final para garantir a passagem de equipamentos de perfuração e podem ser removidos posteriormente ou mantidos (CUSTODIO; LLAMAS, 2001).

Durante a colocação dos tubos no poço é importante garantir a equidistância em relação às paredes da perfuração. Isto é possível com o uso de centralizadores distribuídos em intervalos regulares. Este procedimento também mantém centralizadas as seções filtrantes, das quais trataremos a seguir.

#### 2.2.1.4 Elementos filtrantes

Constituem os elementos filtrantes o filtro e o pré-filtro<sup>6</sup>. O primeiro é um tubo especial com aberturas em suas paredes que permite entrada de água ao mesmo tempo em que retém a maior parte do material desprendido da formação (FIGURA 5). São necessários sempre que houver material desmoronante ou friável nas zonas produtivas do aquífero, de modo a garantir a sustentação (ABNT, 2006a). Sendo assim, sua aplicação é mais comum em aquíferos de porosidade intergranular, em rochas sedimentares ou sedimentos inconsolidados. Mas existem situações mesmo em rochas cristalinas que podem exigir filtros, como excesso de material solto no interior de fraturas.

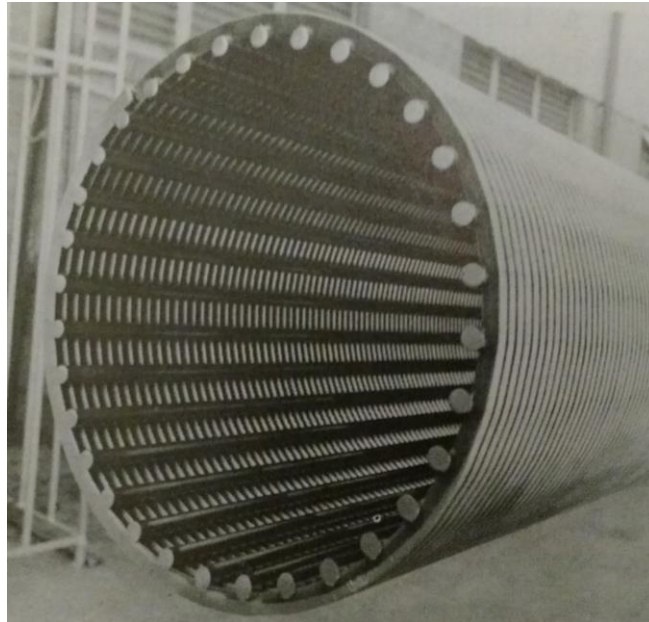
O projeto do filtro de um poço passa pelo dimensionamento de sua extensão e posição, diâmetro, abertura, tipo e material. Envolve ainda a decisão sobre a necessidade ou não de pré-filtro. Estas escolhas, assim como nos demais elementos do projeto, são baseadas nas características operacionais desejadas e no conhecimento da geologia local, já provido dos conhecimentos pós-perfuração. Como um todo, os atributos escolhidos devem proporcionar alta porcentagem de área aberta<sup>7</sup>, aberturas com pouca tendência a entupimento e incrustação, resistência mecânica e química, facilidade de desenvolvimento, pouca perda de carga no filtro (DRISCOLL, 1987. p. 395).

---

<sup>6</sup> O pré-filtro é um elemento construtivo do poço constituído de material arenoso com granulometria, coeficiente de uniformidade e composição definidos. Auxilia na filtragem e cria espaço ao redor do filtro com condutividade hidráulica mais elevada do que a das rochas circundantes. Por ser homogêneo também favorece um fluxo de água radial ao redor do poço. É utilizado em contextos em que o desenvolvimento natural do poço não permite alcançar os resultados desejados.

<sup>7</sup> Porcentagem de área aberta, ou área aberta total, é definida pela razão entre o somatório das áreas das aberturas e a área total de tubo da seção filtrante (ABNT, 2006b).

FIGURA 5 - FILTRO ESPIRALADO



FONTE: DRISCOLL (1987)

LEGENDA: Exemplo de filtro espiralado.

NOTA: Filtros espiralados, como o da imagem, são construídos enrolando uma tira metálica contínua ao redor de hastes de sustentação. Estas tiras tem formato trapezoidal, com a área mais estreita voltada para dentro do tubo, reduzindo o risco de entupimento. É o filtro com maior área disponível para entrada de água, além de permitir um fluxo radial homogêneo ao seu redor, evitando turbilhonamento.

A extensão total de filtros, somadas todas as suas seções, é diretamente proporcional à vazão desejada e inversamente proporcional à área aberta total, diâmetro do filtro e velocidade de entrada de água (ABNT, 2006a). Há pelo menos três situações hidrogeológicas distintas que direcionam a diferentes abordagens no posicionamento de filtros: aquíferos livres, semi-confinados e confinados. No primeiro o poço deve atravessar, sempre que possível, toda a camada aquífera e ter os filtros instalados no seu terço ou metade inferior; caso seja um aquífero livre heterogêneo é aconselhável favorecer os horizontes mais produtivos (CUSTÓDIO; LLAMAS, 2001; DRISCOLL, 1987, p. 434). Em aquíferos semi-confinados e confinados as fontes na literatura e normas de referência divergem em termos de valores, apesar de a ideia geral ser a mesma. ABNT (2006a) sugere a aplicação de filtros na totalidade da camada aquífera, Custódio e Llamas (2001) entre 70% e 80% da espessura total, e Driscoll (1987, p. 343) de 80% a 90%. Apesar destas diferenças há duas regras que devem ser respeitadas em todas as situações. O nível dinâmico deve ser mantido acima das seções filtrantes (CUSTÓDIO; LLAMAS,

2001, p. 1726). E “o crivo da bomba não deve ser posicionado no filtro do poço, porque levará a ocorrência de padrões de fluxo distorcidos nas proximidades do filtro” (DRISCOLL, 1987, p. 596), podendo levar a incrustação, corrosão e bombeamento de areia.

Como visto, a extensão e posição do filtro tem fortes determinações da geologia local. E o mesmo ocorre para a escolha da abertura<sup>8</sup>. Esta é necessariamente definida com base nas características granulométricas das rochas ou sedimentos, cujo conhecimento se dá pela análise granulométrica. Nos casos em que o filtro é empregado desacompanhado de pré-filtro ele deve ser capaz de reter entre 30% e 50% (ABNT, 2006b; CUSTÓDIO; LLAMAS, 2001, p. 1726). E quando assistido por pré-filtro deve reter 90% do material deste.

O pré-filtro, por sua vez, deve auxiliar na filtragem de modo que o conjunto do sistema filtrante retenha 90% do material desprendido da formação. As especificações do pré-filtro capazes de garantir essa meta somente podem ser definidas em posse da curva granulométrica da rocha ou sedimento. A eficiência do pré-filtro é determinada também por sua espessura (dada pelo espaço anular disponível) e extensão vertical. Em teoria pré-filtros com apenas 0,5 polegadas de espessura seriam suficientes para cumprir sua função, mas essa medida impossibilitaria a inserção do material no espaço anelar. Sendo assim, é indicado espaço anular com ao menos 3 polegadas (aproximadamente 75mm). No outro extremo recomenda-se não exceder 8 polegadas de espessura, pois o incremento desta dimensão dificulta o desenvolvimento do poço (CUSTÓDIO; LLAMAS, 2001; DRISCOLL, 1987). Quanto à extensão vertical, deve acompanhar a dos filtros, porém com um acréscimo de 25% do comprimento total, posicionando esse excedente acima do topo do filtro (DRISCOLL, 1987, p. 482).

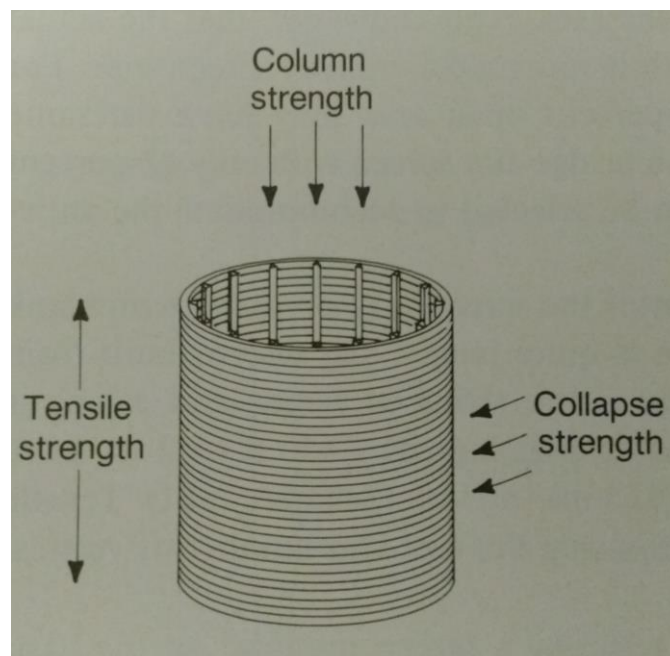
No que concerne o design do sistema filtrante falta ainda escolher o tipo do filtro e seu diâmetro. E até certo ponto estes são mutuamente determinados. Uma vez decididos vazão, comprimento total de seção filtrante e abertura há três cuidados a serem tomados: a área aberta total deve ser suficiente para que a entrada de água nas ranhuras (ou orifícios) do filtro não atinja velocidades superiores a 0,3 m/s; a velocidade da água no interior dos tubos, seja de filtro ou

---

<sup>8</sup> Abertura é o espaço vazado (orifício ou ranhura) na parede do tubo que deve permitir a entrada de água e reter parte do material da formação geológica. Normalmente é apresentada em milímetros.

revestimento, não deve exceder 1,5m/s; os filtros devem ter integridade estrutural suficiente para suportar os esforços (FIGURA 6) de instalação e operação (DRICOLL, 1987, p. 449). A área aberta total, a esta altura do projeto pode ser ajustada com variação do diâmetro ou do tipo de filtro. O primeiro elemento por uma propriedade geométrica (maior diâmetro resultando em maior superfície do cilindro) e o segundo pelo grau de aproveitamento da superfície do tubo como entrada de água. Diferentes tipos de filtros utilizam tipos e formas de ranhuras variadas, e as propriedades mecânicas dos materiais empregados, assim como a forma como são projetados, permitem maior ou menor área aberta total. De modo geral, quanto maior a área aberta menor é a resistência dos filtros a esforços. Mas isso pode ser parcialmente compensado com materiais mais resistentes, ou com design que mantenha a solides estrutural sem perda de área aberta.

