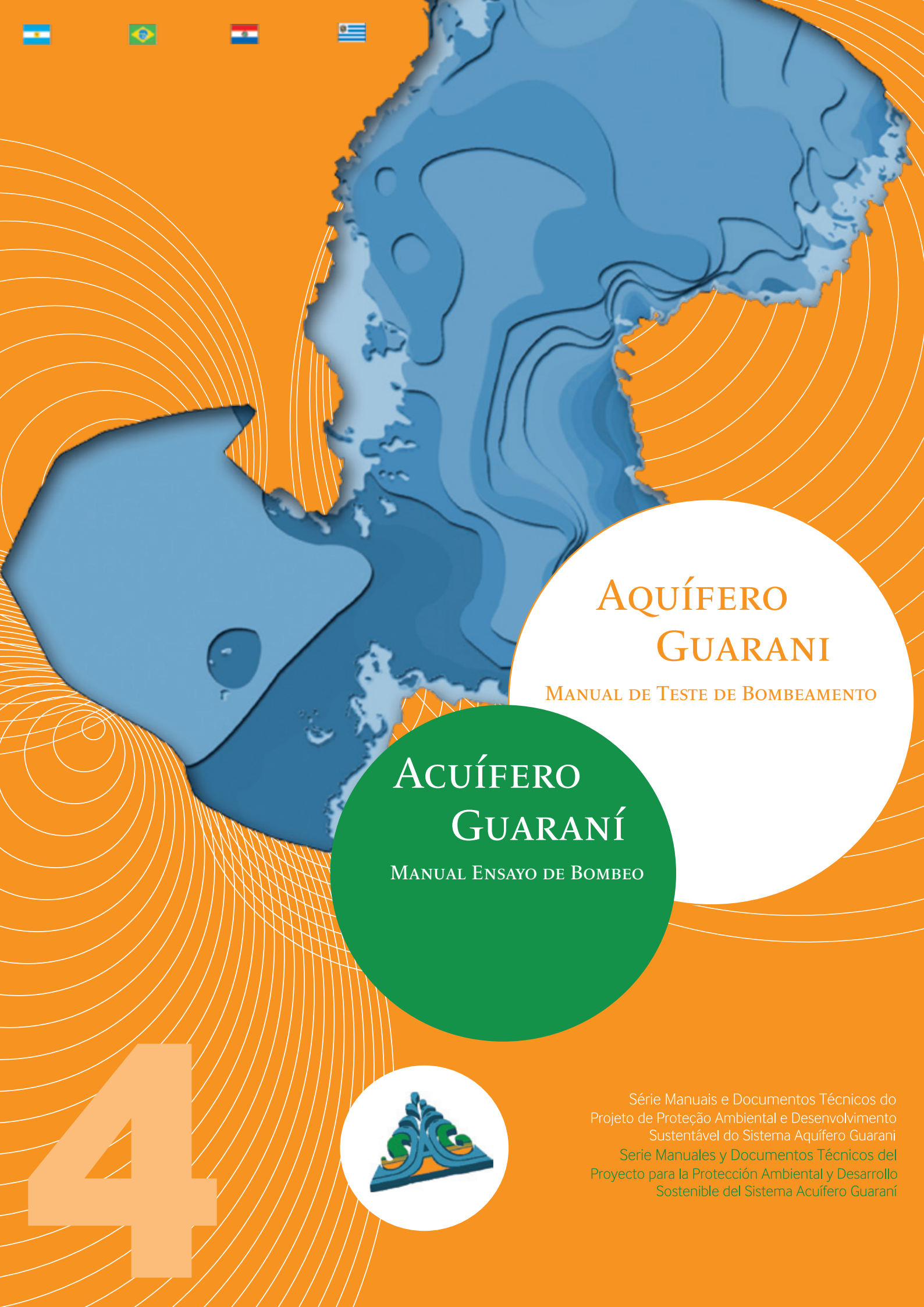




AQUÍFERO GUARANI

MANUAL DE TESTE DE BOMBEAMENTO

ACUÍFERO GUARANÍ

MANUAL ENSAYO DE BOMBEO



Série Manuais e Documentos Técnicos do
Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento
Sustentável do Sistema Aquífero Guaraní
Serie Manuales y Documentos Técnicos del
Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo
Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní



**Projeto para a Proteção Ambiental
e Desenvolvimento Sustentável
do Sistema Aquífero Guaraní
Proyecto para la Protección
Ambiental y Desarrollo Sostenible
del Sistema Acuífero Guaraní**

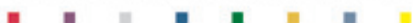


Projeto para a Proteção Ambiental
e Desenvolvimento Sustentável
do Sistema Aquífero Guarani
Proyecto para la Protección
Ambiental y Desarrollo Sostenible
del Sistema Acuífero Guarani



Documento Técnico de Teste de Bombeamento “Sistema Aquífero Guarani”

Documento Técnico Ensayo de Bombeo “Sistema Acuífero Guarani”



Série “Manuais e Documentos Técnicos do Projeto de Proteção Ambiental
e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani”

Serie “Manuales y Documentos Técnicos del Proyecto para la Protección Ambiental
y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guarani”

Autor:

- **Moshe Feller¹**

¹Consórcio Guarani: Tahal Consulting Engineers Ltd., Seinco S. R. L., Hidroestructuras S. A., Hidrocontrol S. A., Hidroambiente S. A.

Consórcio Guarani:

- Coordenação Técnica: **Dr. Gerardo Veroslavsky**

Secretaria Geral do Projeto SAG:

- Supervisão Técnica Geral: **Dr. Jorge N. Santa Cruz**
- Revisão Final: **Lic. Alberto Manganelli**
- Plano de Obra e Responsabilidade por Desenho e Publicação: **Lic. Roberto Montes**

Os resultados, interpretações, conclusões, denominações e opiniões presentes neste relatório e a forma como aparecem são de responsabilidade exclusiva do autor. Não representam juízos de valor sobre as condições jurídicas de países, territórios, cidades ou áreas, nem sobre as atividades diversas e a delimitação de fronteiras e limites estabelecidos pelos países. Tampouco representa a opinião da Secretaria Geral da Organização dos Estados Americanos (SG/OEA) ou da Secretaria Geral do Projeto SAG.

Fica autorizada a reprodução e a difusão do conteúdo deste livro para fins educativos e não comerciais e sem prévia autorização escrita, desde que haja referência expressa à fonte.

Autor:

- **Moshe Feller¹**

¹Consórcio Guarani: Tahal Consulting Engineers Ltd., Seinco S.R.L., Hidroestructuras S.A., Hidrocontrol S.A., Hidroambiente S.A

Por el Consorcio Guarani:

- Coordinación Técnica: **Dr. Gerardo Veroslavsky**

Por la Secretaría General del Proyecto SAG:

- Supervisión Técnica General: **Dr. Jorge N. Santa Cruz**
- Revisión Final: **Lic. Alberto Manganelli**
- Plan de Obra y Responsabilidad Diseño y Publicación: **Lic. Roberto Montes**

Los resultados, interpretaciones, conclusiones, denominaciones y opiniones presentes en este informe y la forma como aparecen son una contribución técnica para la difusión de los conocimientos del Sistema Acuífero Guarani. No representan juicios de valor sobre las condiciones jurídicas de países, territorios, ciudades o áreas, ni sobre las actividades diversas y la delimitación de fronteras y límites establecidos por los países. Tampoco representa la opinión de la Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos (SG/OEA).

Queda autorizada la reproducción y difusión del contenido de este libro para fines educativos y no comerciales y sin previa autorización por escrito, siempre y cuando se cite claramente la fuente.

PREFÁCIO

O Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guaraní é uma iniciativa da Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai para aumentar o conhecimento referente ao aquífero e propor medidas de caráter técnico, legal e institucional para sua gestão sustentável. O projeto contou com o apoio de fundos de doação provenientes do Fundo para o Meio Ambiente Mundial (GEF por sua sigla em inglês), que foram implementados pelo Banco Mundial e executados pela Organização dos Estados Americanos (OEA). Foi executado no período 2003-2009 segundo componentes e atividades previamente definidos.

O mesmo foi organizado em sete componentes com atividades inter-relacionadas que permitiram caracterizar o sistema Aquífero Guaraní em função de suas particularidades e comportamento hidrogeológico, seu aproveitamento e preservação, seu relacionamento com comunidades e instituições, em particular pelas necessidades de planejamento e ordenamento territorial para melhorar a gestão sustentável de suas águas.

No componente do conhecimento, foi prevista a execução da Série “Manuais e Documentos Técnicos”, com a consequente iniciativa de que todos os produtos obtidos em forma de dados e conhecimento devem ser traduzidos e compatibilizados com termos práticos e concretos, que sirvam ou orientem convenientemente aos gestores, legisladores e políticos para poder preparar e aplicar com bases técnicas sólidas, as regulamentações necessárias para o gerenciamento, regulação e proteção do Sistema Aquífero Guaraní.

Agradeço a contribuição dos técnicos e autores do Consórcio Aquífero Guaraní, em especial de Alberto Manganelli pelo trabalho de compilação da Síntese Hidrogeológica e de Jorge Santa Cruz pelo trabalho de supervisão dos documentos da presente Série.

PRÓLOGO

El Proyecto de Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní es una iniciativa de Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay para aumentar el conocimiento referente al acuífero y proponer medidas de carácter técnico, legal e institucional para su gestión sostenible. El proyecto contó con el apoyo de los fondos de donación del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF por su sigla en inglés), que fueron implementados por el Banco Mundial y ejecutados por la Organización de los Estados Americanos (OEA). Fue ejecutado en el período 2003-2009 siguiendo componentes y actividades previamente definidas.

Fue organizado en siete componentes con actividades interrelacionadas que permitieron caracterizar el sistema Acuífero Guaraní en función de sus particularidades y comportamiento, hidrogeológico, su aprovechamiento y preservación, su relación con comunidades e instituciones, en particular las necesidades de planificación y ordenamiento del territorio para mejorar la gestión sostenible de sus aguas.

En el componente del conocimiento se inscribe la ejecución de la Serie “Manuales y Documentos Técnicos”, consecuentemente con la iniciativa de que todos los productos obtenidos en forma de datos y conocimiento deben ser traducidos y compatibilizados con términos prácticos y concretos que sirvan u orienten convenientemente a los gestores, legisladores y políticos para poder aplicar técnicamente, con bases técnicas sólidas, las normas necesarias para el manejo, regulación y protección del Sistema Acuífero Guaraní.

Agradezco la contribución de los técnicos y autores del Consorcio Acuífero Guaraní, en especial de Alberto Manganelli por el trabajo de recopilación de la Síntesis Hidrogeológica y de Jorge Santa Cruz por el trabajo de supervisión de los documentos de la presente Serie.

Luiz Amore
Secretário Geral do Projeto
Secretario General del Proyecto

PREFÁCIO

A maior parte do Sistema Aquífero Guarani (SAG) encontra-se sob confinamento. Seus setores de afloramento são principalmente de recarga, havendo alguns casos de descarga subterrânea. Os setores mais profundos apresentam artesianismo e temperaturas de origem geotérmica de 60 °C ou mais.

O estudo do SAG foi feito de forma interdisciplinar. Foram aplicadas metodologias e tecnologias geológicas, petrológicas, petrofísicas, geofísicas, hidrogeológicas, hidroquímicas e isotópicas. Além disso, foram realizados estudos complementares de hidrometeorologia, hidrologia superficial e modelação matemática, entre outros. Esse complexo sistema aquífero exige um conhecimento detalhado e concreto das características de cada um de seus setores.

A gestão sustentável das águas subterrâneas requer conhecimento atualizado sobre esse recurso. O conhecimento deve ser transmitido à sociedade, incentivando sua participação e melhorando sua relação com a ciência e a tecnologia. Esse é o propósito destes manuais e guias de procedimentos, elaborados por profissionais especializados e de prestígio.

A realização de estudos detalhados sobre os elementos do ciclo hidrológico nas áreas florestadas, especialmente sobre os afloramentos de materiais geológicos arenosos do SAG (possíveis áreas de recarga), resolve o *deficit* metodológico existente nos campos da hidrogeologia e da hidrologia. A percolação, a infiltração, o movimento da água em zonas não saturadas (ZNS), a interceptação da chuva pela folhagem, a qualidade da água infiltrada, as modificações no escoamento superficial e subsuperficial, as mudanças provocadas pelo desenvolvimento do ciclo vegetativo são alguns dos temas pesquisados e desenvolvidos neste Documento Técnico.

PRÓLOGO

El SAG presenta su mayor parte de cobertura territorial bajo confinamiento. Sus sectores aflorante pueden ser de recarga o en algunos casos de descarga subterránea. Los sectores más profundos presentan artesianismo y temperaturas de origen geotérmico de 60°C y aún más.

Su estudio fue encarado interdisciplinariamente aplicándose metodologías y tecnologías geológicas, petrológicas-petrofísicas, geofísicas, hidrogeológicas, hidroquímicas e isotópicas, habiéndose encarado también estudios complementarios de hidrometeorología, hidrología superficial y modelación matemática, entre otros. Se resalta la complejidad del Sistema y la necesidad del conocimiento a escalas de más detalle y aspectos concretos de las distintas problemáticas existentes a nivel más sectorial.

Desde el momento que la Gestión Sustentable del Agua Subterránea implica también un conocimiento actualizado del Recurso y una transferencia a la sociedad para participar en la mejora de la relación: C y T / Sociedad, es que se encaró la realización de estos Manuales y Guías de procedimientos por prestigiosos profesionales especializados.

La aplicación de métodos de estudios detallados del comportamiento de los elementos del ciclo hidrológico en áreas forestadas, especialmente sobre los materiales geológicos arenosos aflorantes del SAG (posibles áreas de recarga), cubre un déficit metodológico existente en las áreas del conocimiento hidrogeológico e hidrológico en ese sentido. Elementos como percolación e infiltración, movimiento del agua en la zona no saturada (ZNS), efecto de la interceptación de la lluvia por el follaje, calidad del agua infiltrada, modificaciones en el escurrimiento superficial y subsuperficial, cambios a través del desarrollo del ciclo vegetativo, y otros, son los aspectos a ser investigados en este tipo de tecnologías y desarrollados en este Documento Técnico.