FIGURA 6 – ESFORÇOS ATUANTES NO FILTRO



FONTE: DRISCOLL (1987)

LEGENDA: esforços que agem sobre o filtro. Na vertical atuam o peso da própria coluna de tubos (que se manterá ativo durante toda a vida do poço) e esforços de tração (durante a instalação dos tubos, enquanto estão suspensos). No eixo horizontal há esforços de colapso, pela pressão exercida pelo substrato rochoso.

Cabem ainda algumas considerações adicionais sobre diâmetro e tipo de filtro. O diâmetro tem interferência na vazão do poço, mas é menos significativo do que a extensão dos filtros, e por isso nesse momento fica subordinado. Os materiais

constituintes dos filtros devem ser adaptados ao quimismo da água no local, sendo capazes de resistir à corrosão. O filtro deve, ainda, ter baixo potencial de incrustação e entupimentos. E isso vai depender tanto do projeto do filtro em si, quanto de sua instalação e operação. Um aumento de vazão capaz de levar a velocidades de entrada de água nos filtros acima de 0,3m/s, por exemplo, pode favorecer a incrustação de ferro ao turbilhonar o fluído, oxigenando-o.

#### 2.2.1.5 Selamento e laje de proteção sanitária

O selo sanitário, também dito cimentação, consiste no completo preenchimento do espaço anular entre a perfuração e o tubo de revestimento. Deve ter ao menos 75mm, com a finalidade de isolar o poço de contaminantes, sendo aconselhável profundidade mínima de 12 metros (ABNT, 2006a; 2006b). Custodio e Llamas listam as seguintes finalidades para o selamento:

Evitar que as águas superficiais contaminem os aquíferos; evitar a comunicação de um aquífero utilizável com outro, ou outros, contaminados, ou que constituam um horizonte ladrão, ou que não se pretenda utilizar; aumentar a resistência mecânica e a corrosão dos tubos de revestimento, e em casos especiais proporcionar a um trecho de poço a hermeticidade necessária para realizar neste injeções pressurizadas, seja para executar um desenvolvimento com dispersantes, ou por acidificação ou por fraturamento hidráulico. (CUSTODIO; LLAMAS, 2001 p. 1714, tradução nossa).

A cimentação é feita essencialmente com misturas de água e cimento (com densidade definida) ou com pellets de argila. Deve ser executada em procedimento único e contínuo, e exige interrupção dos serviços no poço por um intervalo de tempo. Para cimento e água este período é de 48 horas, podendo ser encurtado com o uso de produtos químicos que acelerem a cura. O preenchimento com pellets de argila expansiva determina uma pausa de 12hs nas operações (ABNT, 2006a; 2006b).

Ao final da obra há mais dois elementos de proteção: a laje de proteção sanitária e o lacre. A primeira envolve a construção de uma superfície de concreto com 1m<sup>2</sup> ao redor do tubo de revestimento, com 10cm de espessura e inclinação para as bordas. E o lacre se trata de mecanismo capaz de tampar a boca do poço, impedindo a entrada de qualquer material indesejado ou organismo, mas permitindo as operações de manutenção do poço. Faz-se necessário ao final da completação,

assim como após a instalação definitiva do sistema de bombeamento (ABNT, 2006a).

### 3 MÉTODOS

O trabalho foi realizado através de estudos de caso de poços tubulares profundos instalados nos aquíferos Serra Geral e Caiuá, com base em documentação obtida no Instituto das Águas do Paraná (ÁGUAS PARANÁ). A coleta de dados, autorizada pela instituição (vide anexo II – autorização para uso de dados), ocorreu no primeiro semestre do ano de 2018, no decorrer de estágio realizado na instituição. Neste primeiro momento foram selecionados e registrados 67 poços, com o objetivo de registrar problemas recorrentes, sem a preocupação de seguir um padrão de amostragem, mas apenas buscando diversidade. Na fase seguinte do trabalho, a seleção foi refinada, reduzindo para 36 poços, sendo 20 no Serra Geral e 16 no Caiuá, buscando-se selecionar problemas construtivos representativos. E, finalmente, em uma terceira fase de seleção, foram excluídos os que traziam somente repetição de situações ou responsáveis técnicos sem agregar à diversidade. Isso resultou em 11 poços por aquífero, em um total de 22. Pode-se dizer, portanto, que o enfoque da seleção foi qualitativo, não pretendendo, por exemplo, um tratamento estatístico que refletisse a totalidade das desconformidades e desvios técnicos.

A documentação adquirida (via registro fotográfico) compõe-se de anexos técnicos e informações cadastrais de poços tubulares em processos de requerimento de Outorga de Direito ou Uso Independente de Outorga. Apesar de, na aquisição, terem sido registrados todos os aspectos técnicos do poço, foram efetivamente utilizados apenas os Anexos III e IV, intitulados “Características construtivas de poço tubular” e “Perfil litológico”, respectivamente. Estes se encontram transcritos em forma de tabela no final deste trabalho (anexo I – compilação de poços analisados). Números de protocolo, nomes de geólogos, empresas e requerentes foram ocultados, sendo substituídos por siglas: SG-(número) para poços do aquífero Serra Geral, C-(número) para Caiuá, ordenados em numeração crescente conforme protocolo no ÁguasParaná; letras de “A” a “M” para geólogos; E-(número) para empresas. Não foi informado também o datum das

coordenadas UTM, evitando revelar com exatidão a localização (a depender do datum escolhido vão ocorrer variações de decimétricas).

Procedeu-se então análise preliminar dos poços selecionados e estabelecimento de arcabouço teórico de referência. Assim, foi possível definir quais características seriam possíveis de abordar dentro da análise final. De modo geral, a documentação disponível não contempla todos os elementos do processo construtivo de um poço tubular, restringindo os temas a serem discutidos. Não há como saber, por exemplo, se foram realizadas análises granulométricas ou perfis geofísicos. Mas é viável julgar o perfil litológico apresentado. Deste balanço entre o que a literatura e as normas brasileiras sugerem sobre a construção de poços e o que os dados permitem realizar, obteve-se 5 categorias de aspectos técnicos como alvos análise. Estas são:

- a) Perfuração e revestimento
- b) Filtro e pré-filtro
- c) Cimentação
- d) Posição do crivo do conjunto motobomba submersa
- e) Perfil litológico

Enquanto ferramentas utilizadas para realizar o trabalho incluem-se editores de texto (Microsoft Word 2010 e LibreOffice) para a redação e editoração final, Microsoft Excel 2010 para construção de tabelas e tratamento de dados, Esri ArcGis 9.4 para confeccionar o mapa de localização dos poços. O projeto não teve custos.

#### **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Foram observadas diversas situações em que o projeto do poço tubular estava em desacordo com as normas técnicas brasileiras e com parâmetros aconselhados pela literatura. Para apresentação dos resultados, estes desvios foram divididos em cinco categorias: perfuração e revestimento; filtro e pré-filtro; cimentação; posição do crivo do conjunto motobomba; perfil litológico. Para cada uma apresentaremos os itens abordados, a síntese dos problemas encontrados e possíveis consequências.

#### 4.1 PERFURAÇÃO E REVESTIMENTO

Em relação a perfuração e revestimento foi possível investigar se o projeto informa método de perfuração, tipo de revestimento e entradas de água, se o método utilizado é compatível com litologia, se há coerência entre profundidades e diâmetros perfurados e revestimento instalado, e se o revestimento aplicado é suficiente para proteger o poço de contaminações superficiais. Avaliou-se ainda a largura do espaço anular (se é compatível com mínimo desejado para completação) e se o diâmetro do poço está adequado às normas. O resultado completo encontra-se no anexo II deste trabalho, mas discutiremos aqui alguns temas mais relevantes.

Dos 22 poços estudados, 10 não indicam e outros 6 não têm informações precisas sobre tipo de revestimento. Exemplo disso é o poço C-4, cujo revestimento informado é “PVC tigre”, com diâmetro de 3 polegadas. Não é possível, então, definir se trata-se de PVC geomecânico ou um tubo comum de uso residencial. O mesmo ocorre para o poço SG-10, no Serra Geral, que tem como tipo de revestimento “aço preto/geo”. Estas situações não significam que o poço tenha necessariamente um problema, mas limitam a capacidade do órgão fiscalizador de analisar o caso em questão. Como cada tipo de revestimento tem uma capacidade diferente de resistir a esforços e a ação química do meio, a ausência desta informação impacta no conhecimento da durabilidade do projeto.

Enquanto características gerais tem-se ainda que 16 dos 22 não apresentam indicação de método de perfuração e 10 não informam entradas de água. Ambos os itens desrespeitam as normas brasileiras de projeto de poços tubulares para captação de água. Não se sabe se o dado de entradas de água não foi observado em campo ou se apenas não foi registrado. No primeiro caso significaria um desconhecimento de característica essencial para alocação de sistema de bombeamento e filtros (no caso do aquífero Caiuá). E no segundo, restringe o conhecimento da hidrogeologia local para a construção de futuros poços.

Seguindo com a caracterização das desconformidades encontradas, há três situações recorrentes com implicações sanitárias e ambientais: diâmetros de perfuração e revestimento mal dimensionados, resultando em espaço anular reduzido (menor que 75 mm, ou 3 polegadas); revestimento insuficiente para isolar

zona de rochas alteradas, material inconsolidado ou solo; boca do poço (fim do revestimento) rente à superfície do terreno<sup>9</sup>. Espaços anulares reduzidos e revestimento que não adentra a rocha (com menos de 3 metros em rocha sã, segundo referências consultadas) tornam o poço suscetível à percolação de contaminantes superficiais, por infiltração na base do revestimento. E a ausência de uma porção de revestimento saliente em superfície favorece a infiltração direta de fluídos via boca do poço, em especial em terrenos com tendência de alagamento. Nessa situação a condição sanitária do poço fica completamente dependente do lacre ou tampa utilizada. Além disso, facilita a queda de detritos/contaminantes em operações de manutenção do poço. Alguns exemplos estão resumidos a seguir (TABELA 3):

TABELA 3 – EXEMPLOS DE PROBLEMAS CONSTRUTIVOS

<b>Exemplo de problemas construtivos em relação a perfuração e revestimento</b>			
Poço	Espaço anular (desejável 3 polegadas)	Intervalo de revestimento (desejável saliência de 30 cm e 3 m em rocha sã)	Profundidade da rocha sã
C-8	1 1/4 pol	0-60m	23m
C-5	1 1/4 pol	0-30m	30m
SG-4	1 pol	0-12m	12m
SG-3	1 1/4 pol	0-12m	20m

FONTE: O autor (2019).