Jorge Néstor Santa Cruz
Coordenador técnico 1 e 6 do Projeto SAG
Coordinador Técnico 1 y 6 del Proyecto SAG

Equipe do Projeto para a Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guaraní em 2009

Responsáveis Nacionais:

Por Argentina: Fabián López
Por Brasil: Vicente Andreu Guillo
Por Paraguai: José Luis Casaccia
Por Uruguai: José Luis Genta

Coordenadores Nacionais:

Por Argentina: Miguel Ángel Giraut
Maria Josefa Fioriti (Coordenadora Adjunta)
Maria Santi (Coordenadora Adjunta)
Por Brasil: João Bosco Senra
Adriana Niemeyer Pires Ferreira (Suplente)
Por Paraguai: Amado Insfrán Ortíz
Por Uruguai: Lourdes Batista
Juan Ledesma (Suplente)

Representantes da OEA:

Cletus Springer
Jorge Rucks
Enrique Bello
Beatriz Santos
Lydia Ugas

Representantes do Banco Mundial:

Douglas Olson
Abel Mejía
Karin Kemper
Samuel Taffesse

Membros da Secretaria Geral:

Secretário-Geral: Luiz Amore
Coord. Técnico: Jorge N. Santa Cruz
Coord. Técnico: Daniel H. García Segredo
Coord. de Comunicação: Roberto Montes
Coord. de Administração: Luis Reolón
Assistente Técnico: Alberto Manganelli
Auxiliar Administrativa: Virginia Vila
Auxiliar Administrativo: Mathias González
Informática: Diego Lupinacci
Secretária Técnica Administrativa: Rossana Obispo
Secretária Bilingue: Patricia Guianze

Facilitadores dos Projetos Piloto:

Concordia – Salto: Enrique Massa Segui
Rivera – Santana: Achylles Bassedas
Itapúa: Alicia Eisenkölbl
Ribeirão Preto: Mauricio dos Santos

Organismos e Entidades de Apoio:

Agência Internacional de Energia Atômica
Serviço Geológico Alemão

Equipe Técnica de Editoração e Produção Gráfica:

TDA Comunicação

Equipo del Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní en 2009

Responsables Nacionales:

Por Argentina: Fabián López
Por Brasil: Vicente Andreu Guillo
Por Paraguay: José Luis Casaccia
Por Uruguay: José Luis Genta

Coordinadores Nacionales:

Por Argentina: Miguel Ángel Giraut
Maria Josefa Fioriti (Co-coordinadora)
Maria Santi (Co-coordinadora)
Por Brasil: João Bosco Senra
Adriana Niemeyer Pires Ferreira (Alterna)
Por Paraguay: Amado Insfrán Ortíz
Por Uruguay: Lourdes Batista
Juan Ledesma (Alterno)

Representantes de OEA:

Cletus Springer
Jorge Rucks
Enrique Bello
Beatriz Santos
Lydia Ugas

Representantes Banco Mundial:

Douglas Olson
Abel Mejía
Karin Kemper
Samuel Taffesse

Integrantes de la Secretaría General:

Secretario General: Luiz Amore
Coord. Técnico: Jorge N. Santa Cruz
Coord. Técnico: Daniel H. García Segredo
Coord. Comunicación: Roberto Montes
Coord. de Administración: Luis Reolón
Asistente técnico: Alberto Manganelli
Auxiliar Administrativa: Virginia Vila
Auxiliar Administrativo: Mathias González
Informática: Diego Lupinacci
Secretaria Técnica Administrativa: Rossana Obispo
Secretaria Bilingüe: Patricia Guianze

Facilitadores proyectos piloto:

Concordia – Salto: Enrique Massa Segui
Rivera – Santana: Achylles Bassedas
Itapúa: Alicia Eisenkölbl
Ribeirão Preto: Mauricio dos Santos

Organismos y Entidades de Apoyo:

Organismo Internacional de Energía Atómica
Servicio Geológico Alemán

Equipo Técnico de Editoración y Producción Gráfica:

TDA Comunicação

ÍNDICE GERAL

1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS DO Documento Técnico SOBRE TESTES DE BOMBEAMENTO NO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI	13
2 ASPECTOS GERAIS	15
2.1 Objetivos do teste de bombeamento	15
2.2 Legislação e documentos de referência	17
3 METODOLOGIAS E PROCEDIMENTOS PARA O SISTEMA AQUÍFERO GUARANI	18
3.1 Preparação do teste de bombeamento	18
3.2 Realização de testes de bombeamento no Sistema Aquífero Guaraní	22
3.3 Análise e ajuste de dados e medições	28
3.4 Interpretação dos testes	30
3.5 Teste de produção do poço no Sistema Aquífero Guaraní	35
4 ENTREGA DOS RELATÓRIOS SOBRE TESTE DE ENSAIO DE BOMBEAMENTO	36
APÊNDICE A	38
APÊNDICE B	41
APÊNDICE C	49
APÊNDICE D	52
APÊNDICE E	55
APÊNDICE F	59

ÍNDICE GENERAL

1 INTRODUCCION Y OBJETIVOS DEL Documento Técnico DE PRUEBAS DE BOMBEO PARA EL SISTEMA DEL ACUÍFERO GUARANI	13
2 GENERALIDADES	15
2.1 Objetivos de las pruebas de bombeo	15
2.2 Normativa y documentación de referencia	17
3 METODOLOGIAS Y PROCEDIMIENTOS PARA EL SISTEMA DEL ACUÍFERO GUARANI	18
3.1 Diseño de pruebas de acuífero	18
3.2 Realización de ensayos de acuífero en el sistema del acuífero Guaraní	22
3.3 Análisis y ajuste de datos y mediciones	28
3.4 Interpretación de las pruebas	30
3.5 Prueba de producción de pozo en el sistema del acuífero Guaraní	35
4 ENTREGA DEL INFORME DE ENSAYO DE BOMBEO	36
APÉNDICE A	38
APÉNDICE B	45
APÉNDICE C	49
APÉNDICE D	52
APÉNDICE E	55
APÉNDICE F	59

1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS DO DOCUMENTO TÉCNICO SOBRE TESTES DE BOMBEAMENTO NO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI

Este Documento Técnico destinado à interpretação dos testes de bombeamento constitui parte de um conjunto de manuais técnicos editados pelo Consórcio Guaraní. Seu objetivo é oferecer aos tomadores de decisões, aos empresários e operadores em geral um Documento Técnico de apoio. Com este documento, os profissionais poderão avaliar propostas, identificar e/ou rejeitar procedimentos bem como definir ações e atividades mínimas necessárias para o estudo e análise de futuras perfurações.

Os poços tubulares podem ser testados para um ou para os dois propósitos indicados abaixo:

- Coletar dados que permitam identificar as características hidráulicas do aquífero.
- Obter informações e dados sobre capacidade de produção e eficiência do poço testado, avaliando a capacidade específica permitindo o dimensionamento apropriado de um conjunto de bombeamento.

Testes de bombeamento adequadamente planejados e cuidadosamente executados revelam importantes parâmetros hidrodinâmicos do aquífero, tais como: transmissividade, Coeficiente de Armazenamento e capacidade específica. Esses dados são necessários para avaliação, desenvolvimento, exploração e manejo dos recursos hídricos subterrâneos.

O uso prático e a aplicação de ensaios de bombeamento tornam-se cada vez mais comum, permitindo compreender melhor a hidráulica e o fluxo das águas subterrâneas e o desenvolvimento de métodos de interpretação dos resultados para efeito de estimar os principais parâmetros hidráulicos do Aquífero Guaraní.

Um teste de aquífero consiste em efetuar o bombeamento de um poço e registrar tanto o rebaixamento do poço bombeado quanto o rebaixamento causado em outros poços de observação adjacentes.

1 INTRODUCCION Y OBJETIVOS DEL DOCUMENTO TÉCNICO DE PRUEBAS DE BOMBEO PARA EL SISTEMA DEL ACUÍFERO GUARANI

El presente Documento Técnico destinado a la interpretación de las pruebas de bombeo constituye parte integrante de los manuales de operación emitidos por el Consorcio Guaraní. Estos manuales tienen como objetivo proporcionar a los funcionarios a cargo de la toma de decisiones, empresarios y operadores en general, un Documento Técnico de apoyo, que les permitirá evaluar propuestas, identificar y/o rechazar técnicas o procedimientos, así como también definir las acciones o actividades mínimas a exigir para el estudio y análisis de las perforaciones a realizar.

Un pozo de agua puede ser probado para uno o dos propósitos principales indicados a continuación:

- *Suministro de datos de los cuales se derivan las características hidráulicas del acuífero, y.*
- *Obtención de información y datos acerca de la capacidad de producción y eficiencia del pozo que está siendo bombeado, es decir, la capacidad específica, en base a la cual deberá seleccionarse un equipo de bombeo apropiado.*

Si han sido adecuadamente planificadas y cuidadosamente llevadas a cabo, las pruebas revelan importantes parámetros hidrodinámicos del acuífero tales como la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento y la capacidad específica parámetros requeridos para la evaluación, desarrollo, explotación y manejo de los recursos hídricos subterráneos.

El uso práctico y la aplicación de dichos ensayos se han visto ampliados para una mejor comprensión de la hidráulica y del flujo de las aguas subterráneas, junto con el desarrollo de métodos de interpretación de los resultados de las pruebas, a efectos de estimar los principales parámetros hidráulicos del acuífero Guaraní.

Una prueba de acuífero consiste en efectuar el bombeo de un pozo y registrar tanto el abatimiento en el mismo como el abatimiento causado en otros pozos de observación adyacentes.

Os testes hidráulicos em poços isolados só oferecem dados a respeito da condutividade hidráulica dos materiais aquíferos nas proximidades dos poços pesquisados. Esses testes são menos precisos que os testes de bombeamentos realizados em poços múltiplos, porém são a única opção disponível em algumas regiões do Aquífero Guarani, nas quais não existem poços de observação próximos aos de produção.

As medições de campo realizadas nos dois tipos de testes mencionados anteriormente incluem o nível estático da água antes de iniciar o bombeamento, a vazão de bombeamento, os níveis dinâmicos nos vários intervalos de tempo durante o bombeamento, o momento de início do bombeamento o momento em que se observa alguma mudança na vazão de descarga e o momento em que o bombeamento é interrompido. A medição dos níveis após o bombeamento é necessária para a realização do estudo de recuperação.

Este documento, preparado pelo Consórcio Guarani, oferece uma metodologia para a correta execução e interpretação dos testes de bombeamento em aquíferos confinados e não confinados.

Há duas décadas, a interpretação dos testes de bombeamento era feita de forma Documento Técnico. Modelos analíticos muito simples estudavam apenas as condições hidrogeológicas. Com o advento dos computadores foram desenvolvidos métodos gráficos e automáticos de interpretação que se aplicam a condições hidrogeológicas complexas, gerando resultados mais confiáveis. Entretanto, os testes devem ser bem planejados e executados. Esse é o tema deste documento.

Em primeiro lugar, serão expostas, de forma detalhada, as modalidades operacionais de execução dos testes. Depois, serão apresentados os métodos de interpretação que podem variar de acordo com as condições dos testes e as características dos aquíferos.

A metodologia proposta neste Documento Técnico diz respeito às modalidades operacionais de execução e interpretação dos testes de bombeamento com vazão constante de longa duração para aquíferos livres e confinados em poços jorrantes e não jorrantes, baseada nos métodos mais usados para tais atividades.

Las pruebas hidráulicas de un único pozo solo podrán proporcionar estimaciones aproximadas de la conductividad hidráulica de los materiales acuíferos en derredor de un pozo único. Aunque las pruebas de pozo único son menos precisas que las pruebas de bombeo realizadas en pozos múltiples, éstas son frecuentemente la única opción disponible en algunos de los sitios registrados en el Acuífero Guaraní en los que no existen pozos de inspección alrededor del pozo de producción.

Las mediciones de campo a realizar para los dos tipos de pruebas mencionados precedentemente incluyen el nivel estático del agua antes de iniciar el bombeo, el caudal de bombeo, los niveles dinámicos a diversos intervalos durante el período de bombeo, el momento de iniciación del bombeo, el momento en que se observa algún cambio en el caudal de descarga y el momento de detención de tal bombeo. La medición de los niveles luego de finalizar el bombeo, servirá para el estudio de recuperación.

Este documento preparado por el Consorcio Guaraní proporciona la metodología para la correcta ejecución e interpretación de las pruebas de bombeo para acuíferos confinados y no-confinados.

Hasta hace dos década, la interpretación de las pruebas se efectuó de una forma Documento Técnico y para condiciones hidrogeológicas y modelos analíticos muy sencillos. Con la era de las computadoras se desarrollaron métodos gráficos y automáticos de interpretación que se aplican a condiciones hidrogeológicas complejas y por lo tanto los resultados son mucho mas confiables. Sin embargo, se debe diseñar y ejecutar correctamente las pruebas, temas enfatizados en este documento.

En primer lugar se ilustran detalladamente las modalidades operativas para la ejecución de las pruebas y luego se exponen brevemente los métodos de interpretación que pueden variar según las condiciones del ensayo y las características de los acuíferos.

Se ha propuesto una metodología que concierne a las modalidades operativas para la ejecución y la interpretación de las pruebas de bombeo con caudal constante de larga duración, para acuíferos libres y confinados, en pozos surgentes y no surgentes, basada en los métodos más comúnmente y universalmente utilizados para tales actividades.

Com o objetivo de realizar uma adequada coleta de dados durante as pesquisas de campo e as descrição das atividades executadas, deve-se prestar atenção particularmente aos instrumentos necessários e às modalidades operacionais envolvidas na realização dos testes.

Existem diversos programas (*softwares* aplicativos), tanto comerciais quanto de domínio público, que permitem interpretar os testes de bombeamento de longa duração em regime transitório ou permanente para aquíferos livres, confinados artesianos e semiconfinados. Esses aplicativos utilizam diferentes métodos gráficos, analíticos e numéricos para interpretação, tais como: os métodos Hantush, Theis, Walton, Neuman e suas respectivas modificações. Além disso, trazem manuais dos usuário e documentação científica bem detalhada.