Observa-se que problemas semelhantes são comuns aos dois aquíferos selecionados, como se vê na comparação entre os poços C-5 e SG-3, instalados no Caiuá e no Serra Geral, respectivamente. Em ambos, o revestimento não se projeta na superfície, nem tem sua base inserida em rocha sã. No SG-3 o caso é ainda mais grave, dado que os 20 metros iniciais do perfil litológico poço é descrito como solo. Assim, 8 metros de solo estão em contato com o interior do poço. Além dos problemas ambientais, nesse caso há um potencial problema estrutural, pela baixa

---

<sup>9</sup> Ao menos uma destas três situações foi verificada em todos os poços, sendo comum duas em cada poço.

resistência mecânica (em geral) dos solos, favorecendo desmoronamentos no interior do poço.

Um último aspecto a ser mencionado é a impossibilidade de determinar, a partir dos perfis litológicos, se a perfuração dos poços do aquífero Caiuá transpassou toda a espessura saturada. Em apenas 1 (C-7) foi possível determinar a base do aquífero. Em não se conhecendo os limites da camada saturada, não é possível projetar sistema filtrante otimizado, podendo induzir a fluxos de água distorcidos (com grandes deslocamentos verticais) e mesmo rebaixamento excessivo.

Não foi avaliado neste trabalho o dimensionamento da câmara de bombeamento, visto que não se investigou os sistemas de bombeamento utilizados, nem os parâmetros hidrodinâmicos obtidos em teste de bombeamento.

## 4.2 FILTRO E PRÉ-FILTRO

Os elementos filtrantes foram objeto de análise apenas nos poços situados no aquífero Caiuá. Para levantamento de desconformidades relativas a filtro e pré-filtro foram observados os seguintes itens: tipo de filtro; abertura do filtro e granulometria do pré-filtro; espaço anular disponível para instalação de pré-filtro; posição do nível dinâmico (N.D.) em relação a filtros; extensão e posição dos elementos filtrantes. O resultado completo da análise encontra-se no anexo II, mas citamos aqui algumas situações gerais que ilustram os problemas.

Entre as situações que mais se destacam como não observância de parâmetros técnico-científicos, está o mau dimensionamento de extensão de filtro e pré-filtro. Em parte esta caracterização ficou prejudicada pelo não conhecimento da espessura da zona saturada local, mas observando as proporções de seções filtrantes e pré-filtro em relação às dimensões do poço foi possível tirar algumas conclusões. Primeiramente, verifica-se que o pré-filtro é frequentemente hiperdimensionado, ocupando, por vezes, mais do que o dobro da extensão de filtros. O esperado seria o pré-filtro ocupar desde a base do filtro até um ponto acima do filtro correspondente a 25% de sua extensão, portanto, com extensão de pré-filtro igual a 125% da extensão de pré-filtro. Esse problema ocorre em 9 dos 11 poços, e é bem exemplificado pelo C-9. Nesse poço o filtro foi instalado entre as profundidades 65m e 86m (total de 21m) e o pré-filtro de 30m a 86m (56m). Como o

pré-filtro é mais condutivo que a formação, a tendência é induzir fluxos irregulares de água, potencialmente com rebaixamento excessivo. Inclusive, determinado por essa consequência, parte do pré-filtro fica acima do cone de depressão e não tem utilidade para captação de água. Novamente o poço C-9 é um bom exemplo: com o nível dinâmico em 40m os 10m superiores do pré-filtro estão fora da faixa saturada.

Constituem ainda problemas de extensão de sistema filtrante o hiperdimensionamento de filtros. Em tal situação incluem-se 3 poços, C-1, C-5 e C-7, nos quais o filtro chega a ocupar mais de  $\frac{3}{4}$  do perfil do poço. No C-7, por exemplo, há 70m seguidos de filtro em 100m de profundidade. Como o nível dinâmico está localizado em 70m, os 40 metros superiores do filtro estão fora da área de captação ativa de água. Situação semelhante acontece nos outros dois poços. A consequência disso é que parte do filtro está inoperante e exposto a uma condição favorável a deterioração prematura. Cabe citar, ainda, que filtros são, em geral, menos resistentes que revestimentos fechados. Prejudica-se, assim, a vida útil do poço, além de incrementar consideravelmente os custos de construção (filtros possuem maior custo por metro do que revestimento comum).

Outro dos principais problemas no projeto e instalação do sistema filtrante é o subdimensionamento do espaço anular. Este deve ter entre 3 e 8 polegadas, de modo a garantir boa acomodação do pré-filtro. Em nove dos casos selecionados este ficou abaixo das 3 polegadas. Consequência possível disto é a distribuição irregular do pré-filtro no espaço anular, diminuindo a capacidade filtrante e/ou alterando condições ideais de fluxo da água.

Nesta seção do trabalho não foi considerado o pleno dimensionamento de aberturas de filtro e granulometria de pré-filtro, em função da ausência de subsídio (curva granulométrica da formação) para tal. Também não pode ser considerada a extensão das seções filtrantes em relação à vazão, pois não são informadas as características técnicas dos filtros, faltando a informação sobre porcentagem de área aberta. Não foi avaliado para todos os poços o volume de pré-filtro, por se tratar mais de uma questão matemática-geométrica resultante dos outros fatores, mas há valores visivelmente discrepantes com as dimensões do espaço anular. Como último elemento não avaliado citamos a resistência física e química dos filtros. Este tema, também bastante importante para a condição do poço, dependeria de especificações precisas de tipo de filtro. Mas a ausência ou imprecisão dessa informação nos 11

poços selecionados do Caiuá já indicam possíveis descuidos por parte dos construtores de poços neste quesito.

#### 4.3 CIMENTAÇÃO

No quesito cimentação, voltamos a averiguar os dois aquíferos estudados. Como diretrizes para análise temos que: a cimentação ou selo sanitário deve preencher todo o espaço anular em torno do revestimento; a profundidade mínima recomendada é de 12 metros, mas deve ser suficiente para selar o poço contra contaminantes superficiais. O diâmetro do espaço anular na porção a ser cimentada foi previamente contemplada na avaliação dos diâmetros de perfuração e revestimento. E a posição do selo em relação a rocha também está contemplada na posição do revestimento, visto que deve ser a mesma.

Em nove dos vinte e dois poços a cimentação foi considerada incorreta ou insuficiente (TABELA 4). Nestes, a porção cimentada não acompanhou a revestida e/ou tinha dimensões muito reduzidas para o contexto geológico em questão. Exemplos dos dois problemas é o poço SG-7, em que o intervalo cimentado é entre 0m e 2m, o revestimento vai até 16m de profundidade, contando com 15m de espessura de solo. Situações como esta, em que o espaço anular restante foi preenchido com material não determinado, conduzem a grande potencial de contaminação do poço e, conseqüentemente, do aquífero por infiltração na base do tubo de revestimento.

TABELA 4 – PROBLEMAS DE CIMENTAÇÃO POR CASO AVALIADO

Poço	Geólogo	Empresa	Aquífero	Município	Poços com problemas de cimentação
SG - 1	A	E1	Serra Geral	Cândido de Abreu	
SG - 2	B	E2	Serra Geral	Honório Serpa	
SG - 3	C	E3	Serra Geral	Assis Chateaubriand	
SG - 4	D	E4	Serra Geral	Foz do Iguaçu	
SG - 5	E	Indisponível	Serra Geral	Assis Chateaubriand	
SG - 6	F	E5	Serra Geral	Cantagalo	
SG - 7	G	E6	Serra Geral	Guarapuava	
SG - 8	H	E7	Serra Geral	Marialva	
SG - 9	I	E8	Serra Geral	Apucarana	
SG - 10	G	E6	Serra Geral	Diamante do Sul	
SG - 11	J	E9	Serra Geral	Jandaia do Sul	
C-1	K	E10	Caiuá	Guairaça	
C-2	A	E1	Caiuá	Tapira	
C-3	I	Indisponível	Caiuá	Cruzeiro do Oeste	
C-4	L	E11	Caiuá	Umuarama	
C-5	M	E12	Caiuá	Umuarama	
C-6	H	Indisponível	Caiuá	Paranavaí	
C-7	C	E13	Caiuá	Pérola	
C-8	C	Indisponível	Caiuá	Cruzeiro do Oeste	
C-9	K	E14	Caiuá	Paranavaí	
C-10	I	E8	Caiuá	Umuarama	
C-11	N	E15	Caiuá	Xambre	
Total de poços com problema neste item					9

FONTE: O autor (2019).

Não foi abordado o mérito do volume de cimento, por derivar dos outros aspectos avaliados.

#### 4.4 POSIÇÃO DO CRIVO DO CONJUNTO MOTOBOMBA

Neste item verificou-se apenas a posição do crivo da bomba em relação ao nível dinâmico (N.D.) e seções filtrantes. Nove dos dez poços com filtro apresentam crivo nos filtros (TABELA 5). Tal condição promove fluxo irregular ao redor dos filtros, além de potencial de elevação da velocidade de entrada de água nos filtros e fluxo turbulento. Estas condições podem favorecer a deterioração dos equipamentos, com problemas como incrustação (nos filtros e no crivo) e entupimento de filtros (ao forçar bombeamento de areia).

TABELA 5 – AVALIAÇÃO DA POSIÇÃO DO CRIVO

Poço	Geólogo	Empresa	Aquífero	Problema
SG - 1	A	E1	Serra Geral	
SG - 2	B	E2	Serra Geral	
SG - 3	C	E3	Serra Geral	
SG - 4	D	E4	Serra Geral	
SG - 5	E	Indisponível	Serra Geral	
SG - 6	F	E5	Serra Geral	
SG - 10	G	E6	Serra Geral	Crivo igual N.D.
SG - 7	G	E6	Serra Geral	
SG - 8	H	E7	Serra Geral	
SG - 9	I	E8	Serra Geral	
SG - 11	J	E9	Serra Geral	
C-1	K	E10	Caiuá	Crivo no filtro
C-2	A	E1	Caiuá	Crivo no filtro

C-3	I	Indisponível	Caiuá	Crivo no filtro
C-4	L	E11	Caiuá	
C-5	M	E12	Caiuá	Crivo no filtro
C-6	H	Indisponível	Caiuá	
C-7	C	E13	Caiuá	Crivo no filtro
C-8	C	Indisponível	Caiuá	Crivo no filtro
C-9	K	E14	Caiuá	Crivo no filtro
C-10	I	E8	Caiuá	Crivo no filtro
C-11	N	E15	Caiuá	Crivo no filtro

FONTE: O autor (2019).