O Apêndice A traz a documentação técnica e as curvas mais comuns utilizadas para interpretar ensaios de bombeamento. Cabe ressaltar que atualmente existem vários *softwares* específicos, como o *Aquifer Test*, que calculam e interpretam os diferentes parâmetros. Já o Apêndice B apresenta um exemplo de ficha para registro de dados e medições de campo coletadas durante um teste. O Apêndice C traz um glossário de termos técnicos, enquanto o Apêndice D descreve, passo a passo, os testes de bombeamento.

Con el fin de obtener una toma correcta de los datos del campo, en la descripción de las actividades llevadas a cabo, se ha prestado atención particular a los instrumentos necesarios y las modalidades operativas según las cuales se realizarán las pruebas.

Con respecto a la interpretación existen programas numerosas de computadora, comerciales y de dominio publico, que permiten interpretar los ensayos de bombeo de larga duración tanto en régimen transitorio como permanente, para acuíferos libres, artesianos y confinados y semiconfinados utilizando diferentes métodos gráficos y analíticos/ numéricos, comúnmente utilizados para tales fines (Hantush, Theis, Walton, Neuman y sus respectivas modificaciones). Tales programas incluyen guías de usuarios y documentación científica muy detallados.

En el Apéndice A se presenta la documentación técnica y las curvas más comunes para interpretar ensayos de bombeos. Así mismo vale aclarar que en la actualidad existen varios softwares específicos como lo es, entre otros "Aquifer Test" que calculan e interpretan los diferentes parámetros. En el Apéndice B se presenta una forma de ficha para el registro de los datos y mediciones de campo de una prueba. En el Anexo C se presenta un glosario con la definición de términos técnicos, y en el Anexo D se incluye una descripción paso a paso de las pruebas de bombeo.

2 ASPECTOS GERAIS

2.1 Objetivos do teste de bombeamento

O teste de bombeamento é uma das ferramentas mais úteis à disposição dos hidrólogos. A análise dos dados gerados pelos testes permite determinar as propriedades hidráulicas das camadas confinantes, dos aquíferos freáticos, confinados artesianos e semiconfinados em poços parcialmente penetrantes do Sistema Aquífero Guaraní (SAG). Os testes de rebaixamento escalonado em poços novos ou existentes permitem avaliar a eficiência e as perdas de carga dos poços; além de ajudarem na tomada de decisões acertadas quanto à reabilitação desses poços. Sob determinadas condições, os dados gerados pelos testes indicarão o rebaixamento, que pode ser esperado de um bombeamento em longo prazo; a existência de

2 GENERALIDADES

2.1 Objetivos de las pruebas de bombeo

La prueba de bombeo es una de las herramientas más útiles de las que disponen los hidrólogos. El análisis de los datos de las pruebas permite determinar las propiedades hidráulicas del acuífero Guaraní y capas de confinamiento, en acuíferos freáticos, artesianos confinados y semi-confinados y en pozos con penetración parcial. Los ensayos de abatimiento escalonado en pozos nuevos o existentes, permiten evaluar la eficiencia y pérdidas en pozos y tomar decisiones acertadas en cuanto a la rehabilitación de los mismos. Bajo determinadas condiciones, los datos indicarán el abatimiento que puede esperarse de un bombeo a largo

limites impermeáveis, que delimitam o aquífero e a presença de fontes de recarga, no aquífero, que não poderiam ser evidenciadas de outra forma.

Um teste de bombeamento pode ser definido como um estudo *in situ* destinado a obter as reações do sistema sob condições controladas. Nesse teste, um poço de produção é bombeado a uma vazão constante, e a descida do nível da água é medida em intervalos de tempo frequentes, durante o bombeamento, tanto no poço testado quanto nos poços de observação próximos a ele. Os dados de evolução do rebaixamento e de rebaixamento em função da distância são matematicamente relacionados e, portanto, tendem a ser analisados mediante técnicas de curva-padrão (*type curve matching*), linha reta (*straight line*) e ponto de inflexão.

Algumas circunstâncias relacionadas ao Sistema Aquífero e às instalações podem influenciar os resultados dos testes, como por exemplo:

- Descarga do poço de produção proveniente, em parte, da água armazenada dentro do próprio poço.
- Parcialmente penetrantes, com aquíferos estratificados.
- Retardamento na drenagem do aquífero.
- Limites ou descontinuidades do Sistema Aquífero.
- Armazenamento em camadas confinantes.
- Redução da transmissividade coincidentemente com a descida do nível freático.
- Interferência de poços produtores nos arredores.
- Variação, durante o ensaio, da pressão barométrica, dos níveis dos rios e lagos nas proximidades e flutuações da maré.

As interferências sobre os dados de evolução do rebaixamento e de rebaixamento em função da distância dependem diretamente das condições locais e das instalações. Se as condições e as interferências anteriormente mencionadas forem ignoradas na análise e interpretação dos ensaios, pode-se chegar a conclusões erradas. Geralmente, as interferências do armazenamento de água dentro do próprio poço (revestimento do poço) tendem a ser numericamente descartadas, exceto durante os primeiros minutos do tempo de bombeamento (poço com raio pequeno num aquífero com transmissividades moderadas a elevadas).

plazo, la existencia de límites impermeables que delimitan la extensión del acuífero y la existencia de fuentes o recargas al acuífero que de otra manera no pueden evidenciarse.

Una prueba de bombeo puede ser definida como un estudio “in-situ”, destinada a obtener la reacción del sistema bajo condiciones controladas. En tal prueba, un pozo de producción es bombeado a un caudal constante, y los niveles del agua son medidos a intervalos frecuentes tanto en el pozo de producción como en los pozos de observación vecinos. Los datos abatimiento-tiempo y abatimiento-distancia, están matemáticamente interrelacionados y por consiguiente suelen ser analizados mediante técnicas de curva tipo “type curve matching”, de línea recta “straight line” y técnica de punto de inflexión.

Las varias condiciones del sistema acuífero y de las instalaciones pueden influir sobre los resultados de las pruebas, entre las cuales se pueden mencionar:

- Descarga de pozo de producción, procedente en parte del agua almacenada dentro de la misma perforación.
- Pozos penetrantes parcialmente, con estratificación de aquíferos.
- Drenaje retardado del aquífero.
- Límites o discontinuidades de sistema acuífero.
- Almacenamiento en la capa de confinamiento.
- Disminución de la transmisividad coincidente con la caída del nivel freático.
- Interferencia desde pozos de producción cercanos.
- Cambios en la presión barométrica, niveles de ríos y embalses cercanos y fluctuaciones de la marea durante la prueba.

Los impactos sobre los datos de abatimiento-tiempo y abatimiento-distancia son dependientes directamente del sitio y de las instalaciones. Si las condiciones e interferencias expuestas anteriormente son ignoradas en el análisis e interpretación de las pruebas, se podrá llegar a conclusiones erróneas. Por lo general, los impactos de almacenamiento dentro del tubo del pozo tienden a ser numéricamente despreciables, excepto durante los primeros pocos minutos del período de bombeo.

Independentemente dos objetivos ou dos tipos dos ensaios de bombeamento que serão realizados, distinguem-se claramente três etapas: a preparação do ensaio, a execução das atividades de campo e a interpretação dos resultados.

2.2 Legislação e documentos de referência

Não existem padrões oficiais para execução e interpretação dos ensaios de bombeamento. Entretanto, há documentos técnicos de referência que são amplamente utilizados nessas atividades. A lista a seguir traz alguns desses documentos:

- CASTANY, G. **Principes et méthodes de l'hydrogéologie**. Bordas, Paris: Dunod Université, 1982.
- DRISCOLL, F. G. **Groundwater and Wells**. Second Edition. St. Paul, Minnesota: Johnson Division, 1986.
- DRISCOFF, F. G. **Groundwater and Wells**. St. Paul, Minnesota: Johnson Filtration System, 1989.
- DRISCOFF, F. G. **Groundwater and wells**. St. Paul, Minnesota: Johnson Filtration System, 1989.
- FERRIS et al. **Theory of Aquifer Tests**. USGS Water Supply paper 1536-E, 1962.
- KRUSEMAN, G. P.; RIDDER, N. A. **Analysis and Evaluation of Pumping Test Data**. Second Edition. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, the Nederland, 1991.
- RORABRAUGH, M. I. Graphical and theoretical analysis of step drawdown test of artesian wells. **ASCE**, v. 79, 1953.
- WALTON, William C. Selected Analytical Methods for Well and Aquifer Evaluation. **Bulletin** n. 49, Illinois State Water Survey, Urbana, 1962.
- WALTON, William C. **Groundwater Pumping Tests**. Lewis Publishers Inc., 1987.
- WALTON, William C. **Principles of Groundwater Engineering**. Lewis Publishers, 1991.
- WATERLOO Hydrogeologic. **Aquifer Test Pro for Windows**, 2003.

(pozo de radio pequeño en un acuífero con transmisividades moderadas a elevadas).

Independientemente del propósito o del tipo de prueba de bombeo que vaya a realizarse, se pueden distinguir claramente en ellos tres fases: el diseño de la prueba, la realización de las actividades de campo y la interpretación de los resultados.

2.2 Normativa y documentación de referencia

Al no existir estándares oficiales de modalidades para la ejecución y la interpretación de pruebas de bombeo, la documentación técnica de referencia considerada ha sido la más común y universalmente utilizada para tales actividades; en particular se hace referencia a:

- Castany, G. 1982, **Principes et méthodes de l'hydrogéologie**, Dunod Université, Bordas, Paris;
- Driscoll, F.G., 1986, **Groundwater and Wells**, Second Edition. Johnson Division, St. Paul, Minnesota;
- Fletcher G. Driscoll 1989, **Groundwater and Wells**, Johnson Filtration System, St. Paul, MN;
- Ferris et al, 1962, **Theory of Aquifer Tests**. USGS Water Supply paper 1536-E;
- Fletcher G. Driscoll 1989, **Groundwater and wells**, Johnson Filtration System, St. Paul, MN;
- Kruseman, G.P. and de Ridder, N.A. 1991, **Analysis and Evaluation of Pumping Test Data**, Second Edition, International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Nederland;
- Rorabrough, M.I. 1953, Graphical and theoretical analysis of step drawdown test of artesian wells. **ASCE**, vol 79
- William C. Walton, 1962, Selected Analytical Methods for Well and Aquifer Evaluation – **Bulletin Nº 49** – Illinois State Water Survey - Urbana;
- William C. Walton, 1987, **Groundwater Pumping Tests**. **Lewis Publishers Inc.**
- William C. Walton, 1991, **Principles of Groundwater Engineering**. **Lewis Publishers.**
- **Waterloo Hydrogeologic** 2003, **Aquifer Test Pro for Windows**.

3 METODOLOGIAS E PROCEDIMENTOS PARA O SISTEMA AQUIFERO GUARANI

3.1 Preparação do teste de bombeamento

A preparação dos testes de aquífero costuma seguir um modelo conceitual que envolve a estimativa das características hidráulicas do Sistema Aquífero e de suas condições de contorno. Essa estimativa é feita com base nos dados hidrogeológicos disponíveis. Utilizando modelos analíticos, pode-se prever o comportamento do Sistema Aquífero, em termos de rebaixamento, quando submetido a bombeamento.

Descrição do Aquífero Guarani

O Aquífero Guarani é constituído por arenitos do Permiano–Cretáceo, sua área está com nada menos do que 90% de sua área recoberta por basaltos de diversos graus de fratura e fissura do Jurássico–Cretáceo. As camadas areníticas possuem espessuras que variam de poucos metros a mais de 800 metros no Rio Grande do Sul, Brasil. Trata-se, basicamente, de um aquífero confinado e sua principal fonte de recarga é a infiltração das águas de precipitação pluviométrica em regiões desprovidas de cobertura basáltica.

Quanto ao tipo de aquífero, o Guarani deve ser definido como não confinado (livre ou freático), confinado ou semiconfinado.

Em um aquífero não confinado, a água subterrânea está exposta à atmosfera através de aberturas ou fraturas nos materiais que a recobrem, ou sobre o qual não há camadas confinantes de basalto permeável (aquífero).

Um aquífero não confinado é também conhecido como lençol freático. Nele, o nível da água nos poços ou piezômetros pode aumentar ou diminuir sob a influência da pressão atmosférica. Geralmente, seu nível estático está abaixo do limite estratigráfico superior do aquífero.

3 METODOLOGIAS Y PROCEDIMIENTOS PARA EL SISTEMA DEL ACUÍFERO GUARANI

3.1 Diseño de pruebas de acuífero

El diseño de las pruebas de acuífero se guía habitualmente por un modelo conceptual que involucra la estimación de las características hidráulicas del sistema acuífero y sus condiciones de contorno por medio de datos hidrogeológicos disponibles. Mediante modelos analíticos, se hace la previsión del comportamiento del sistema acuífero en términos de abatimiento, bajo el bombeo.

Descripción del acuífero Guarani

El acuífero Guarani es de piedra arenisca Pérmica-Cretácea, cubierta en no menos de un 90% de su extensión por basaltos Jurásicos-Cretáceos de diversos grados de fractura y fisura. Tales capas areniscas varían en espesor desde unos pocos metros hasta más de 800 metros (en Río Grande Do Sul, Brasil). Se trata básicamente de un acuífero confinado, y su principal fuente de recarga es la precipitación pluvial infiltrada en aquellos lugares en que no existe una cubierta basáltica.

El tipo de acuífero debe ser definido como no confinado, confinado o confinado con fugas. Un acuífero no confinado se define como un acuífero en el cual el agua subterránea está expuesta a la atmósfera a través de aberturas o soluciones de continuidad en los materiales que la recubren, o bien por sobre el cual no existe una capa baja de confinamiento en basalto permeable, o acuitardo.

Un acuífero no confinado es a menudo citado como un acuífero de napa freática. En un acuífero no confinado, el nivel del agua en pozos o piezómetros es libre de aumentar o reducirse bajo la influencia de la presión atmosférica, y puede tener por lo general un nivel estático por debajo del límite estratigráfico superior del acuífero.

Um aquífero confinado é aquele no qual a água subterrânea está isolada da atmosfera, no ponto de descarga, por formações geológicas impermeáveis (camadas confinantes), tais como: as coberturas basálticas. Nele, o nível da água nos poços e piezômetros se eleva até um certo nível estático acima do limite estratigráfico superior do aquífero.