Em relação ao nível dinâmico registrou-se apenas um caso de inconsistência. No poço SG-10 o crivo está situado exatamente na profundidade correspondente ao N.D.. Nesse cenário, qualquer rebaixamento pode induzir a queima da motobomba, pois esta depende da circulação de água para resfriamento. Caso a bomba conte com sistema de auto desligamento, ainda assim haverá interrupção do fornecimento de água.

#### 4.5 PERFIL LITOLÓGICO

A avaliação do perfil litológico é de certo modo restrita. O critério mais objetivo, apoiado nas normas técnicas (ABNT, 2006a), é que a coleta de amostras deve ser feita a cada dois metros ou sempre que houver mudança de litologia. No entanto, essa informação não está disponível; temos acesso apenas ao resultado da coleta e da descrição das amostras. Mas, ainda assim, é possível julgar o quão detalhada é a descrição, se esta é coerente com as condições geológicas esperadas na localidade e, finalmente, se cumpre a função de direcionar um projeto adequado.

Concluiu-se, então, que nenhum dos poços selecionados atende tais critérios. Em C-1, a litologia descrita inclui apenas a informação “basaltos da formação serra geral”, em poço situado no Caiuá. Em C-2 e SG-1, o perfil inicia-se com intervalos decamétricos da dita “camada vegetal”, definição que não encontra

amparo na geologia. No âmbito das imprecisões técnicas de descrição cabe ainda citar os poços SG-7 e SG-10, cujos perfis constituem alternâncias de litologias como “basalto preto duro”, “basalto marrom mole”, “basalto verde mole”.

Nos demais perfis, mesmo nos que os termos e categorias aproximam-se de algo tecnicamente correto, o grau de detalhe não condiz com a variação geológica conhecida das formações, nem fornece subsídios ao projeto. Exemplo disso é o SG-6. No seu perfil litológico consta “Latosolo Vermelho distroférico” de 0m a 15m, “Manto de alteração do Basalto da Fm. Serra Geral” entre 15m e 16m, e “Basalto da Fm. Serra Geral” de 16m a 200m. Nesse intervalo de 184m com “Basalto da Fm. Serra Geral” ocorrem duas entradas de água, sendo questionável a ausência de qualquer variação, ao menos de grau de faturamento, nesta seção.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A realização deste trabalho confirmou ideias desenvolvidas no decorrer do estágio realizado no Instituto das Águas do Paraná. Dentre estas, está a noção de que porventura empresas de perfuração de poços e geólogos incorrem em desconformidades em relação às práticas adequadas na construção de poços tubulares profundos. Assim sendo, é decisivo que existam agentes capazes de atuar na regulação e fiscalização dessa atividade.

A análise do poços confirmou também que os problemas construtivos podem conduzir a problemas ambientais e danos a proprietários de poços. Em outros termos, podem induzir ou facilitar a contaminação de aquíferos, comprometendo seu uso pela sociedade em geral, além de colocar diretamente em risco a saúde dos usuários do poço específico. Ainda enquanto danos ao proprietário, há o comprometimento material e, conseqüentemente, financeiro, quando um poço tem sua vida útil comprometida ou demanda manutenções com frequência acima do previsto.

Em conjunto, essas ideias conduzem à conclusão que são necessários esforços de todos os setores envolvidos na pesquisa, captação e gestão de águas subterrâneas para garantir que este recurso seja utilizado tendo em vista a sua preservação.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR12212**: Projeto de poço tubular para captação de água subterrânea. Rio de Janeiro, 2006a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR12244**: Construção de poço tubular para captação de água subterrânea. Rio de Janeiro, 2006b.
- ATHAYDE, Gustavo Barbosa; ATHAYDE, Camila de Vasconcelos M.. Hidrogeologia do Sistema Aquífero Serra Geral no Estado do Paraná. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 29, n. 3, p. 315-333, nov. 2015. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28406>>. Acesso em: 13 de jun. 2018.
- BETTÚ, D. F.; FERREIRA, F. J. F.; SALAMUNI, E.; FERNANDES, L. A. Compartimentação estrutural e conectividade dos sistemas aquíferos Caiuá e Serra Geral no noroeste do Paraná - Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, v. 24, n. 3, p. 393-409, jul./set. 2006.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. **Carta das águas subterrâneas do Estado do Paraná**: resumo executivo. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2015.
- CELLIGOI, André. **Hidrogeologia da Formação Caiuá no Estado do Paraná**. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- CUSTODIO, Emilio; LLAMAS, Manuel Ramón. **Hidrología subterrânea**. 2 ed. rev. Barcelona: Ediciones Omega, 2001. Tomo II.
- DRISCOLL, Fletcher G. **Groundwater and Wells**. 2 ed. St. Paul, Minnesota: Johnson Division, 1987.
- FEITOSA, Fernando A.C et al. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3 ed. ver. ampl. Rio de Janeiro: CPRM, 2008.
- FELTRIN, Jurema et al.. Mananciais subterrâneos no estado do Paraná. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, Suplemento: Anais do XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2002.
- FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. O Grupo Caiuá (Ks): revisão estratigráfica e contexto deposicional. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 24, n. 3, p. 164-176, set. 1994.
- FETTER, Charles Willard. **Applied Hydrogeology**. 4 ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2001.
- GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ. Controladoria Geral do Estado. **Portal da Transparência**. Disponível em:

<<http://www.transparencia.pr.gov.br/pte/pessoal/relacao-servidores?windowId=8ee>>, acesso em: 18 mar. 2019.

REBOUCAS, Aldo da Cunha. **Recursos hídricos subterrâneos da Bacia do Paraná: análise de pré-viabilidade**. Tese (Livre Docência em Geologia Econômica e Geofísica Aplicada) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1976. doi:10.11606/T.44.2014.tde-02062014-141431. Acesso em: 10 mar. 2019

## ANEXO 1 – COMPILAÇÃO DE POÇOS ANALISADOS

<b>Poço:</b> C - 1	<b>Município:</b> Guairaçá	
<b>Coordenadas:</b> N 7453228	E 330775	UTM zone 22S
<b>Ano de construção:</b> x	<b>Profundidade(m):</b>	x
<b>Geólogo(a):</b> K	<b>Empresa:</b>	E10

<b>N.E.(m)</b> 53,8	<b>N.D.(m)</b> 90	<b>Crivo da Bomba(m)</b> 114							
<b>Vazão</b> 38 m <sup>3</sup> /h									
<b>Perfuração</b>									
<b>Revestimento</b>									
<b>Seções Filtrantes</b>									
<b>Método:</b> x	<b>Tipo:</b> x	<b>Tipo:</b> x							
<b>Diâmetro (pol)</b>	<b>Intervalo (m)</b>	<b>Ext. (m)</b>	<b>Diâmetro (pol)</b>	<b>Intervalo (m)</b>	<b>Ext. (m)</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>Intervalo (m)</b>	<b>Ext. (m)</b>	<b>Abertura (mm)</b>
13	0 - 168	120,00	6,5	0 - 30	30,00	6,5	65 - 168	103	1
			6,5	30 - 65	35,00				

<b>Pré-filtro</b>			<b>Entradas de água</b>	<b>Cimentação</b>	
<b>Gran. (mm)</b>	<b>Intervalo(m)</b>	<b>Volume (m3)</b>		<b>Intervalo(m)</b>	<b>Volume (m3)</b>
1,5 a 3	30 - 168	2	x	0 - 30	0,6

<b>Prof. (m)</b>	<b>Descrição Litológica</b>
0 - 168	Basalto da Formação Serra Geral.
x - Informação não preenchida no relatório original.	

<b>Poço:</b> C - 2	<b>Município:</b> Tapira		
<b>Coordenadas:</b>	N 7415462	E 279458	UTM zone 22S
<b>Ano de construção:</b>	x	<b>Profundidade(m):</b>	80
<b>Geólogo(a):</b> A	<b>Empresa:</b>		E1

<b>N.E.(m)</b>	24	<b>N.D.(m)</b>	41	<b>Crivo da Bomba(m)</b>	66				
		<b>Vazão</b>	1,8 m <sup>3</sup> /h						
<b>Perfuração</b>			<b>Revestimento</b>		<b>Seções Filtrantes</b>				
<b>Método:</b> x			<b>Tipo:</b> x		<b>Tipo:</b> x				
<b>Diâmetro (pol)</b>	<b>Intervalo (m)</b>	<b>Ext. (m)</b>	<b>Diâmetro (pol)</b>	<b>Intervalo (m)</b>	<b>Ext. (m)</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>Intervalo (m)</b>	<b>Ext. (m)</b>	<b>Abertura (mm)</b>
10	0 - 80	80,00	4	0 - 48	48	4	48 - 52	4	0,75
			4	52 - 56	4	4	56 - 60	4	0,75
			4	60 - 64	4	4	64 - 68	4	0,75
			4	68 - 72	4	4	72 - 76	4	0,75
			4	76 - 80	4,00				

<b>Pré-filtro</b>			<b>Entradas de água</b>	<b>Cimentação</b>	
<b>Gran. (mm)</b>	<b>Intervalo(m)</b>	<b>Volume (m3)</b>	Nos intervalos com filtros	<b>Intervalo(m)</b>	<b>Volume (m3)</b>
1,5 - 3,0	30 - 80	4,28		0 - 30	3,144

<b>Prof. (m)</b>	<b>Descrição Litológica</b>
0 - 20	Camada vegetal
20 - 60	Areia fina pouco argilosa, marrom (solo residual originado dos sedimentos da formação Caiuá)
60 - 80	Areia fina pouco argilosa, cimentados com óxido de ferro, coloração castanha, compacta a muito compacta (arenito da formação Caiuá).
x - Informação não preenchida no relatório original.	