Em um aquífero semiconfinado, ocasionalmente, uma camada confinante é semipermeável, permitindo à água da formação filtrar-se lentamente através do aquífero para as adjacências. Esse tipo de aquífero também é conhecido como aquífero confinado com fuga ou confinado drenante.

Por exemplo, o arenito que constitui o Aquífero Guaraní aflora na porção oriental de Rivera e Santana do Livramento, fronteira entre o Brasil e o Uruguai, e na região de Itapúa, no Paraguai, sugerindo que a cobertura de basalto presente é delgada e fraturada. Por conseguinte, estima-se que o aquífero, nessas áreas, seja do tipo semiconfinado ou drenante. Neste caso, considera-se que o método de análise mais adequado seja o Hantush.

As profundidades ideais, o número de poços de observação e suas localizações, a vazão e a duração do bombeamento são definidos com base no comportamento do Sistema Aquífero estimado com o modelo conceitual de ensaio prévio.

O modelo conceitual de ensaio prévio é modificado quando os aspectos dos poços de observação e a duração do teste não são razoáveis, tendo em conta a amplitude do rebaixamento calculado. Essa modificação é feita até que se obtenham resultados satisfatórios. Pode-se selecionar uma gama de modelos conceituais de ensaios prévios para a análise da delimitação de uma variedade de possíveis respostas do aquífero.

Os testes consomem muito tempo e dinheiro. Frequentemente, sua concepção é muitas vezes ditada por considerações não científicas. A facilidade de análise dos dados e a redução de incertezas são considerações importantes para concepção dos testes. Por exemplo, os dados de poços de produção parcialmente penetrantes são muito mais duvidosos e difíceis de analisar que os dados de poços de produção totalmente penetrantes. Testes complicados por causa da descarga variável dos poços de produção e/

Un acuífero confinado puede definirse como un acuífero en el cual el agua subterránea está aislada de la atmósfera en el punto de descarga por medio de formaciones geológicas impermeables, tales como una gruesa cubierta basáltica. En un acuífero confinado, el nivel del agua se eleva en pozos y piezómetros hasta un cierto nivel estático por encima del límite estratigráfico superior del mismo.

Un acuífero semiconfinado - ocasionalmente, una capa de confinamiento menos permeable permitirá al agua de la formación adyacente filtrarse lentamente a través del acuífero. Este tipo de formación es referida frecuentemente como acuífero semiconfinado o acuífero confinado con fugas.

Por ejemplo, la piedra arenisca que conforma el Acuífero Guaraní sale a la superficie del terreno en la porción oriental del área Rivera- Santa Ana localizada dentro de los territorios brasileño y uruguayo, y en la zona de Itapúa de Paraguay, sugiriendo que cualquier basalto presente en estas áreas es relativamente fino y fracturado. Por consiguiente, se estima que el acuífero es del tipo semiconfinado o con fugas. En este caso, se considera que el método de análisis Hantush es la aplicación más adecuada.

Las profundidades óptimas, ubicaciones y número de pozos de observación, caudal de bombeo y su duración son seleccionados sobre la base del comportamiento del sistema acuífero estimado con el modelo conceptual de ensayo previo.

El modelo conceptual de ensayo previo es modificado si los aspectos de pozos de observación y la duración de la prueba no son razonables a la luz de la distribución de abatimiento calculada, hasta la obtención de resultados satisfactorios. Puede seleccionarse una gama de modelos conceptuales de ensayos previos para el análisis de acotamiento de una variedad de posibles respuestas del acuífero.

Las pruebas involucran ingentes cantidades de tiempo y dinero, y hasta cierto punto, su diseño es a menudo dictado por consideraciones no científicas. La facilidad del análisis de los datos y la disminución de incertidumbres son consideraciones importantes para el diseño de las pruebas. Por ejemplo, los datos de pozos de producción parcialmente penetrantes son mucho más dudosos y difíciles de analizar que los datos de pozos de producción con penetración

que passa pelo poço bombeado e que forme um ângulo reto com o leito da drenagem. Um dos poços de observação deve ser localizado no limite mais próximo ao aquífero e o outro, à drenagem, a uma distância igual à espessura do aquífero a partir da extremidade mais distante do leito.

As seções filtrantes, tanto dos poços de produção como dos de observação são, geralmente, espaçadas verticalmente, ortogonalmente às zonas de maior fluxo do aquífero. O ideal é que os poços sejam totalmente penetrantes. Nos casos de poços parcialmente penetrantes, recomenda-se a instalação de poços de observação formando um conjunto nas proximidades do poço de produção. Um desses poços de observação deve ter sua seção filtrante na mesma direção da seção filtrante do poço de produção, ambas na mesma direção da zona de maior fluxo do aquífero. O outro poço de observação deve ter a seção filtrante próximo do topo ou da base do aquífero.

Em condição de confinamento e semiconfinamento, recomenda-se a instalação de pelo menos um conjunto de poços de observação do aquífero e do acuitardo. Esse conjunto de poços deve estar localizado a uma distância equivalente ao dobro da espessura do aquífero. O poço de observação do aquífero deve ter a seção filtrante na mesma direção da seção filtrante do poço de produção, ambas na mesma direção da zona de maior fluxo do aquífero. Para observação da camada que constitui o acuitardo, o poço de observação tem sua seção filtrante instalada na base desta camada.

O diâmetro dos poços de observação costuma ser superior a uma polegada (1"), ou seja, maior que 25 milímetros (>25mm). Normalmente tem entre quatro e seis polegadas (4" e 6"), ou seja, entre 101,6 e 152,4 milímetros (101,6 e 152,4mm), quando se requer a instalação de aparelhos registradores que operam por flutuação.

Sob condições de aquífero freático, os valores de armazenamento e condutividade hidráulica vertical, calculados a partir dos dados do teste de aquífero, constituem valores médios para o volume do sistema entre o nível freático inicial e o cone de depressão, mas não da espessura total do aquífero. O valor da condutividade hidráulica vertical do acuitardo, calculado por meio dos dados produzidos pelos testes de aquífero, é equivalente ao valor médio da espessura da

dos pozos de observación son por lo corriente de alrededor de 15 y 150 m respectivamente (Walton, 1987). Otros dos pozos adicionales de observación son localizados sobre una línea transversal del pozo de producción y en un ángulo recto con el lecho de la corriente. Uno de los pozos de observación se emplaza en la costa más cercana del acuífero y el otro es instalado transversalmente a la corriente a una distancia igual a la del espesor del acuífero desde la orilla más lejana del lecho.

La porción abierta tanto de los pozos de producción como de los pozos de observación son generalmente espaciados verticalmente, opuestos a las mismas zonas del acuífero. Son generalmente preferibles los pozos totalmente penetrantes. Ante condiciones de penetraciones parciales, es al menos preferible establecer un nido de pozos de observación en cercanías del pozo de producción. Uno de los pozos de observación del nido se abre opuesto a la zona del acuífero abierta al pozo de producción y el otro pozo de observación del nido se abre cerca del tope o de la base de dicho acuífero.

Frente a condiciones artesianas y semiconfinadas, es deseable instalar por lo menos un nido de pozos de observación al acuífero y al acuitardo. El nido de pozos es localizado a una distancia equivalente a alrededor del doble del espesor del acuífero. El pozo de observación al acuífero es abierto en posición opuesta a la zona del acuífero abierta al pozo de producción, y el pozo de observación del acuitardo se abre opuesto a la porción inferior del acuitardo.

Los diámetros de los pozos de observación exceden por lo general de 1 pulgada (25,4 mm) y son normalmente de 4 a 6 pulgadas (101,6 a 152,4 mm) cuando se requiere la instalación de registradores que operan por flotación.

Bajo las condiciones de acuífero freático, los valores de almacenamiento y los de conductividad hidráulica vertical calculados mediante los datos de ensayo del acuífero constituyen valores medios para el volumen del sistema entre el nivel freático inicial y el cono de depresión, pero no para el espesor total del acuífero. El valor de conductividad hidráulica vertical del acuitardo calculado por medio de los datos de prueba del acuífero son equivalentes al valor medio de la

porção do aquífero afetada pelo bombeamento, não necessariamente à espessura total dele. No caso de poços parcialmente penetrantes, o valor da condutividade hidráulica vertical do aquífero, calculado por meio dos dados do teste de aquífero, é o valor médio para a porção do volume do aquífero que possui raio equivalente a $1,5 \cdot b \cdot (K_h/K_v)^{0.5}$ (WALTON, 1987).

3.2 Realização de testes de bombeamento no Sistema Aquífero Guarani

ÉPOCA DO ANO – o teste de bombeamento em aquíferos freáticos, constituídos de areia e/ou cascalho, deve ser realizado em período de condição sazonal de escoamento igual ou inferior à média anual, o que implica a manutenção dos gradientes da água subterrânea em condições normais, ou seja, não tenham sido anulados ou alterados significativamente. Os testes de bombeamento em aquíferos constituídos de rocha ou confinados, constituídos de areia e cascalho não são significativamente influenciados pelas coberturas de material inconsolidado, ou pelas águas superficiais e, portanto, podem ser realizados em qualquer período do ano. O requerente deve demonstrar que os testes não serão afetados pela infiltração da água de precipitação pluviométrica. No Sistema Aquífero Guarani, somente as seções em aquíferos freáticos podem tornar-se um problema.

TESTE DA CONDIÇÃO DE BOMBEAMENTO – o ensaio de bombeamento deve ser realizado em condição igual ou superior àquela correspondente ao bombeamento referente ao uso da água para o qual se busca aprovação. Se for necessário bombear vários poços simultaneamente para obter o rendimento desejado, o teste deverá incorporar um plano que permita reproduzir influências do bombeamento esperadas no aquífero.

Durante todo o ensaio, deve-se manter um ritmo constante de bombeamento, e as vazões devem ser medidas com precisão pelo menos com a mesma frequência em que são medidos os níveis dinâmicos. Deve-se notar que uma redução na vazão de bombeamento, normalmente, ocorrerá em função do aumento do rebaixamento, visto que a bomba terá que trabalhar diante de um aumento nas perdas de carga no sistema. Esses efeitos devem ser compensados durante o ensaio. O índice de vazão de descarga não pode ultrapassar os 5% da condição de bombeamento

porción del acuitardo afectado por el bombeo, y no necesariamente al espesor entero del mismo. Con pozos parcialmente penetrantes, el valor de conductividad hidráulica vertical del acuífero calculado por medio de los datos aportados por la prueba de acuífero es el valor medio para la porción del volumen del mismo que posee un radio equivalente a $1.5 \text{ m } (P_h/P_v)^{0.5}$ (Walton, 1987).

3.2 Realización de ensayos de acuífero en el sistema del acuífero Guaraní

EPOCA DEL AÑO – *La prueba de bombeo de pozos no confinados de acuíferos de arena y/o grava deben realizarse durante un período de tiempo de condiciones de corrientes estacionales promedio o aún por debajo del promedio anual; esto significa que las gradientes “normales” de agua subterránea no se han revertido ni han sido modificadas significativamente. Los ensayos de bombeo para pozos en roca, o pozos confinados en arena y/o grava no se ven considerablemente influenciados por el terreno no consolidado que los cubre o por aguas superficiales, y pueden ser llevados a cabo en cualquier período del año. El solicitante debe demostrar que los ensayos de pozos no se verán afectados por la recarga pluvial. En el Sistema Guaraní, sólo las secciones no confinadas constituirán un problema.*

PRUEBA DE NIVEL DE BOMBEO – *El ensayo de bombeo debe llevarse a cabo en el nivel o por sobre el nivel de bombeo para el cual se requiere aprobación en la aplicación correspondiente de abastecimiento de agua. Si se deben bombear simultáneamente múltiples pozos a efectos de obtener el rendimiento necesario, la prueba de bombeo deberá incorporar el plan de bombeo requerido a los efectos de reproducir las tensiones de bombeo esperadas en el acuífero.*

Debe mantenerse un ritmo constante de bombeo a lo largo de todo el ensayo. Los niveles de bombeo deben ser medidos con precisión, al menos con la misma frecuencia de las mediciones de niveles hidráulicos. Debe notarse que una reducción en la descarga de la bomba ocurrirá normalmente con el aumento del abatimiento, puesto que la bomba tendrá que trabajar contra una mayor corriente hidráulica y un aumento de la fricción en el sistema. Estos efectos deben de compensarse durante el ensayo. El índice de flujo debe mantenerse dentro de un 5 por ciento del nivel de bombeo de diseño.

planejada. Durante a primeira hora do ensaio, qualquer falha no bombeamento dentro nos 10% de condição de bombeamento do ensaio, independentemente do motivo, exigirá a interrupção do ensaio, a recuperação no nível da água até o nível estático e o reinício do ensaio.

A tubulação de descarga deve estar equipada com um registro ou dispositivo semelhante que permita regular e manter a vazão de descarga. Deve ser usado um medidor de fluxo na linha de entrada para determinar o volume. Não se devem utilizar balde e cronômetro para medir a vazão. Entretanto, esse método pode ser utilizado para verificar, de forma aproximada, a precisão do medidor.

DURAÇÃO DO TESTE DE BOMBEAMENTO – a experiência tem demonstrado que os testes de bombeamento do Aquífero Guaraní devem durar entre um e cinco dias. Com um aquífero estreito, o teste de aquífero sem poços de observação pode durar vários meses. Os poços de observação de um aquífero respondem ao bombeamento muito mais lentamente que os poços de observação de um aquífero. Em um aquífero, é necessário pelo menos um dia completo de bombeamento para que se observe um rebaixamento significativo no poço de observação. Esse fator deve ser levado em consideração na concepção de um teste de aquífero. Se houver uma fronteira hidráulica que pode ser afetada pelo bombeamento, o teste de aquífero deve durar o suficiente para que as interferências no rebaixamento, causadas por este limite, sejam claramente identificadas. Independentemente do tipo de aquífero, os testes de aquífero devem durar no mínimo 48 horas, mantendo-se um ritmo constante de bombeamento. Durante a finalização do teste de aquífero, deve-se observar pelo menos 6 horas de estabilização no rebaixamento. Caso não ocorra essa estabilização no rebaixamento, durante a finalização, o período do teste de aquífero deverá ser prolongado sucessivamente.

Mudanças bruscas na curva de rebaixamento, por causa de condições de recargas induzidas (limites positivos) ou fronteiras hidráulicas (limites negativos), devem ser registradas durante, pelo menos, 24 horas. Condições de precipitações pluviométricas excessivas poderão requerer a prorrogação do teste de aquífero, uma reprogramação dele.

Durante la primera hora de la prueba, cualquier falla en el bombeo dentro de un 10 por ciento del nivel de bombeo de prueba por cualquier motivo requerirá la terminación del ensayo, la recuperación del agua a su nivel estático y la reanudación del ensayo.

La tubería de descarga debe estar equipada con una válvula de compuerta o un dispositivo similar a fin de regular y mantener un volumen constante de descarga. Se empleará un medidor de flujo de línea de entrada para determinar el volumen. No se aceptará el empleo de balde y cronómetro para medir el volumen de descarga, aunque este método puede llegar a emplearse como una verificación aproximada de la precisión del medidor.

LONGITUD DEL ENSAYO DE BOMBEO – En base a nuestra experiencia, las pruebas de bombeo en el acuífero Guaraní tendrán una duración de 1 a 5 días. Con un acuitardo estrecho, la prueba de un acuífero sin pozos de observación puede incluso durar varios meses. Los pozos de observación de un acuitardo responden al bombeo con mucha menor velocidad que la alcanzada por los pozos de observación de un acuífero. Por lo general, los pozos de observación de un acuitardo requieren un período de bombeo no menor de un día completo, antes de poder observar un abatimiento apreciable en el pozo de observación del acuitardo. Este factor debe ser tomado en cuenta en el diseño de una prueba de acuífero. Si se produce un efecto de contorno dentro del volumen de un sistema de acuífero que pueda ser probablemente afectado por el bombeo, la duración de la prueba del acuífero deberá ser suficientemente prolongada como para que las desviaciones en el abatimiento debidas al efecto de contorno sean suficientemente claras. Sin importar el tipo de acuífero, las pruebas de bombeo deben ser llevadas a cabo durante un mínimo de 48 horas a un ritmo de bombeo constante. A la finalización de la prueba, debe mostrarse un mínimo de seis horas de abatimiento estabilizado. En la eventualidad de no obtenerse un abatimiento estabilizado, el período de ensayo deberá ser extendido concomitantemente.

Si se enfrentasen condiciones de límites positivos (recarga) o negativos (barrera) durante el ensayo (p.ej., un cambio brusco en la pendiente del abatimiento), las mismas deberán contar con un registro de al menos 24 horas. Las lluvias excesivas podrán necesitar de la extensión del ensayo, o bien una reprogramación del mismo.

DESCARGA DE ÁGUA – a descarga de água, durante o teste de aquífero, deve ser realizada num local longe do poço de produção numa área de cota inferior e situada a uma distância suficientemente grande do poço bombeado para eliminar a possibilidade de recarga, desta água, do aquífero testado. A linha e o ponto de descarga devem estar claramente definidos no plano do teste de aquífero. Se o aquífero for confinado ou havendo a possibilidade de demonstrar que a água de descarga não voltará como recarga ao aquífero testado, podem ser empregados métodos mais convenientes de descarga. Caso a água de descarga possa causar alagamentos, erosões e aumento de turbidez em outros corpos hídricos, ela deverá ser direcionada para uma área de contenção e liberada de maneira controlada, evitando tais problemas. Não se deve descarregar a água do teste de bombeamento em redes de esgoto ou em canais próximos de ruas ou estradas sem a autorização da entidade reguladora.

BOMBA – a medição do fluxo de bombeamento durante o ensaio será realizada por meio de instrumentos adequados que podem variar de acordo com as características e as condições dos fluxos de descarga de cada poço de produção. A bomba e seus componentes elétricos devem ser capazes de operar de forma adequada e constante durante o teste de todo o aquífero. Seu tamanho e sua potência devem estar de acordo com as condições de projeto para poder bombear na vazão de projeto estabelecida para o teste de aquífero. Ela deve ser colocada na boca do poço de forma que a água subterrânea bombeada flua de baixo para cima e passe por cima da bomba, esfriando-a. Caso seja utilizado um gerador portátil, o combustível deve ser suficiente para que a bomba funcione durante todo o teste. Apesar disso, na prática, problemas elétricos ou de outra natureza podem afetar o funcionamento regular da bomba, fazendo com que ela não funcione numa vazão fixa. Nesses casos, é necessário realizar ajustes na interpretação dos testes de bombeamento no Aquífero Guarani, levando-se em conta tais eventualidades.

MEDIÇÃO DO NÍVEL HÍDRICO

Precisão e equipamento

Todas as medições de nível das águas subterrâneas e de profundidade dos poços deverão ser feitas a partir de um ponto de referência estabelecido no revestimento do poço e deverão ser documentadas nos registros de campo. As medições devem ser realizadas e registradas com precisão milimétrica.

DESCARGA DE AGUA – La descarga de agua durante la prueba de bombeo debe ser realizada lejos del pozo de bombeo, en una dirección de gradiente hacia abajo, y a suficiente distancia como para eliminar la recarga de este agua al acuífero. La línea y el punto de descarga deben ser mostradas claramente en el plan del ensayo de bombeo. Si el acuífero es confinado, o si se puede demostrar de alguna otra forma que el agua de descarga no será recargada al acuífero sometido al ensayo, podrá emplearse un método más conveniente de descarga, si se estima que el agua descargada creará anegamiento, erosión y/o turbidez; en este caso el agua deberá ser orientada hacia una zona de contención y liberada de manera controlada a fin de impedir dichos problemas. No se debe descargar el agua de la prueba de bombeo en alcantarillas o canales próximos a caminos o carreteras sin la autorización de la entidad reguladora.

BOMBA – La determinación del flujo de bombeo durante el ensayo será llevada a cabo mediante los instrumentos apropiados, los cuales pueden variar de acuerdo con las características y condiciones de las corrientes bombeadas desde cada pozo. La bomba y los componentes eléctricos de la misma deberán ser capaces de operar adecuadamente a lo largo de toda la prueba sin detenciones. La bomba deberá ser del tamaño y la potencia correctas para poder bombear al ritmo indicado en el diseño propuesto de la prueba de bombeo. La misma debe ser colocada en la boca del pozo, por encima de una capa que contenga agua subterránea, de manera que el agua fluya hacia arriba por sobre la bomba, enfriándola. Si se utiliza un generador portátil, cuidar que el mismo disponga de combustible suficiente para funcionar durante toda la prueba. A pesar de lo señalado, en la práctica puede ocurrir que la bomba no funcione a un caudal fijo y tenga variaciones debido a interrupciones eléctricas u otros motivos. En consecuencia, es necesario realizar ajustes en la interpretación de las pruebas de bombeo en el acuífero Guarani tomando en cuenta estas eventualidades.

MEDICIONES DE NIVELES HIDRICOS

Precisión y equipamiento

Todas las mediciones de los niveles de aguas subterráneas y de profundidad de pozos deberán ser hechas de manera relativa a un punto de referencia establecido en el revestimiento del pozo, y deberán ser documentadas apropiadamente en los registros de campo. Las mediciones deben realizarse y registrarse con la precisión de los 0.5 cm más cercanos.

O SAG recomenda a utilização de equipamentos eletrônicos, mas a leitura Documento Técnico realizada com fita métrica ou fio de prumo é aceitável em poços pouco profundos e que não sejam de produção.

As medições do nível da água em poços de produção e de observação devem ser feitas com sondas elétricas e com precisão mínima de 0,5 cm.

Caso seja conveniente, pode-se instalar uma tubulação piezoelétrica de meia polegada ($\frac{1}{2}$ ") dentro da qual se introduz a sonda responsável pelas medições estáticas e dinâmicas do nível da água.

Os dados coletados durante os testes devem ser registrados em formulários apropriados. Caso o teste seja realizado em poços de águas correntes, os instrumentos de poço e os piezômetros de observação deverão estar equipados com a sensibilidade conveniente.

Os intervalos de tempo entre as medições do nível da água em poços de observação variam durante a evolução do teste de aquífero. São curtos no começo do teste, quando o nível da água desce rapidamente, e tornam-se mais longos à medida que o teste avança e a velocidade de rebaixamento diminui. O nível da água nos poços de observação e de produção deve ser medido para que se tenha pelo menos dez valores de rebaixamento em cada um dos ciclos de registro, começando imediatamente após o início do bombeamento. Abaixo, apresenta-se uma típica escala de medição do nível da água em um poço de observação (WALTON, 1987).

Tempo a partir do início do bombeamento	Intervalos de tempo para a medição do nível da água
0 a 2 minutos	10 segundos
2 a 5 minutos	30 segundos
5 a 15 minutos	1 minuto
15 a 50 minutos	5 minutos
50 a 100 minutos	10 minutos
100 a 500 minutos	30 minutos
500 a 1000 minutos	1 hora
1000 a 5000 minutos	4 horas

El SAG recomienda la utilización de equipos electrónicos, pero una lectura Documento Técnico empleando un a cinta métrica y una plomada es de todo punto de vista aceptable para pozos de escasa profundidad que no sean de producción.

Las mediciones de los niveles de agua en los pozos de producción y de observación deberán ser hechas por medio de una sonda eléctrica con una precisión no menor de 0.5 cm. Según el caso, en los pozos sometidos a bombeo podría ser conveniente instalar una tubería piezoeléctrica de $\frac{1}{2}$ " , dentro de la cual se introducirá la sonda destinada a efectuar las mediciones estáticas y dinámicas de nivel de agua.

Los datos recopilados durante los ensayos son registrados mediante el empleo de los formularios apropiados. En caso que el ensayo sea realizado en pozos de aguas corrientes, los instrumentos de tanto el pozo en sí mismo como en los eventuales piezómetros de observación deberán estar equipados con la sensibilidad conveniente.

Los intervalos de tiempo para la medición de niveles de agua en pozos de observación varían desde reducidos al comienzo del ensayo del acuífero cuando los niveles declinan rápido, hasta prolongados hacia finales de la prueba, cuando la declinación del nivel es pequeña. Los niveles de agua en los pozos de observación y de bombeo de producción deben ser medidos para dar no menos de diez observaciones de abatimiento en cada uno de los ciclos de registro, comenzando inmediatamente después del comienzo de la operación de bombeo. Un rango típico de intervalos de tiempo para la medición de niveles de agua en un pozo de observación es el siguiente (Walton, 1987):

Time desde el inicio del bombeo	Intervalos de tiempo para la medición de niveles de agua
0 a 2 minutos	10 segundos
2 a 5 minutos	30 segundos
5 a 15 minutos	1 minuto
15 a 50 minutos	5 minutos
50 a 100 minutos	10 minutos
100 a 500 minutos	30 minutos
500 a 1000 minutos	1 hora
1000 a 5000 minutos	4 horas

Este tipo de ensaio, teoricamente, pode ter uma duração que varia, conforme os objetivos, de pelo menos 24 horas para aquíferos confinados, podendo chegar a uma duração ideal de 72 horas. E até a duração de um a mais meses para aquíferos livres.

A vazão de bombeamento a ser adotada neste tipo de teste de aquífero geralmente é decidida em função dos resultados da etapa de desenvolvimento do poço e em função do diâmetro útil dele, que limita o tipo de bomba a ser utilizada.

PERÍODO DE RECUPERAÇÃO – a medição do nível da água deve ser feita novamente durante o período de recuperação de todos os poços, empregando os mesmos procedimentos e padrões de tempos seguidos durante o início do ensaio de bombeamento. A medição deve começar um minuto antes do término do bombeamento e deve continuar por, pelo menos, 12 horas. As medidas de nível da água devem ser realizadas até 0,5 cm mais próximos do nível estático. Para obter dados exatos durante o período de recuperação, deve-se instalar uma válvula de retenção na base da coluna da tubulação edutora, dentro do poço de produção, eliminando o fluxo de retorno de água ao poço. Durante o período de recuperação, também devem ser feitas medições dos níveis da água em todos os poços de observação que cercam o local do bombeamento.

CRONOGRAMA DE TESTES DE BOMBEAMENTO – um cronograma para testes de bombeamento de aquíferos pertencentes a sistemas artesianos no Aquífero Guaraní pode ser montado da seguinte forma:

Dia 1: medições do nível da água para identificar tendências prévias.

Dia 2: ensaio de bombeamento de 1 hora para ajuste do equipamento, seguido por um período de 1 hora de recuperação. Teste de bombeamento escalonado de 3 horas de duração para, a partir do rebaixamento, determinar o coeficiente de perda de carga do poço de produção, seguido por um período de recuperação de 20 horas.

Dia 3: teste de aquífero (vazão constante) de 24 horas para determinar as características hidráulicas do Sistema Aquífero e as condições de contorno.

Dia 4: recuperação de 24 horas para verificar as características hidráulicas do Sistema Aquífero e as condições de contorno.

Este tipo de prueba, en línea teórica, puede tener una duración que, en función de los objetivos, puede variar desde un mínimo de 24 horas para aquíferos confinados, hasta una duración ideal de 72 horas y hasta duraciones de uno o más meses, para aquíferos libres.

El caudal del bombeo a adoptar en este tipo de pruebas generalmente se decide a partir de los resultados del desarrollo del pozo y del diámetro del mismo (que pone límites al tipo de bombas a utilizar).

PERIODO DE RECUPERACION – las mediciones de los niveles hídricos deben ser recolectadas durante el período de recuperación de todos los pozos, empleando el mismo procedimiento y los mismos patrones de tiempos seguidos en la iniciación del ensayo de bombeo. La medición deberá comenzar al menos un minuto antes del cierre del bombeo, y continuar durante al menos 12 horas. Las mediciones de niveles del agua deben realizarse hasta los 0.5 cm más próximos. A fin de obtener datos exactos durante el período de recuperación, deberá instalarse una válvula de retención en la base de la columna de la bomba en el pozo de producción, para lograr eliminar el flujo de retorno del agua al pozo. También deben recopilarse mediciones de niveles hídricos durante el período de recuperación en todos los pozos de monitoreo alrededor del sitio de bombeo.

CRONOGRAMA DE PRUEBAS DE BOMBEO – un cronograma típico que se sugiere para pruebas de un aquífero perteneciente a un sistema artesiano en el Sistema Aquífero Guaraní es el que se indica a continuación:

Día 1 Mediciones de niveles de agua para establecer una tendencia de antecedentes.