<b>Poço:</b>	C - 3		<b>Município:</b>	Cruzeiro do Oeste	
<b>Coordenadas:</b>	<b>N</b>	7364795	<b>E</b>	284516	UTM zone 22S
<b>Ano de construção:</b>	x		<b>Profundidade(m):</b>	80	
<b>Geólogo(a):</b>	I		<b>Empresa:</b>	Indisponível	

<b>N.E.(m)</b>	29,2		<b>N.D.(m)</b>	47,3		<b>Crivo da Bomba(m)</b>	72		
			<b>Vazão</b>	2,6 m <sup>3</sup> /h					
<b>Perfuração</b>			<b>Revestimento</b>			<b>Seções Filtrantes</b>			
<b>Método:</b> Rotativo			<b>Tipo:</b> PVC			<b>Tipo:</b> PVC			
<b>Diâmetro (pol)</b>	<b>Intervalo (m)</b>	<b>Ext. (m)</b>	<b>Diâmetro (pol)</b>	<b>Intervalo (m)</b>	<b>Ext. (m)</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>Intervalo (m)</b>	<b>Ext. (m)</b>	<b>Abertura (mm)</b>
6	0 - 80	80,00	4	0 - 60	60,00	4	60 - 80	20	0,5

<b>Pré-filtro</b>			<b>Entradas de água</b>	<b>Cimentação</b>	
<b>Gran. (mm)</b>	<b>Intervalo(m)</b>	<b>Volume (m3)</b>		<b>Intervalo(m)</b>	<b>Volume (m3)</b>
1 a 3	0 - 80	2	Filtros	x	x

<b>Prof. (m)</b>	<b>Descrição Litológica</b>
x	x
x - Informação não preenchida no relatório original.	

<b>Poço:</b>	C - 4		<b>Município:</b>	Umuarama	
<b>Coordenadas:</b>	<b>N</b>	7368845	<b>E</b>	275754	UTM zone 22S
<b>Ano de construção:</b>	2001 ou 2003		<b>Profundidade(m):</b>	60	
<b>Geólogo(a):</b>	L		<b>Empresa:</b>	E11	

<b>N.E.(m)</b>	15		<b>N.D.(m)</b>	28		<b>Crivo da Bomba(m)</b>	59		
			<b>Vazão</b>	2 m <sup>3</sup> /h					
<b>Perfuração</b>			<b>Revestimento</b>			<b>Seções Filtrantes</b>			
<b>Método:</b> x			<b>Tipo:</b> PVC Tigre			<b>Tipo:</b> x			
<b>Diâmetro (pol)</b>	<b>Intervalo (m)</b>	<b>Ext. (m)</b>	<b>Diâmetro (pol)</b>	<b>Intervalo (m)</b>	<b>Ext. (m)</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>Intervalo (m)</b>	<b>Ext. (m)</b>	<b>Abertura (mm)</b>
4	0 - 60	60,00	3	0 - 60	60,00	x	x	x	x

<b>Pré-filtro</b>			<b>Entradas de água</b>	<b>Cimentação</b>	
<b>Gran. (mm)</b>	<b>Intervalo(m)</b>	<b>Volume (m3)</b>		<b>Intervalo(m)</b>	<b>Volume (m3)</b>
x	x	x	x	x	x

<b>Prof. (m)</b>	<b>Descrição Litológica</b>
0 - 11	Solo superficial siltico argiloso de coloração marrom avermelhada.
11 - 30	Arenito siltico argiloso, medianamente selecionado.
30 - 60	Arenito siltico argiloso de coloração marrom avermelhado passando a laranja com percentual alto de finos.
x - Informação não preenchida no relatório original.	

Poço: C - 5			Município:		Umuarama	
Coordenadas:		N	7401449	E	286396	UTM zone 22S
Ano de construção:		x			Profundidade(m):	120
Geólogo(a): M			Empresa:		E12	

N.E.(m)	22		N.D.(m)	39		Crivo da Bomba(m)	60		
			Vazão	12 m <sup>3</sup> /h					
Perfuração			Revestimento			Seções Filtrantes			
Método: x			Tipo: x			Tipo: x			
Diâmetro (pol)	Intervalo (m)	Ext. (m)	Diâmetro (pol)	Intervalo (m)	Ext. (m)	Diâmetro (mm)	Intervalo (m)	Ext. (m)	Abertura (mm)
8 1/2	0 - 120	120,00	6	0 - 30	30,00	101,6	30 - 120	90,00	0,5 0,75

Pré-filtro			Entradas de água	Cimentação	
Gran. (mm)	Intervalo(m)	Volume (m3)		Intervalo(m)	Volume (m3)
10	30 - 120	4,5	x	0 - 30	2

Prof. (m)	Descrição Litológica
0 - 30m	Solo arenoso apresentando matriz pouca contribuição em silte.
30 m	Topo Rochoso material litificado com progressão da coesão quando gradualmente segue perfurando.
x - Informação não preenchida no relatório original.	

<b>Poço:</b>	C - 6		<b>Município:</b>	Paranavaí	
<b>Coordenadas:</b>	<b>N</b>	7453819	<b>E</b>	335687	UTM zone 22S
<b>Ano de construção:</b>	x		<b>Profundidade(m):</b>	70	
<b>Geólogo(a):</b>	H		<b>Empresa:</b>	Indisponível	

<b>N.E.(m)</b>	12,2		<b>N.D.(m)</b>	49,5		<b>Crivo da Bomba(m)</b>	52		
			<b>Vazão</b>	6 m <sup>3</sup> /h					
<b>Perfuração</b>			<b>Revestimento</b>			<b>Seções Filtrantes</b>			
<b>Método:</b> Pneumático			<b>Tipo:</b> Aço DIN2440			<b>Tipo:</b> Nold			
<b>Diâmetro (pol)</b>	<b>Intervalo (m)</b>	<b>Ext. (m)</b>	<b>Diâmetro (pol)</b>	<b>Intervalo (m)</b>	<b>Ext. (m)</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>Intervalo (m)</b>	<b>Ext. (m)</b>	<b>Abertura (mm)</b>
12	0 - 70	70,00	6	0 - 54	54,00	6	58 - 54	4	1
			6	62 - 58	4,00	6	66 - 62	4	1
			6	70 - 66	4,00				

<b>Pré-filtro</b>			<b>Entradas de água</b>	<b>Cimentação</b>	
<b>Gran. (mm)</b>	<b>Intervalo(m)</b>	<b>Volume (m3)</b>		<b>Intervalo(m)</b>	<b>Volume (m3)</b>
2	22 - 70	2,1	48,0 e 64,0	0 - 12	0,5

<b>Prof. (m)</b>	<b>Descrição Litológica</b>
0 - 23	Solo arenoso, em tons claros, com areia fina a média e pouca argila. Presença de raízes.
23 - 70	Arenito Caiuá, fino a médio, amarronada clara, com pouca argila.
x - Informação não preenchida no relatório original.	

<b>Poço:</b>	C - 7		<b>Município:</b>	Perola	
<b>Coordenadas:</b>	<b>N</b>	7366339	<b>E</b>	225016	UTM zone 22S
<b>Ano de construção:</b>	2017		<b>Profundidade(m):</b>	80	
<b>Geólogo(a):</b>	C		<b>Empresa:</b>	E13	

<b>N.E.(m)</b>	55		<b>N.D.(m)</b>	70		<b>Crivo da Bomba(m)</b>	75		
			<b>Vazão</b>	4 m <sup>3</sup> /h					
<b>Perfuração</b>			<b>Revestimento</b>			<b>Seções Filtrantes</b>			
<b>Método:</b> x			<b>Tipo:</b> x			<b>Tipo:</b> x			
<b>Diâmetro (pol)</b>	<b>Intervalo (m)</b>	<b>Ext. (m)</b>	<b>Diâmetro (pol)</b>	<b>Intervalo (m)</b>	<b>Ext. (m)</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>Intervalo (m)</b>	<b>Ext. (m)</b>	<b>Abertura (mm)</b>
8 1/2	0 - 100	80,00	4	0 - 30	30,00	4	30 - 100	70	0,5

<b>Pré-filtro</b>			<b>Entradas de água</b>	<b>Cimentação</b>	
<b>Gran. (mm)</b>	<b>Intervalo(m)</b>	<b>Volume (m3)</b>		<b>Intervalo(m)</b>	<b>Volume (m3)</b>
2	30 - 100	1,5	55	0 - 30	1,1

<b>Prof. (m)</b>	<b>Descrição Litológica</b>
0 - 28	Arenito fino a muito fino subarredondado, mau selecionado com intercalações de argilito.
29 - 96	Arenito fino a medio subarredondado, mau selecionado com intercalações de argilito.
96 - 100	Basalto verdeacinzentado, tb avermelhado fragmentado muito alterado.
x - Informação não preenchida no relatório original.	

Poço:	C - 8			Município:	Cruzeiro do Oeste	
Coordenadas:	N	7367831		E	7367831	UTM zone 22S
Ano de construção:	2018			Profundidade(m):	80	
Geólogo(a):	C			Empresa:	Indisponível	

N.E.(m)	45		N.D.(m)	53		Crivo da Bomba(m)	56		
			Vazão	1 m <sup>3</sup> /h					
Perfuração			Revestimento			Seções Filtrantes			
Método: x			Tipo: x			Tipo: x			
Diâmetro (pol)	Intervalo (m)	Ext. (m)	Diâmetro (pol)	Intervalo (m)	Ext. (m)	Diâmetro (mm)	Intervalo (m)	Ext. (m)	Abertura (mm)
8 1/2	0 - 30	30,00	4	0 - 60	60,00	4	60 - 77	17,00	5
6 1/2	30 - 80	50,00				4	77 - 80	3,00	TB CEGO

Pré-filtro			Entradas de água	Cimentação	
Gran. (mm)	Intervalo(m)	Volume (m3)		Intervalo(m)	Volume (m3)
2	30 - 80	2,5	45	0 - 30	1,2

Prof. (m)	Descrição Litológica
0 - 23m	Arenito fino a médio avermelhado intercalado com argilito.
23 - 60m	Arenito medio a fino avermelhado tb hialino com intercalações de lentes de argilito.
x - Informação não preenchida no relatório original.	