Día 2 Prueba de ensayo de 1 hora para ajuste del equipo, seguida por un período de recuperación de 1 hora. Prueba de abatimiento escalonado de 3 horas de duración para determinar el coeficiente de pérdida del pozo de producción, seguida por un período de recuperación de 20 horas.

Día 3 Prueba de caudal constante de 24 horas para determinar las características hidráulicas del sistema aquífero y las condiciones de contorno.

Día 4 Prueba de recuperación de 24 horas para verificar las características hidráulicas del sistema aquífero y las condiciones de contorno.

As disposições para um teste devem permitir a realização dos seguintes controles e medições:

- Vazão de bombeamento constante. O bombeamento pode variar durante o processo (teste de rebaixamento escalonado).
- Medição precisa do rebaixamento no poço bombeado e nos poços de observação.
- Determinação exata do tempo exato de cada medição no decorrer do bombeamento.
- Medição precisa da recuperação do nível da água em cada um dos poços após o término do bombeamento.
- Vazão constante de bombeamento dos poços próximos ao poço de produção, caso não possam ficar inativos durante o período de teste.

TESTES DE BOMBEAMENTO ESCALONADO

– nos testes de bombeamento com rebaixamento escalonado, em uma primeira etapa, a vazão de bombeamento do poço é mantida constante durante um intervalo de tempo após o qual a vazão é alterada subitamente para o início de uma segunda etapa de bombeamento consecutivo. Sob nova condição de bombeamento da segunda etapa, a vazão também é mantida constante durante um segundo intervalo de tempo após o qual a vazão é novamente alterada para o início de uma terceira etapa de bombeamento consecutivo, a vazão constante. Deve haver, no mínimo, três etapas escalonadas de bombeamento consecutivo, com vazões diferentes, e os intervalos de tempo de cada etapa não têm que ser necessariamente iguais. A vantagem dos testes com rebaixamento escalonado é que permitem determinar todas as propriedades hidrogeológicas de um determinado ponto do aquífero sem a necessidade de utilizar outras informações que não sejam as desse ponto, de modo que os resultados não são afetados por variações espaciais das propriedades, sobretudo no caso dos aquíferos fissurais, ou com canais de dissolução, que possuem grande heterogeneidade.

Os testes de bombeamento de poço com rebaixamento escalonado permitem determinar, entre outras coisas, a vazão de exploração ideal, a curva característica e a eficiência do poço testado. As vazões das sucessivas etapas de bombeamento não podem ser excessivamente próximas, devem ser crescentes, aumentando numa progressão geométrica. Por exemplo: Q1 = 10 l/seg; Q2= 20 l/seg; Q3= 40 l/seg; Q4= 80 l/seg. A distribuição das vazões em progressão geométrica é uma boa estratégia e deve

Las disposiciones para una prueba de acuífero deberán permitir la realización de los siguientes controles y mediciones:

- *Caudal de bombeo constante, aún el bombeo puede variar durante el período del bombeo (prueba de abatimiento escalonado).*
- *Medición precisa del abatimiento en el pozo bombeado y pozos de observación.*
- *Determinación exacta del tiempo que insume cada medición a medida que avanza el bombeo.*
- *Medición precisa de recuperación en el tiempo del nivel en cada uno de los pozos luego de haber detenido la bomba.*
- *Un caudal constante de bombeo de pozos cercanos, si tales pozos no pueden quedar inactivos durante el período de la prueba.*

PRUEBAS DE ENSAYO ESCALONADO – Se denominan pruebas de pozo con abatimiento escalonado a aquellas en que el caudal extraído del pozo se mantiene constante durante un tiempo, para cambiar súbitamente a otro caudal que se mantendrá constante durante otro tiempo, para volver a cambiar a un tercer caudal durante un tercer espacio de tiempo, y así sucesivamente. El número de escalones (de caudales diferentes) deberá ser como mínimo tres, y los espacios de tiempo entre los cambios de caudal no tienen que ser necesariamente iguales. Las pruebas con abatimiento escalonado tienen la ventaja de poder determinar con ellas todas las propiedades hidrogeológicas de un mismo punto del acuífero sin necesidad de utilizar otra información que no sea la de ese punto, por lo que los resultados no quedarán afectados por las variaciones espaciales de las propiedades, sobre todo en el caso de los acuíferos con fracturas, fisuras o canales de disolución, que presentan gran heterogeneidad.

Las pruebas de pozo con abatimiento escalonado permiten determinar, entre otras variantes, el caudal de explotación del pozo, la curva característica del pozo y la eficiencia del mismo. Los caudales de los sucesivos escalones no deben ser excesivamente próximos sino, por ejemplo, deben ser crecientes en la proporción 1, 2, 4, 8... Por ejemplo Q1= 10 l/seg; Q2= 20 l/seg; Q3= 40 l/seg; Q4= 80 l/seg. La distribución de los caudales en progresión geométrica es una

ser estabelecida de forma que a última etapa possua uma vazão de bombeamento da mesma ordem de grandeza, ou superior àquela projetada como vazão de exploração do poço. Os tempos recomendados de observação em um teste de bombeamento escalonado de 1 hora são os seguintes: nos primeiros 5 minutos, uma observação a cada 30 segundos; depois, nos minutos 7, 9, 11, 15, 20, 25, 30, 50 e 60.

TESTES DE QUALIDADE DA ÁGUA – caso seja necessário, ou desejável, durante o teste de bombeamento também podem ser realizadas leituras dos principais parâmetros físico-químicos da água extraída, tais como: cor, odor, temperatura, pH e condutividade elétrica. As leituras deverão ser feitas de 4 em 4 horas e os valores observados serão anotados no relatório do teste de bombeamento.

3.3 Análise e ajuste de dados e medições

Não se determina o rebaixamento a partir do nível (estático) previamente medido antes do início do teste. O rebaixamento ou a recuperação é a diferença entre a profundidade onde realmente se encontra o nível da água e a profundidade onde se encontraria se o teste de aquífero tivesse sido realizado. Com o objetivo de determinar o rebaixamento ou a recuperação, o comportamento do nível dinâmico antes ou depois do bombeamento (tendência de oscilação) é extrapolado por meio do bombeamento ou do período de recuperação, calculando-se as diferenças entre o nível estático extrapolado e o nível dinâmico medido durante o teste. A precisão do cálculo do rebaixamento e da recuperação também é dependente das tendências extrapoladas e dos níveis da água medidos. Essa extrapolação, muitas vezes, é facilitada por meio da observação dos níveis da água num poço de observação, localizado imediatamente fora da área de influência do teste de aquífero. Se as tendências prévias forem ignoradas, os resultados do teste de bombeamento apresentarão erros.

Antes de empregar os dados dos níveis da água para determinar as propriedades hidráulicas, eles deverão ser relacionados à qualquer alteração das vazões de bombeamento no poço de produção e em poços explorados próximos.

O nível da água de poços em seções de aquíferos confinados sofre oscilações em função de variações da pressão atmosférica. A

buena norma y conviene establecerlos de forma que el último escalón quede alrededor del caudal de explotación del pozo, o incluso por encima de éste. Los tiempos recomendados de observación en una prueba de bombeo escalonada para 1 hora son los siguientes: los primeros 5 minutos cada medio minuto; luego a los 7, 9, 11, 15, 20, 25, 30, 50 y 60 minutos.

MUESTRAS DE CALIDAD DE AGUA – Si se hace necesario o conveniente, durante el ensayo de flujo constante podrán asimismo observarse y medirse los principales parámetros físicos y químicos del agua extraída, tales como color, olor, temperatura, pH y conductividad eléctrica cada 4/4 horas, cuyos valores serán anotados en el informe del ensayo.

3.3 Análisis y ajuste de datos y mediciones

El abatimiento no se determina a partir del nivel (estático) que fue determinado previamente al comienzo de la prueba. El abatimiento o recuperación es la diferencia entre donde se encuentran realmente los niveles del agua y dónde se encontrarían de no haberse llevado a cabo la prueba de aquífero. Con el fin de determinar el abatimiento o recuperación, la tendencia del nivel antes de comenzar el bombeo o después de haber finalizado el mismo (tendencia de antecedente) es extrapolada a través del bombeo o del período de recuperación, calculándose las diferencias entre el nivel (estático) extrapolado y el nivel medido durante la prueba. La precisión de cálculo del abatimiento, o recuperación es igualmente dependiente de las tendencias extrapoladas y los niveles de agua medidos. Esta extrapolación es a menudo facilitada por medio de la obtención de los datos de nivel en un pozo de observación inmediatamente fuera del área de influencia de la prueba de aquífero. Si estas tendencias antecedentes fueran ignoradas, se obtendrán resultados erróneos de la prueba de aquífero.

Aún antes de emplear datos de niveles para determinar propiedades hidráulicas, los mismos deberán ser adjuntados por cualquier cambio en los caudales de bombeo en el pozo de prueba y en los pozos de producción cercanos.

El nivel del agua en los acuíferos artesianos es afectado por las fluctuaciones de la presión

razão entre a variação do nível da água no poço e a variação da pressão atmosférica é conhecida como “eficiência barométrica” expressa em função de coluna de água e valor em porcentagem. As mudanças nos índices de tempo de rebaixamento causadas por variações da pressão atmosférica podem ser consideradas, erroneamente, evidências de condições de fronteiras hidrogeológicas. Os dados de rebaixamento devem ser ajustados de acordo com a variação da pressão atmosférica durante o teste de bombeamento. Para isso é necessário obter os registros de flutuações da pressão atmosférica local.

Deve-se calcular tanto o aumento do nível da água causado pela diminuição da pressão atmosférica quanto a diminuição do nível da água provocado pelo aumento da pressão atmosférica. A eficiência barométrica pode ser calculada por meio da seguinte equação (FERRIS et al., 1962):

$$EB = (\Delta\psi/\Delta p_0) \cdot 100 \quad (1)$$

Onde:

EB é a eficiência barométrica.

$\Delta\psi$ é a variação do nível da água.

Δp_0 é a variação da pressão atmosférica.

As variações da pressão atmosférica podem exceder uma polegada de mercúrio (25,4 mmHg), ou seja, 34,4 centímetros (34,4 cm) de coluna de água. Em condições artesianas, a eficiência barométrica excede 50%. A eficiência barométrica costuma ser estatisticamente desprezível sob condições freáticas.

Os dados de rebaixamento são ajustados de acordo com a variação da pressão atmosférica observada durante o teste de bombeamento. Para isso, utilizam-se os registros de variação da pressão como demonstra a fórmula a seguir:

$$\Delta\psi = (EB \cdot \Delta p_0) \div 100 \quad (2)$$

A ‘eficiência das marés’, relacionadas à influência exercida por corpos de água como mar, lagos e rios, pode ser calculada e os dados de rebaixamento podem ser ajustados às mudanças que ocorrem no nível da água superficial durante um teste de aquífero. Para

atmosférica. La proporción del cambio en el nivel del agua en un pozo en relación con el cambio en la presión atmosférica es conocida como la “eficiencia barométrica” del pozo, expresada en porcentaje. Los cambios en los índices de tiempo del abatimiento debidos a fluctuaciones en la presión atmosférica pueden ser erróneamente tomados como evidencia de condiciones de límites hidrogeológicos. Los datos de abatimiento son ajustados por los cambios en la presión atmosférica ocurridos durante la prueba mediante la obtención de un registro de las fluctuaciones de la presión atmosférica ambiente.

Se calculan tanto el monto de aumento en el nivel del agua como resultado de un descenso en la presión barométrica, que el monto de declinación en el nivel del agua como resultado de un aumento en la presión barométrica. La eficiencia barométrica es a continuación calculada según la ecuación (Ferris y asoci., 1962):

$$BE = (\Delta W/\Delta B) 100 \quad (1)$$

Onde:

BE é a eficiência barométrica.

ΔW é a variação do nível da água.

ΔB é a variação da pressão barométrica.

Los cambios barométricos pueden exceder de 1 pulgada de mercurio (1,13 pies de agua) y la eficiencia barométrica bajo condiciones artesianas habitualmente excede el 50%. La eficiencia barométrica es por lo general estadísticamente despreciable bajo las condiciones freáticas.

Los datos de abatimiento son ajustados según los cambios en la presión barométrica ocurridos durante la prueba de acuífero con registros de cambios en la presión barométrica y la siguiente ecuación:

$$\Delta W = (BE \times \Delta B)/100 \quad (2)$$

La eficiencia de mareas o eficiencia de ríos pueden calcularse, y los datos de abatimiento pueden ser ajustados para las modificaciones ocurridas durante una prueba de acuífero por medio de la obtención de registros sobre las fluctuaciones de las mareas y nivel del embalse antes y durante la prueba, y empleando las

tanto, basta a obtenção dos registros das marés e das flutuações do nível do rio, ou lago, antes e durante o teste de bombeamento. Aplicando-se as equações indicadas abaixo (FERRIS et al., 1962), podem-se calcular a eficiência das marés e a variação do nível da água no poço. A razão entre a variação do nível da água no poço e a variação do nível da água superficial são conhecidas como eficiência das marés.

$$EM = (\Delta\psi \div \Delta\psi') \cdot 100 \quad (3)$$

$$\Delta\psi = (EM \cdot \Delta\psi') \div 100 \quad (4)$$

Onde:

EM é a eficiência das marés. $\Delta\psi'$ é a variação do nível da água no corpo hídrico superficial.

$\Delta\psi$ é a variação do nível da água no poço.

Em aquíferos freáticos, a drenagem gravitacional intersticial provocada pelo bombeamento pode reduzir consideravelmente a espessura saturada do aquífero e, conseqüentemente, sua transmissividade. As equações utilizadas para analisar os dados dos testes de aquífero se baseiam na hipótese de que o rebaixamento é numericamente pouco representativo em comparação com a espessura saturada inicial do aquífero. Portanto, antes de utilizar os dados de rebaixamento para determinar os parâmetros hidráulicos do aquífero, deve-se fazer os ajustes sem função dos efeitos da drenagem.

A manipulação de dados, incluindo o ajuste do rebaixamento, pode ser simplificada por meio de um sistema de gerenciamento de banco de dados. Com esse sistema, podem-se visualizar os dados obtidos de diversas formas (listas, gráficos, tabelas etc.), analisados estatisticamente, classificados e filtrados.

3.4 Interpretação dos testes

Na técnica de comparação de curvas-padrão (*type curve matching*), os dados ajustados e processados dos níveis dinâmicos do poço bombeado são comparados com a curva teórica, “função-padrão” de poço que mais se adapte às condições específicas do aquífero. Coordenadas do ponto de superposição (*match point*) são inseridas em equações de modelos analíticos para quantificar as características hidráulicas do aquífero. O modelo analítico conceitual de pré-

ecuaciones indicadas a continuación (Ferris y asoc., 1962) asumiendo una conexión hidráulica entre el acuífero y el cuerpo superficial de agua. La proporción del cambio en el nivel del agua en un pozo con respecto al cambio del nivel de la marea es conocida como eficiencia de mareas:

$$TE = (\Delta W / \Delta R) 100 \quad (3)$$

$$\Delta W = (TE \Delta R) / 100 \quad (4)$$

Donde:

TE es la eficiencia de marea o de río

ΔW representa el cambio en el nivel del agua resultante de la modificación en el nivel de la marea o del río ΔR .

Bajo las condiciones de acuíferos freáticos, el drenaje gravitatorio intersticial debido al bombeo puede reducir apreciablemente el espesor saturado del acuífero, y por consiguiente la transmisividad. Las ecuaciones para analizar los datos de pruebas de acuífero se basan en la hipótesis que el abatimiento es numéricamente poco representativo en comparación con el espesor saturado inicial del acuífero. Por lo tanto, los datos de abatimiento deberán ser ajustados por los efectos de drenaje antes de poder emplearlos para determinar los valores de los parámetros hidráulicos del acuífero.

La manipulación de datos, incluyendo el ajuste de abatimiento, puede facilitarse por medio de un sistema de gestión de base de datos a efectos de observar los datos obtenidos de diversas maneras: en listas, gráficos y en tabulaciones, todas ellas estadísticamente analizadas, clasificadas y filtradas.

3.4 Interpretación de las pruebas

En la técnica de comparación de curvas tipo (“type curves”), los datos ajustados y procesados de los niveles dinámicos son comparados contra la curva de “función tipo” de pozo que más se adapte al sistema específico del acuífero. Coordenadas del punto de correspondencia (“match point”) son insertadas en ecuaciones de modelos analíticos para cuantificar las características hidráulicas del acuífero. El modelo analítico conceptual de prueba previa sirve como marco de referencia para seleccionar el tipo apropiado de curva tipo

teste serve como referência para selecionar o tipo apropriado de curva-padrão e corrobora a confiabilidade dos resultados dos testes.

Existem técnicas de comparação de curvas-padrão que utilizam *softwares* (programas comerciais e de domínio público). Os dados de rebaixamento ou de recuperação são inseridos no *software*, onde é possível selecionar uma função apropriada de curva-padrão para sobrepor e ajustar, diretamente na tela, os dados do teste. As características hidráulicas do Sistema Aquífero são automaticamente calculadas com o ajuste de dados da curva, funções de poço $W(u)$, $W(u,S,p)$, $W(u,r/B)$ e $W(Ua,Ub)$.

A interpretação dos testes de bombeamento também pode ser realizada por meio de métodos tradicionais de superposição de curvas (funções), tal como se descreve nos manuais mencionados na bibliografia. No Apêndice F há um exemplo de interpretação de um ensaio de bombeamento utilizando o método tradicional de superposição de curvas de um aquífero semiconfinado de regime transitório.

Porque as medições de campo são geralmente limitadas no quesito precisão, as curvas-padrão poucas vezes simulam completamente a realidade. Diversas combinações de características hidráulicas de aquíferos e condições de contorno podem satisfazer as equações. Uma precisão analítica de 15% para a condutividade hidráulica e de 30% para a capacidade de armazenamento do aquífero é, normalmente, aceitável (WALTON, 1991).

As interpretações dos testes baseadas exclusivamente nos dados de rebaixamento e por tempo são insuficientes. Os dados de rebaixamento por distância complementam os dados de rebaixamento por tempo e são analisados, sempre que possível, para reforçar as interpretações.

Na era da informática, os testes de bombeamento são analisados mediante métodos numéricos de aproximações sucessivas, principalmente naqueles casos em que a complexidade das condições do Sistema Aquífero é consideravelmente diferente daquela assumida em simples equações de curva-padrão. Um conjunto de características hidráulicas e condições de contorno é empregado como base de dados em um *software*, simulando um modelo

y guía la corroboración de la confiabilidad de los resultados de las pruebas.

Se dispone también de técnicas de comparación de curvas tipo por microcomputadoras (programas comerciales y de dominio público). Los datos de abatimiento o de recuperación son registrados en una pantalla de microcomputadora seleccionándose una función apropiada de curva tipo, sobreponiendo y ajustando los datos de prueba directamente en la pantalla. Las características hidráulicas del sistema acuífero son automáticamente calculadas con el ajuste de datos de la curva, funciones de pozo $W(u)$, $W(u,S,p)$, $W(u,r/B)$, y $W(Ua,Ub)$.

La interpretación de las pruebas de bombeo puede ser realizada asimismo por medio de métodos tradicionales de superposición de curvas (funciones), tal como se describe en los manuales mencionados en la bibliografía. En el Apéndice F se presenta un ejemplo de interpretación de un bombeo de ensayo por el método tradicional de superposición de curvas en un acuífero semiconfinado de régimen variable.

Debido a que las mediciones de campo son generalmente limitadas en cuanto a precisión; las curvas tipo pocas veces simulan completamente la realidad, y diversas combinaciones de características hidráulicas de acuíferos y condiciones de límite pueden satisfacer las ecuaciones. Una precisión analítica de un 15% para conductividad hidráulica y de un 30% para la capacidad de almacenamiento de acuífero, son habitualmente aceptables (Walton, 1991).

Las interpretaciones de las pruebas basadas exclusivamente en datos de abatimiento-tiempo son insuficientes. Los datos de abatimiento-distancia complementan los de abatimiento-tiempo, y son analizados siempre que ello es posible para reforzar las interpretaciones.

Con la era de computadoras, las pruebas de bombeo son analizadas mediante método numérico de aproximaciones sucesivas en aquellos casos en que la complejidad de las condiciones del sistema acuífero son considerablemente diferentes de las asumidas en ecuaciones sencillas de curvas tipo. Un juego de características hidráulicas y condiciones de contorno es empleado como base de datos en un programa de computadora simulando un modelo analítico o numérico de flujo

analítico ou numérico de fluxo radial apropriado. Normalmente, a base de dados representa a informação geológica disponível e a experiência prévia acumulada com a resposta do Sistema Aquífero diante do bombeamento.

Os rebaixamentos calculados com o modelo numérico são comparados com os valores medidos de rebaixamento. O procedimento é repetido para as bases de dados selecionadas, até que os valores de rebaixamento calculados e os observados coincidam e a base de dados seja validada. A exclusividade prática da solução é defendida pela razoabilidade da base de dados à luz da informação hidrogeológica e das análises de sensibilidade. As curvas de rebaixamento por tempo geradas por meio de modelos numéricos são análogas às funções complexas de curvas-padrão de poços.

O Coeficiente de Armazenamento do aquífero não pode ser determinado com um grau razoável de precisão a partir dos dados obtidos no poço de produção, uma vez que seu raio efetivo é desconhecido. Além disso, o rebaixamento em um poço de produção é afetado por perdas no poço que não podem ser determinadas com exatidão. O cálculo do armazenamento do aquífero por meio do método da “linha reta” pode acarretar um erro significativo. A linha de interceptação do nível zero é insuficientemente definida quando a inclinação é reduzida. As interceptações costumam ocorrer em pontos nos quais os valores tempo são muito pequenos e desvios menores na extrapolação da linha reta causam variações significativas nos valores calculados para capacidade de armazenamento.

A interpretação dos testes é feita por meio de *softwares* específicos, comerciais ou de domínio público. Deve-se escolher o método específico em relação às características do aquífero submetido ao teste de bombeamento dos dados e/ ou parâmetros que serão obtidos.

O quadro a seguir apresenta os métodos disponíveis, o tipo de interpretação e as condições nas quais se recomenda a utilização de cada um deles.

radial apropriado. Usualmente la base de datos refleja la información geológica disponible y la experiencia previa con la respuesta del sistema acuífero al bombeo.

Los abatimientos calculados mediante el modelo numérico son comparados con los valores de medición del abatimiento. El procedimiento es repetido para las bases de datos seleccionadas hasta que los valores de abatimiento calculados y los observados coinciden, y la base de datos es declarada como válida. La exclusividad práctica de la solución es defendida por la razonabilidad de la base de datos a la luz de la información hidrogeológica y de los análisis de sensibilidad. Las curvas de abatimiento-tiempo generadas por medio de modelos numéricos son análogas a funciones complejas de curvas tipo de pozos.

El coeficiente de almacenamiento del acuífero no puede ser determinado con un grado razonable de precisión a partir de los datos obtenidos en el pozo de producción debido a que el radio efectivo del mismo no es conocido. También el abatimiento en el pozo de producción es afectado por las pérdidas en el pozo que no pueden ser determinadas con exactitud. El cálculo del almacenamiento del acuífero por el método de “línea recta” puede acarrear un error apreciable. La línea de intercepción de nivel cero queda insuficientemente definida cuando la pendiente es reducida. Las intercepciones suelen ocurrir a menudo en puntos en los cuales los valores de tiempo son muy pequeños, y desviaciones menores en la extrapolación de la línea recta resultan en variaciones significativas en cuanto a los valores calculados de la capacidad de almacenamiento.

La interpretación de las pruebas se efectúa mediante software específico comercial o de dominio publico, escogiendo el método específico en relación con las características del acuífero sometido a bombeo y de los datos/parámetros a obtener.

A continuación se indican sintéticamente métodos disponibles, el tipo de interpretación y las condiciones en las cuales se recomienda la utilización de cada método.

Método de interpretação	Tipo de interpretação	Recomendado para
Specific Capacity Automatic Analyses	Solução analítica automática	Aquíferos confinados dos quais se conhece os valores de Coeficiente de Armazenamento (S).
Theis Automatic Analysis	Solução analítica automática	Rápida interpretação em aquíferos confinados sem recorrer à utilização de curvas-padrão.
Hantush Leaky Aquifer	Solução analítica automática	Aquíferos semiconfinados sem recorrer à utilização de curvas-padrão.
Theis Confined Aquifer	Gráfico com curvas-padrão	Aquíferos confinados que respondam às aproximações de Theis.
Walton Leaky Aquifer	Gráfico com curvas-padrão	Aquíferos semiconfinados dos quais se conhece o fator de drenança.
Hantush Leaky Aquifer	Gráfico com curvas-padrão	Aquíferos confinados com drenança (<i>leakage</i>).
Neuman Non-Confined Aquifer	Gráfico com curvas-padrão	Aquíferos livres que respondam às aproximações de Theis.
Hantush's Modification of the Theis Method	Gráfico com curvas-padrão	Aquíferos confinados com penetração parcial.
Distance Drawdown Graphical method	Gráfica	Aproximações de Theis.
Distance Drawdown Graphical Method	Solução analítica automática	Aproximações de Theis.
Theis Recovery Method	Gráfica	Aquíferos livres e confinados para medições da recuperação do nível estático.

Método de interpretação	Tipo de interpretação	Recomendado para
Specific Capacity Automatic Analyses	Solución analítica automática	Acuíferos confinados de los cuales se conozcan los valores de S.
Theis Automatic Análisis	Solución analítica automática	Rápida interpretación en acuíferos confinados sin recurrir a la utilización de curvas tipo.
Hantush Leaky Aquifer	Solución analítica automática	Acuíferos semi confinados sin recurrir a la utilización de curvas tipo.
Theis Confined Aquifer	Gráfica con curvas tipo	Acuíferos confinados que respondan a las aproximaciones de Theis.
Walton Leaky Aquifer	Gráfica con curvas tipo	Acuíferos semi confinados de los cuales se conozca el factor de fuga.
Hantush Leaky Aquifer	Gráfica con curvas tipo	Acuíferos confinados con fuga (leakage).
Neuman Non-Confined Aquifer	Gráfica con curvas tipo	Acuíferos libres que respondan a las aproximaciones de Theis.
Hantush's Modification of the Theis Method	Gráfica con curvas tipo	Acuíferos confinados parcialmente penetrados.
Distance Drawdown Graphical method	Gráfica	Aproximaciones de Theis.
Distance Drawdown Graphical Method	Solución analítica automática	Aproximaciones de Theis.
Theis Recovery Method	Gráfica	Acuíferos libres y confinados para mediciones en ascenso.

3.5 Teste de produção do poço no Sistema Aquífero Guaraní

Em um teste de produção (teste escalonado), a bomba opera durante períodos sucessivos de 1 hora de duração, em três ou mais etapas constantes de bombeamentos, com registros, medidos a intervalos frequentes, dos níveis dinâmicos no poço de produção. A perda de carga e a constante de perdas de carga do poço são frequentemente estimadas com base nos dados de rebaixamento escalonado (RORABAUGH, 1953) e por meio das seguintes equações:

$$\Delta s = CQ^2 \quad (5)$$

$$C = (\Delta s_t / \Delta Q_t - \Delta s_{t-1} / \Delta Q_{t-1}) / (\Delta Q_{t-1} + \Delta Q_t) \quad (6)$$

Onde:

Δs é a variável de rebaixamento no poço de produção do poço.

C é a constante de perda de carga.

Q é a vazão de descarga do poço de produção

Δs_t é o aumento do rebaixamento no final do período de “t” de bombeamento, por causa do aumento “ ΔQ_t ” na vazão.

Os aumentos no rebaixamento são selecionados para os mesmos períodos de duração do bombeamento.

A constante de perda de carga ‘C’ é uma medida da obstrução do poço em razão de um desenvolvimento incompleto ou em razão de sua deterioração causada pela operação. Os poços deteriorados podem ser reabilitados por meio de métodos descritos por Driscoll (1986), chegando ao ponto de quase recuperar seu rendimento original. A execução periódica de testes de rebaixamento escalonado e a estimativa do coeficiente de perdas C podem ajudar a avaliar o grau de deterioração e a planejar um método de reabilitação. O sucesso da reabilitação pode ser avaliado com base nos resultados dos testes de produção realizados antes e depois da reabilitação.