Poço:	C - 9			Município:	Paranavaí	
Coordenadas:	N	7449108		E	352964	UTM zone 22S
Ano de construção:	x			Profundidade(m):	30	
Geólogo(a):	K			Empresa:	E14	

N.E.(m)	30		N.D.(m)	40		Crivo da Bomba(m)	70		
			Vazão	18 m <sup>3</sup> /h					
Perfuração			Revestimento			Seções Filtrantes			
Método: x			Tipo: x			Tipo: x			
Diâmetro (pol)	Intervalo (m)	Ext. (m)	Diâmetro (pol)	Intervalo (m)	Ext. (m)	Diâmetro (mm)	Intervalo (m)	Ext. (m)	Abertura (mm)
9	0 - 86	86,00	4	0 - 30	30,00	4	65 - 86	21	1
			4	30 - 65	35,00				

Pré-filtro			Entradas de água	Cimentação	
Gran. (mm)	Intervalo(m)	Volume (m3)		Intervalo(m)	Volume (m3)
1,5 até 3	30 - 86	2	x	0 - 30	0,6

Prof. (m)	Descrição Litológica
0 - 86	Arenitos da Formação Caiuá.
x - Informação não preenchida no relatório original.	

Poço:	C - 10		Município:	Umarama	
Coordenadas:	N	7366841	E	259088	UTM zone 22S
Ano de construção:	2018		Profundidade(m):	80	
Geólogo(a):	I		Empresa:	E8	

N.E.(m)	28		N.D.(m)	48		Crivo da Bomba(m)	64		
			Vazão	6 m <sup>3</sup> /h					
Perfuração			Revestimento			Seções Filtrantes			
Método: Rotativo			Tipo: PVC			Tipo: PVC			
Diâmetro (pol)	Intervalo (m)	Ext. (m)	Diâmetro (pol)	Intervalo (m)	Ext. (m)	Diâmetro (mm)	Intervalo (m)	Ext. (m)	Abertura (mm)
9 7/8	0 - 80	80,00	4	0 - 64	64,00	4	64 - 72	8	0,75
			4	72 - 80	8,00				

Pré-filtro			Entradas de água	Cimentação	
Gran. (mm)	Intervalo(m)	Volume (m3)		Intervalo(m)	Volume (m3)
1 a 3	0 - 80	4	Filtros	0	0

Prof. (m)	Descrição Litológica			
x	x			
x - Informação não preenchida no relatório original.				

Poço:	C - 11		Município:	Xambre	
Coordenadas:	N	7367570	E	230141	UTM zone 22S
Ano de construção:	2017		Profundidade(m):	90	
Geólogo(a):	N		Empresa:	E15	

N.E.(m)	30		N.D.(m)	60		Crivo da Bomba(m)	75		
			Vazão	9 m <sup>3</sup> /h					
Perfuração			Revestimento			Seções Filtrantes			
Método: x			Tipo: x			Tipo: x			
Diâmetro (pol)	Intervalo (m)	Ext. (m)	Diâmetro (pol)	Intervalo (m)	Ext. (m)	Diâmetro (mm)	Intervalo (m)	Ext. (m)	Abertura (mm)
8 1/2	0 - 90	90,00	4	0 - 70	70,00	4	70 - 90	20	0,5

Pré-filtro			Entradas de água	Cimentação	
Gran. (mm)	Intervalo(m)	Volume (m3)		Intervalo(m)	Volume (m3)
2	30 - 90	2,5	40	0 - 30	1

Prof. (m)	Descrição Litológica			
0 - 25	Solo arenoso de coloração marrom claro.			
26 - 90	Arenito.			
x - Informação não preenchida no relatório original.				

<b>Poço:</b>	SG - 1		<b>Município:</b>	Cândido de Abreu	
<b>Coordenadas:</b>	N	7285624	E	462804	UTM zone 22S
<b>Ano de construção:</b>	2017		<b>Profundidade(m):</b>	100	
<b>Geólogo(a):</b>	A		<b>Empresa:</b>	E1	

<b>N.E.(m)</b>	49		<b>N.D.(m)</b>	71		<b>Crivo da Bomba(m)</b>	80		
			<b>Vazão</b>	3		<b>m<sup>3</sup>/h</b>			
<b>Perfuração</b>			<b>Revestimento</b>			<b>Seções Filtrantes</b>			
<b>Método:</b>			<b>Tipo:</b>			<b>Tipo:</b>			
<b>Diâmetro (pol)</b>	<b>Intervalo (m)</b>	<b>Ext. (m)</b>	<b>Diâmetro (pol)</b>	<b>Intervalo (m)</b>	<b>Ext. (m)</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>Intervalo (m)</b>	<b>Ext. (m)</b>	<b>Abertura (mm)</b>
10	0 - 30	30,00	6	0 - 30	30,00				
6	30 - 100	70,00							

<b>Pré-filtro</b>			<b>Entradas de água</b>	<b>Cimentação</b>	
<b>Gran. (mm)</b>	<b>Intervalo(m)</b>	<b>Volume (m3)</b>		<b>Intervalo(m)</b>	<b>Volume (m3)</b>
			Rocha Basalto	0 - 6	3

<b>Prof. (m)</b>	<b>Descrição Litológica</b>	
0 - 30	Camada vegetal	
30 - 100	Rocha basáltica	

x - Informação não preenchida no relatório original.

<b>Poço:</b>	SG - 2		<b>Município:</b>	Honório Serpa	
<b>Coordenadas:</b>	N	7106773	E	361231	UTM zone 22S
<b>Ano de construção:</b>	2015		<b>Profundidade(m):</b>	156	
<b>Geólogo(a):</b>	D		<b>Empresa:</b>	E4	

<b>N.E.(m)</b>	35		<b>N.D.(m)</b>	50		<b>Crivo da Bomba(m)</b>	152		
			<b>Vazão</b>	1,5		<b>m<sup>3</sup>/h</b>			
<b>Perfuração</b>			<b>Revestimento</b>			<b>Seções Filtrantes</b>			
<b>Método:</b>			<b>Tipo:</b>			<b>Tipo:</b>			
<b>Diâmetro (pol)</b>	<b>Intervalo (m)</b>	<b>Ext. (m)</b>	<b>Diâmetro (pol)</b>	<b>Intervalo (m)</b>	<b>Ext. (m)</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>Intervalo (m)</b>	<b>Ext. (m)</b>	<b>Abertura (mm)</b>
6	0 - 156	156,00	6	(-)0,5 a 20	20,50				

<b>Pré-filtro</b>			<b>Entradas de água</b>	<b>Cimentação</b>	
<b>Gran. (mm)</b>	<b>Intervalo(m)</b>	<b>Volume (m3)</b>		<b>Intervalo(m)</b>	<b>Volume (m3)</b>
			148	0 - 20	1

<b>Prof. (m)</b>	<b>Descrição Litológica</b>	
0 - 20	Material inconsolidado e/ou regolito.	
20 - 156	Rochas ígneas efusivas da Formação Serra Geral.	

x - Informação não preenchida no relatório original.

Poço:	SG - 3		Município:		
Coordenadas:	N	7298188	E	241949	UTM zone 22S
Ano de construção:	2013		Profundidade(m):	80	
Geólogo(a):	C		Empresa:	E3	

N.E.(m)	20		N.D.(m)	60		Crivo da Bomba(m)	70		
			Vazão	5 m <sup>3</sup> /h					
Perfuração			Revestimento			Seções Filtrantes			
Método: x			Tipo: x			Tipo:			
Diâmetro (pol)	Intervalo (m)	Ext. (m)	Diâmetro (pol)	Intervalo (m)	Ext. (m)	Diâmetro (mm)	Intervalo (m)	Ext. (m)	Abertura (mm)
8 1/2	0 - 12	12,00	6	0 - 12	12,00				
8 1/2	12 - 80	68,00							

Pré-filtro			Entradas de água	Cimentação	
Gran. (mm)	Intervalo(m)	Volume (m3)		Intervalo(m)	Volume (m3)
			x	0 - 12	0,3

Prof. (m)	Descrição Litológica
0 - 10	Solo arenoso
11 - 20	Solo argiloso de coloração escura
21 - 80	Basalto, rocha desagregada
x - Informação não preenchida no relatório original.	

Poço:	SG - 4		Município:	Foz do Iguaçu	
Coordenadas:	N	7173498	E	742816	UTM zone 21S
Ano de construção:	2018		Profundidade(m):	234	
Geólogo(a):	D		Empresa:	E4	

N.E.(m)	123,45		N.D.(m)	198,63		Crivo da Bomba(m)	200		
			Vazão	1,5 m <sup>3</sup> /h					
Perfuração			Revestimento			Seções Filtrantes			
Método: x			Tipo: x			Tipo: x			
Diâmetro (pol)	Intervalo (m)	Ext. (m)	Diâmetro (pol)	Intervalo (m)	Ext. (m)	Diâmetro (mm)	Intervalo (m)	Ext. (m)	Abertura (mm)
8	0 - 12	12,00	6	0 - 12	12,00				
6	12 - 234	222,00							

Pré-filtro			Entradas de água	Cimentação	
Gran. (mm)	Intervalo(m)	Volume (m3)		Intervalo(m)	Volume (m3)
			x	0 - 12	1,5

Prof. (m)	Descrição Litológica
0 - 12	Material inconsolidado silte argiloso de coloração avermelhada, granulometria fina e poroso.
12 - 234	Rochas basálticas de coloração cinza escura, textura afanítica e fragmentação média.
x - Informação não preenchida no relatório original.	

Poço:	SG - 5		Município:	Assis Chateaubriand	
Coordenadas:	N	7297310	E	241969	UTM zone 22S
Ano de construção:	x		Profundidade(m):	x	
Geólogo(a):	E		Empresa:	Indisponível	

N.E.(m)	16,08		N.D.(m)	28,64		Crivo da Bomba(m)	76		
			Vazão	1,8 m <sup>3</sup> /h					
Perfuração			Revestimento			Seções Filtrantes			
Método: x			Tipo: x			Tipo: x			
Diâmetro (pol)	Intervalo (m)	Ext. (m)	Diâmetro (pol)	Intervalo (m)	Ext. (m)	Diâmetro (mm)	Intervalo (m)	Ext. (m)	Abertura (mm)
8	0 - 21	21,00	6	0 - 21	21,00				
6	21 - 108	87,00							

Pré-filtro			Entradas de água	Cimentação	
Gran. (mm)	Intervalo(m)	Volume (m3)		Intervalo(m)	Volume (m3)
			x	0 - 12	0,5

Prof. (m)	Descrição Litológica
0 - 6	Solo argiloso marrom avermelhado.
6 - 13	Solo argilo-siltoso de tonalidade roxa.
13 - 19	Alteração de rocha basáltica de tonalidade acinzentada.
19 - 108	Rocha Basáltica cinza escura e avermelhada, amigdaloidal em algumas porções com preenchimento de quartzo.
x - Informação não preenchida no relatório original.	

Poço:	SG - 6		Município:	Cataglo	
Coordenadas:	N	7194057	E	388223	UTM zone 22S
Ano de construção:	x		Profundidade(m):	200	
Geólogo(a):	F		Empresa:	E5	

N.E.(m)	85		N.D.(m)	100		Crivo da Bomba(m)	140		
			Vazão	5 m <sup>3</sup> /h					
Perfuração			Revestimento			Seções Filtrantes			
Método: Rotopneumático			Tipo: Aço carbono			Tipo:			
Diâmetro (pol)	Intervalo (m)	Ext. (m)	Diâmetro (pol)	Intervalo (m)	Ext. (m)	Diâmetro (mm)	Intervalo (m)	Ext. (m)	Abertura (mm)
8	0 - 16	16,00	6	+0,5 - 16	16,50				
6	16 - 200	184,00							

Pré-filtro			Entradas de água	Cimentação	
Gran. (mm)	Intervalo(m)	Volume (m3)		Intervalo(m)	Volume (m3)
			125 - 165	0 - 2	0,05

Prof. (m)	Descrição Litológica
0 - 15	Latossolo Vermelho distroférico
15 - 16	Manto de alteração do Basalto da Fm. Serra Geral
16 - 200	Basalto da Fm. Serra Geral
x - Informação não preenchida no relatório original.	

<b>Poço:</b>	SG - 7		<b>Município:</b>	Guarapuava
<b>Coordenadas:</b>	<b>N</b>	7194384	<b>E</b>	451363 UTM zone 22S
<b>Ano de construção:</b>	2017		<b>Profundidade(m):</b>	478
<b>Geólogo(a):</b>	G		<b>Empresa:</b>	E6

<b>N.E.(m)</b>	138,31		<b>N.D.(m)</b>	251,39		<b>Crivo da Bomba(m)</b>	252		
			<b>Vazão</b>	14 m <sup>3</sup> /h					
<b>Perfuração</b>			<b>Revestimento</b>			<b>Seções Filtrantes</b>			
<b>Método:</b>			<b>Tipo:</b>			<b>Tipo:</b>			
x			Aço Preto/Geo						
<b>Diâmetro (pol)</b>	<b>Intervalo (m)</b>	<b>Ext. (m)</b>	<b>Diâmetro (pol)</b>	<b>Intervalo (m)</b>	<b>Ext. (m)</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>Intervalo (m)</b>	<b>Ext. (m)</b>	<b>Abertura (mm)</b>
10	0 - 12	12,00	8	0 - 9	9,00				
8	12 - 24	12,00	6	0 - 24	24,00				
6 1/2	24 - 478	454,00							

<b>Pré-filtro</b>			<b>Entradas de água</b>	<b>Cimentação</b>	
<b>Gran. (mm)</b>	<b>Intervalo(m)</b>	<b>Volume (m3)</b>		<b>Intervalo(m)</b>	<b>Volume (m3)</b>
			64, 456, 460, 478	0 - 24	1

<b>Prof. (m)</b>	<b>Descrição Litológica</b>
0 - 3	Espaço vago
3 - 11,5	Solo
11,5 - 46	Basalto preto duro
46 - 57	Basalto marrom mole
57 - 64	Basalto preto duro
64 - 82	Basalto marrom mole
82 - 116	Basalto preto duro
116 - 157	Basalto marrom mole
157 - 189	Basalto preto duro
189 - 207	Basalto marrom mole
207 - 246	Basalto preto duro
246 - 273	Basalto marrom mole
273 - 306	Basalto preto duro
306 - 328	Basalto verde mole
328 - 360	Basalto preto duro
360 - 381	Basalto marrom mole
381 - 412	Basalto preto duro
412 - 423	Basalto marrom mole
423 - 455	Basalto preto duro
455 - 460	Arenito branco mole
460 - 466	Basalto verde mole
466 - 478	Arenito branco mole

x - Informação não preenchida no relatório original.

Poço:	SG - 8		Município:	Marialva	
Coordenadas:	N	7395981	E	411971	UTM zone 22S
Ano de construção:	x		Profundidade(m):	126	
Geólogo(a):	H		Empresa:	E7	

N.E.(m)	31		N.D.(m)	53,5		Crivo da Bomba(m)	72		
			Vazão	3 m <sup>3</sup> /h					
Perfuração			Revestimento			Seções Filtrantes			
Método: Pneumático			Tipo: Geomecânico			Tipo:			
Diâmetro (pol)	Intervalo (m)	Ext. (m)	Diâmetro (pol)	Intervalo (m)	Ext. (m)	Diâmetro (mm)	Intervalo (m)	Ext. (m)	Abertura (mm)
6	0 - 20	20,00	6	0 - 23	23,00				
8	20 - 126	106,00							

Pré-filtro			Entradas de água	Cimentação	
Gran. (mm)	Intervalo(m)	Volume (m3)		Intervalo(m)	Volume (m3)
			51	0 - 20	1,1

Prof. (m)	Descrição Litológica
0 - 23	Solo com raízes, em tons avermelhados argiloso.
23 - 126	Rocha basáltica, em tons marrons a cinza.
x - Informação não preenchida no relatório original.	

Poço:	SG - 9		Município:	Apucarana	
Coordenadas:	N	7393565	E	446663	UTM zone 22S
Ano de construção:	2017		Profundidade(m):	x	
Geólogo(a):	I		Empresa:	E8	

N.E.(m)	82		N.D.(m)	136		Crivo da Bomba(m)	150		
			Vazão	3,8 m <sup>3</sup> /h					
Perfuração			Revestimento			Seções Filtrantes			
Método: Rotopneumático			Tipo: Aço			Tipo: x			
Diâmetro (pol)	Intervalo (m)	Ext. (m)	Diâmetro (pol)	Intervalo (m)	Ext. (m)	Diâmetro (mm)	Intervalo (m)	Ext. (m)	Abertura (mm)
6	0 - 14	14,00	6	0 - 14	14,00				
6	14 - 200	186,00							

Pré-filtro			Entradas de água	Cimentação	
Gran. (mm)	Intervalo(m)	Volume (m3)		Intervalo(m)	Volume (m3)
				0 - 14	1

Prof. (m)	Descrição Litológica
0 - 14	Solo
14	Aquífero Serra Geral.
x - Informação não preenchida no relatório original.	

<b>Poço:</b>	SG - 10		<b>Município:</b>	Diamante do Sul	
<b>Coordenadas:</b>	<b>N</b>	7237459	<b>E</b>	336388	UTM zone 22S
<b>Ano de construção:</b>	2017		<b>Profundidade(m):</b>	320	
<b>Geólogo(a):</b>	G		<b>Empresa:</b>	E6	

<b>N.E.(m)</b>	150,11		<b>N.D.(m)</b>	252		<b>Crivo da Bomba(m)</b>	252		
			<b>Vazão</b>	10,2 m <sup>3</sup> /h					
<b>Perfuração</b>			<b>Revestimento</b>			<b>Seções Filtrantes</b>			
<b>Método:</b>			<b>Tipo:</b>			<b>Tipo:</b>			
x			Aço Preto/Geo						
<b>Diâmetro (pol)</b>	<b>Intervalo (m)</b>	<b>Ext. (m)</b>	<b>Diâmetro (pol)</b>	<b>Intervalo (m)</b>	<b>Ext. (m)</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>Intervalo (m)</b>	<b>Ext. (m)</b>	<b>Abertura (mm)</b>
14	0 - 2	2,00	12	0 - 2	2,00				
12	2 - 12	10,00	8	0 - 12	12,00				
8	12 - 320	308,00							

<b>Pré-filtro</b>			<b>Entradas de água</b>	<b>Cimentação</b>	
<b>Gran. (mm)</b>	<b>Intervalo(m)</b>	<b>Volume (m3)</b>		<b>Intervalo(m)</b>	<b>Volume (m3)</b>
			185, 240	0 - 12	1

<b>Prof. (m)</b>	<b>Descrição Litológica</b>
0 - 1,5	Solo
1,5 - 29	Basalto preto duro
29 - 48	Basalto marrom mole
48 - 61	Basalto preto duro
61 - 87	Basalto marrom mole
87 - 125	Basalto preto duro
125 - 158	Basalto marrom mole
158 - 184	Basalto preto duro
184 - 198	Basalto marrom mole
198 - 238	Basalto preto duro
238 - 256	Basalto marrom mole
256 - 293	Basalto preto duro
293 - 305	Basalto marrom mole
305 - 320	Basalto preto duro
x - Informação não preenchida no relatório original.	

Poço:	SG -11		Município:	Jandaia do Sul	
Coordenadas:	N	7387650	E	430371	UTM zone 22S
Ano de construção:	x		Profundidade(m):	170	
Geólogo(a):	J		Empresa:	E9	

N.E.(m)	132,39		N.D.(m)	149,21		Crivo da Bomba(m)	160		
			Vazão	3		m³/h			
Perfuração			Revestimento			Seções Filtrantes			
Método: x			Tipo: Geomecânico			Tipo: x			
Diâmetro (pol)	Intervalo (m)	Ext. (m)	Diâmetro (pol)	Intervalo (m)	Ext. (m)	Diâmetro (mm)	Intervalo (m)	Ext. (m)	Abertura (mm)
10	0 - 3	3,00	6	0 - 3	3,00				
6	3 - 170	167,00							

Pré-filtro			Entradas de água	Cimentação	
Gran. (mm)	Intervalo(m)	Volume (m3)		Intervalo(m)	Volume (m3)
			149 - 163	0 - 3	0,07

Prof. (m)	Descrição Litológica
0 - 3	Solo siltico argiloso de cor marrom avermelhado.
3 - 170	Rocha basáltica com presença de fraturas.
x - Informação não preenchida no relatório original.	

**ANEXO 2 – TABELAS DE ANÁLISES POR CATEGORIA DE ASPECTO TÉCNICO****PERFURAÇÃO E REVESTIMENTO – SERRA GERAL**

Problemas encontrados						
Popo	Não informa método de perfuração	Não informa tipo de revestimento	Não informa espaço anular mínimo (2 pol quando ideal é 3)	Não informa entradas de água	Não deixa saliência de tubo acima do terreno	Revestimento não adentra a rocha
SG - 1	Não informa método de perfuração	Não informa tipo de revestimento	Não informa espaço anular mínimo (2 pol quando ideal é 3)	Não informa entradas de água	Não deixa saliência de tubo acima do terreno	Revestimento não adentra a rocha
SG - 2	Não informa método de perfuração	Não informa tipo de revestimento	Incompatibilidade de diâmetros entre perfuração e revestimento (ambos em Øpol).	Perfil da perfuração em diâmetro único não permite acomodação de revestimento interperismo-rocha	Revestimento não adentra a rocha sã, vai apenas até a interface manto de interperismo-rocha	Revestimento não adentra a rocha, encerrando em meio a solo. Há 8m de solo exposto abaixo do revestimento.
SG - 3	Não informa método de perfuração	Não informa tipo de revestimento	Não informa entradas de água	Perfil da perfuração em diâmetro único não permite acomodação de revestimento ideal é 3)	Não respeita espaço anular mínimo (1 1/4 pol quando ideal é 3)	Revestimento não adentra a rocha, encerrando em meio a solo. Há 8m de solo exposto abaixo do revestimento.
SG - 4	Não informa método de perfuração	Não informa tipo de revestimento	Não informa entradas de água	Não respeita espaço anular mínimo (1 pol quando ideal é 3)	Revestimento não adentra a rocha, vai apenas até a interface material inconsolidado-rocha	Não deixa saliência de tubo acima do terreno
SG - 5	Não informa método de perfuração	Não informa tipo de revestimento	Não informa entradas de água	Não respeita espaço anular mínimo (1 pol quando ideal é 3)	Revestimento adentra apenas 2m em rocha sã (recomendável é 3m)	Não deixa saliência de tubo acima do terreno
SG - 6	Sem especificação precisa do tipo revestimento	Não respeita espaço anular mínimo (1 pol quando ideal é 3)	Revestimento não adentra a rocha sã, vai apenas até a interface manto de interperismo-rocha			
SG - 7	Não informa método de perfuração	Sem especificação precisa dos tipos revestimentos	A profundidade atingida e a pequena extensão de revestimento permite a troca livre de águas entre aquíferos Guarani e Serra Geral	Não deixa saliência de tubo acima do terreno	Não respeita espaço anular mínimo (1 pol quando ideal é 3)	Diâmetro da base do revestimento (Øpol) menor que a da perfuração neste ponto (Ø 1/2pol)
SG - 8	Informa método como pneumático. Supõe-se se trate de rotoneumático.	Sem especificação precisa do tipo de tubo geomecânico	Não informa entradas de água	Provável inversão de diâmetros de perfuração no preenchimento de formulários. Perfil construtivo Não há apoio para base no indicado é pouco praticável.	Incompatibilidade de extensão de revestimento com intervalos perfurados.	Revestimento não adentra a rocha, vai apenas até a interface solo-rocha
SG - 9	Sem especificação precisa do tipo de revestimento de aço	Não informa entradas de água	Incompatibilidade de diâmetros entre perfuração e revestimento (ambos em Øpol)	Revestimento não adentra a rocha, vai apenas até a interface solo-rocha	Não deixa saliência de tubo acima do terreno	Perfil da perfuração em diâmetro único não permite acomodação de revestimento
SG - 10	Não informa método de perfuração	Sem especificação precisa dos tipos revestimentos	Não respeita espaço anular mínimo (2 pol quando ideal é 3)	Não deixa saliência de tubo acima do terreno		
SG - 11	Não informa método de perfuração	Sem especificação precisa do tipo de tubo geomecânico	Não deixa saliência de tubo acima do terreno	Não respeita espaço anular mínimo (2 pol quando ideal é 3)	Revestimento não adentra a rocha, vai apenas até a interface solo-rocha	Revestimento não adentra a rocha, vai apenas até a interface solo-rocha



## PERFURAÇÃO E REVESTIMENTO – CAIUÁ

Poço	Problemas encontrados				
C-1	Não informa método de perfuração	Não informa tipo de revestimento	Não deixa saliência de tubo acima do terreno	Não tem registro de entradas de água	Não é possível saber se a perfuração atravessou toda a camada saturada
C-2	Não informa método de perfuração	Não informa tipo de revestimento	Informação vaga de entrada de água	Não deixa saliência de tubo acima do terreno	Não é possível saber se a perfuração atravessou toda a camada saturada
C-3	Informação imprecisa de tipo de tubo, não indica se é PVC geomecânico	Não respeita espaço anular mínimo (1 pol quando ideal é 3).	Não deixa saliência de tubo acima do terreno	Informação vaga de entrada de água	Não é possível saber se a perfuração atravessou toda a camada saturada
C-4	Não informa método de perfuração	Não tem registro de entradas de água	Informação imprecisa tipo de revestimento, não deixando claro se é tubo geomecânico ou PVC comum	Não respeita diâmetro mínimo de tubo (3 pol, quando ideal é 4), nem espaço anular mínimo (1/2 pol quando ideal é 3)	Revestimento (sem filtro) até fundo do poço, situação em que não haveria entrada de água
C-5	Não informa método de perfuração	Não tem registro de entradas de água	Não informa tipo de revestimento	Não respeita espaço anular mínimo (1 1/4 pol quando ideal é 3)	Revestimento não adentra a rocha, vai apenas até a interface solo-rocha
C-6	Informa método como pneumático. Supõe-se se trate de rotoneumático.	Usa revestimento de aço, o que pode favorecer corrosão em pH ácido (comum no aquífero Caiuá). Mas no poço em questão o pH medido é 6,22 (próximo a neutro).	Não deixa saliência de tubo acima do terreno	Não é possível saber se a perfuração atravessou toda a camada saturada	Não é possível saber se a perfuração atravessou toda a camada saturada
C-7	Não informa método de perfuração	Não informa tipo de revestimento	Não respeita espaço anular mínimo (2 1/4 pol quando ideal é 3)	Não respeita espaço anular mínimo (1 1/4 pol quando ideal é 3)	Não é possível saber se a perfuração atravessou toda a camada saturada
C-8	Não informa método de perfuração	Não informa tipo de revestimento	Não informa espaço anular mínimo (1 1/4 pol quando ideal é 3)	Não deixa saliência de tubo acima do terreno	Não é possível saber se a perfuração atravessou toda a camada saturada
C-9	Não informa método de perfuração	Não informa tipo de revestimento	Não informa entradas de água	Não deixa saliência de tubo acima do terreno	Não é possível saber se a perfuração atravessou toda a camada saturada
C-10	Informação imprecisa de tipo de tubo, não indica se é PVC geomecânico	Não deixa saliência de tubo acima do terreno	Não respeita espaço anular (faltando apenas 1/16 pol)	Ausência de perfil litológico não permite avaliar extensão do revestimento	Não é possível saber se a perfuração atravessou toda a camada saturada
C-11	Não informa método de perfuração	Não informa tipo de revestimento	Não respeita espaço anular mínimo (2 1/4 pol quando ideal é 3)	Não deixa saliência de tubo acima do terreno	Não é possível saber se a perfuração atravessou toda a camada saturada



## FILTRO E PRÉ-FILTRO

Poço	Tipo de filtro	Abertura do filtro e granulometria do pré-filtro	Problemas encontrados			Extensão e posição dos elementos filtrantes
			Espaço anular mínimo (75mm ou 3pol) para pré-filtro	Relação com nível dinâmico		
C-1	Não informa				N.D. abaixo do topo dos filtros	Filtro excessivamente extenso (103m, 4/5 do poço)
C-2	Não informa					Pré-filtro hiperdimensionado em relação a filtro.
C-3	Informação imprecisa, não indica se é PVC geomecânico, nem seu padrão (leve, standard ou reforçado)		Não respeita (apenas 1pol)			Pré-filtro em toda a extensão do poço, até a superfície
C-4	Não informa	Sem qualquer informação sobre filtro ou pré-filtro.	Não respeita (apenas 0,5 pol, se houver pré-filtro)			
C-5	Não informa	Granulometria do pré-filtro muito grande (10mm), ou erro de digitação	Não respeita (apenas 1pol)		N.D. abaixo do topo dos filtros	Pré-filtro em contato com solo e de igual extensão ao filtro do poço.
C-6	Filtro tipo Nold, provavelmente em aço. Não necessariamente é um erro, mas possivelmente não o mais otimizado para o Caluá.		Não respeita (apenas 1 1/4pol)			Pré-filtro hiperdimensionado em relação a filtro.
C-7	Não informa		Não respeita (apenas 2 1/4pol)		N.D. abaixo do topo dos filtros	Pré-filtro de igual extensão ao filtro
C-8	Não informa	Abertura do filtro (5mm) não retém pré-filtro (2mm), ou há erro de digitação.	Não respeita (apenas 1 1/4pol)			Perfil litológico indica lentes de argilto mas não sua espessura; pode haver filtro em porções desnecessárias.
C-9	Não informa		Não respeita (apenas 2 1/2pol)			Pré-filtro hiperdimensionado em relação a filtro.
C-10	Informação imprecisa, não indica se é PVC geomecânico, nem seu padrão (leve, standard ou reforçado)		Não respeita (falta 1/8pol)			Pré-filtro em toda a extensão do poço, até a superfície
C-11	Não informa		Não respeita (apenas 2 1/4pol)			Pré-filtro hiperdimensionado em relação a filtro.

**ANEXO 3 – AUTORIZAÇÃO PARA USO DE DADOS**



### Termo de Autorização

Vimos através desta autorização permitir que o estudante de geologia Danilo Percicotte, na condição de estagiário no Instituto das Águas do Paraná, venha ter acesso aos dados de outorga para realização dos trabalhos de conclusão do curso de geologia.

Os dados que poderão ser usados como localização, uso da água, informações técnicas dos poços e análises de água etc., ficando restrito e preservados de divulgação os dados pessoais dos usuários requerentes das outorgas.



Jurandir Boz Filho  
Geólogo - CREA 14060/D  
DEOF/AGUASPARANÁ