POÇOS ARTESIANOS – um poço comum é aquele que alcança apenas a primeira camada do aquífero, mais superficial, que pode estar contaminada por substâncias ou resíduos provenientes de fossas ou de outras fontes de contaminação. Um poço artesiano não jorrante, ou semisurgente, é aquele que chega à segunda camada do aquífero. Um poço artesiano jorrante ou surgente chega à terceira camada. Na área do Aquífero Guaraní, o tipo predominante de poço é surgente e, portanto, a maior parte dos testes será realizada nesses poços.

3.5 Prueba de producción de pozo en el sistema del acuífero Guaraní

En una prueba de producción, la bomba del pozo es operada durante períodos sucesivos de una hora de duración a tres o más fracciones constantes de capacidad plena, y los niveles de agua en el pozo de producción medidos a intervalos frecuentes. La pérdida de pozo y la constante de pérdida del mismo son a menudo estimadas según datos de abatimiento escalonado del pozo (Rorabaugh, 1953) y por medio de las siguientes ecuaciones:

$$S_w = CQ^2 \quad (5)$$

$$C = (\Delta s_i / \Delta Q_i - \Delta s_{i-1} / \Delta Q_{i-1}) / (\Delta Q_{i-1} + \Delta Q_i) \quad (6)$$

Donde:

S_w es el componente de abatimiento en el pozo de producción debido a la pérdida al entrada al pozo, C es la constante de pérdida, Q representa el caudal de descarga del pozo de producción, y Δs_i es el incremento de abatimiento al final del período de bombeo i debido al aumento de descarga ΔQ_i .

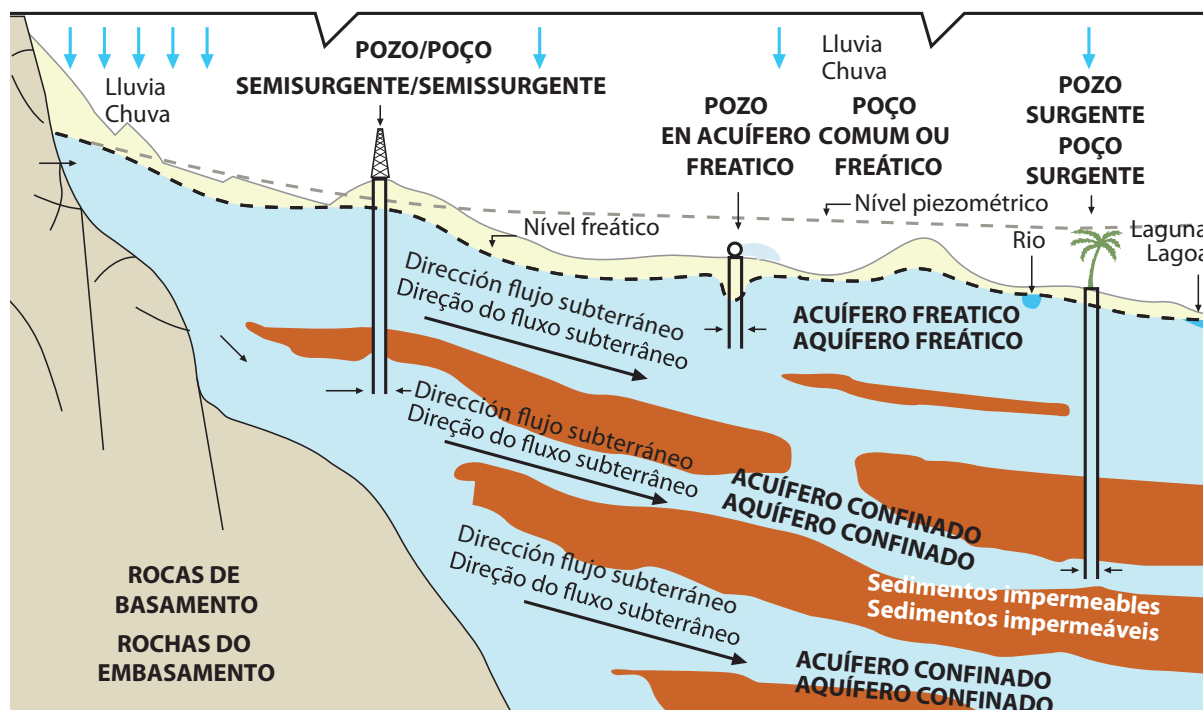
Los incrementos de abatimiento son seleccionados para los mismos períodos de duración del bombeo.

C es una medida de la obstrucción del pozo debida a un desarrollo incompleto o al deterioro del mismo con su operación. Los pozos deteriorados pueden ser rehabilitados hasta casi su rendimiento original por medio de varios métodos descritos por Driscoll, 1986. La ejecución periódica de pruebas de abatimiento escalonado y la estimación del coeficiente de perdidas C puede ser utilizada para evaluar el grado de deterioro y planificar un método de rehabilitación. El éxito de tal rehabilitación puede ser evaluado a través de los resultados de las pruebas de producción de pozos conducidas antes y después de dicha rehabilitación.

POZOS SURGENTES – un pozo común es el que llega a la primera capa; la más superficial, que puede estar contaminada con sustancias o desechos provenientes de infiltraciones de pozos ciegos u otras fuente de contaminación. Un pozo semisurgente, llega a la segunda, y el pozo surgente alcanza hasta la tercera capa. En el área del acuífero Guaraní el tipo predominante son los pozos surgentes, y por lo tanto la mayoría de los ensayos serán realizados en este tipo de pozos.

A figura abaixo mostra esquematicamente a localização de um poço surgente em relação ao aquífero.

En la figura a continuación se presenta esquemáticamente la ubicación de un pozo surgente en relación con el acuífero.



4 ENTREGA DOS RELATÓRIOS SOBRE TESTES DE ENSAIO DE BOMBEAMENTO

Os relatórios sobre testes de bombeamento de águas subterrâneas realizados no Sistema Aquífero Guarani devem conter as seguintes partes:

Introdução: descrição geral do aquífero, seleção de poços e metodologia dos testes.

Mapa em escala do local – o mapa deve conter informações sobre os controles de elevação do nível da água, (ex.: cota da boca do revestimento), cota topográfica de todos os poços, réguas de medição e outros pontos de medição do nível da água, tubulação de descarga da bomba e destinação final da água

4 ENTREGA DEL INFORME DE ENSAYO DE BOMBEO

Los datos a presentar ante el SAG en apoyo del informe de las pruebas de bombeo de aguas subterráneas deberían incluir los elementos indicados a continuación:

Introducción- descripción general del acuífero, selección de pozos y metodología de ensayos de los pozos:

Plan en escala del Sitio – mostrando controles de elevación del nivel del agua (p.ej., tope del revestimiento) y elevación graduada de todos los pozos, varillas de medición y otros puntos de medición del nivel, tubería de descarga de bomba de prueba y otros puntos medición del

do teste de bombeamento e localização de corpos hídricos superficiais próximos. Também devem ser incluídos dados de latitude e longitude (coordenada geográfica – gg,g0 mm,m' ss,s") ou coordenadas UTM do poço de bombeamento e dos diferentes poços de observação, além de informações sobre o modo de aquisição da coordenada e o grupo de dados utilizados para estabelecer suas localizações.

Diagramas de engenharia – os diagramas devem mostrar detalhes dos perfis construtivos, tais como: coluna de revestimento do poço, profundidade de instalação das seções filtrantes, altura do revestimento acima da superfície do terreno (boca do poço) etc. Também deve apresentar a profundidade dos poços de produção de bombeamento e observação, assim como seus perfis geológicos (sequências litológicas atravessadas).

Resultado – deve apresentar os dados brutos do teste de bombeamento (de forma legível), contendo: datas de execução, hora real, tempo de operação em minutos, cota topográfica do ponto de referência para medição (boca do poço), estático da água, medições dos níveis dinâmicos e dos valores de rebaixamento. Esses dados devem ser registrados em uma planilha Excel ou Quattro Pro.

Interpretação do ensaio – gráficos, fórmulas e cálculos empregados para estimar a transmissividade, Coeficiente de Armazenamento e rendimento certo, bem como as interpretações que incluam fundamentos, metodologia, cortes geológicos da área, referências e arquivos do *software* utilizado nos testes de bombeamento.

Toda a documentação apresentada deve ser perfeitamente legível. Os gráficos, as figuras e os mapas devem utilizar sombreamento, padrões de sombreamento e hachurado, simbologias, entre outros elementos que permitam sua leitura caso sejam reproduzidos em preto e branco.

nivel hídrico, tubería de descarga de prueba de bombeo, ubicación de cuerpos hídricos superficiales cercanos. Deben incluirse datos de latitud y longitud (en grados, minutos, segundos y décimas de segundos) o determinaciones UTM para el pozo de bombeo y los distintos pozos de observación que deberán quedar (especificar el método y clase de datos usados para emplazar los pozos);

Diagramas de Ingeniería – mostrando detalles constructivos (revestimiento del pozo, instalación de rejilla/filtro y elevación de revestimiento en boca de pozo, etc.), profundidad de pozos de producción y de observación, así como registros geológicos de los pozos de bombeo y de observación;

Resultado – Datos crudos de ensayo de bombeo (legibles) provistos de: fecha, hora real, tiempo de operación en minutos, punto de medición (tope de revestimiento) elevación, nivel hídrico estático, mediciones de nivel del agua y abatimiento calculado [deberá presentarse un archivo en hoja de cálculo "Excel" o "Quattro Pro" provista de estos datos];

Interpretación de Ensayo – Gráficos, fórmulas y cálculos empleados para estimar la transmisividad, coeficiente de almacenamiento y rendimiento asegurado; interpretaciones comprendiendo fundamentos, metodología, cortes geológicos del área y referencias, así como también archivos del software de computación empleado para las pruebas de bombeo. Toda la documentación presentada debe ser perfectamente legible. Los planos y mapas deben utilizar sombreados, patrones de sombreado y rayado, simbología, etc., para que las características sean fácilmente distinguibles al ser copiadas en blanco y negro.

APÊNDICE A

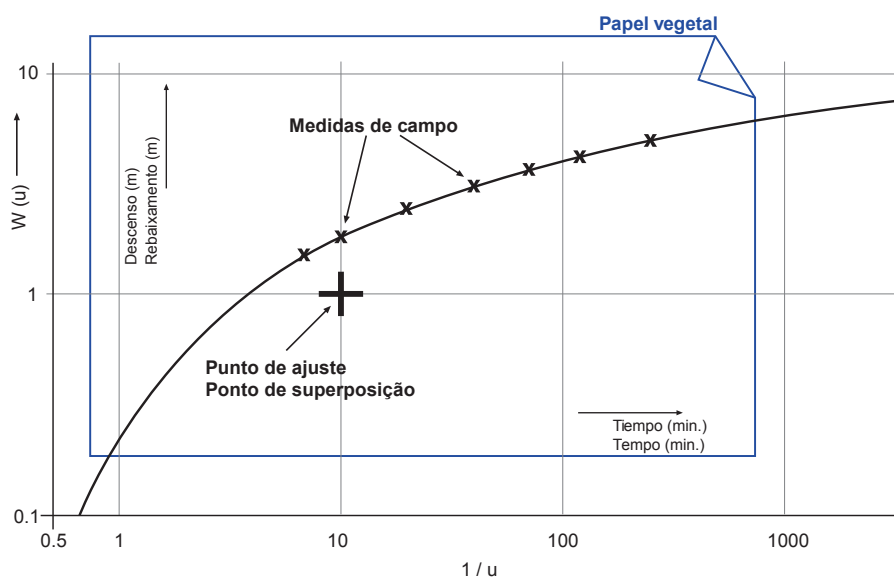
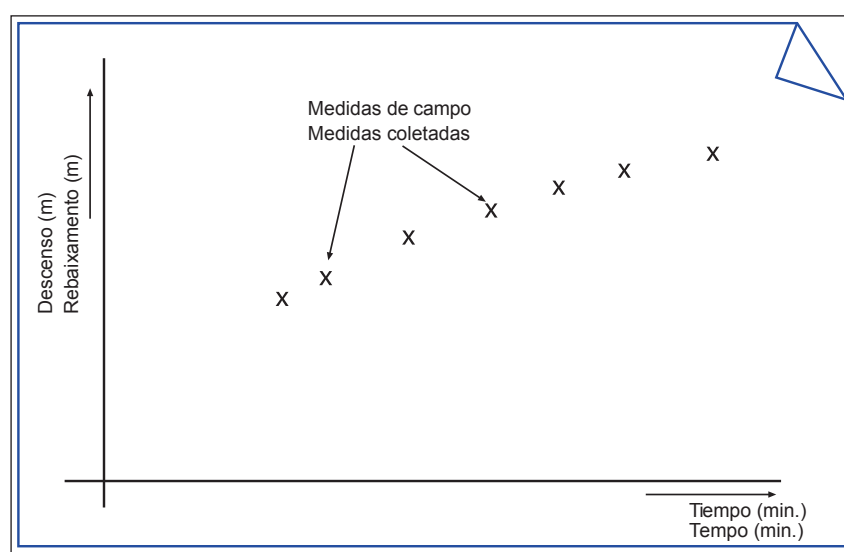
CURVAS MAIS UTILIZADAS NA INTERPRETAÇÃO DOS TESTES DE BOMBEAMENTO

Método de Theis: superposição da curva de campo construída a partir dos dados obtidos com o teste de bombeamento, sobre a curva-padrão de Theis.

APÉNDICE A

CURVAS MÁS COMUNES PARA LA INTERPRETACIÓN DE ENSAYOS DE BOMBEO

Método de Theis: Superponemos nuestros datos sobre el gráfico patrón de Theis.



O ponto de ajuste apresenta duas coordenadas:

- no gráfico de campo: tempo–rebaixamento;
- no gráfico-padrão: $1/u - W(u)$.

Para calcular a transmissividade, devem-se substituir os valores na Equação de Theis:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u)$$

Método Hantush–Walton: para aquíferos semiconfinados.

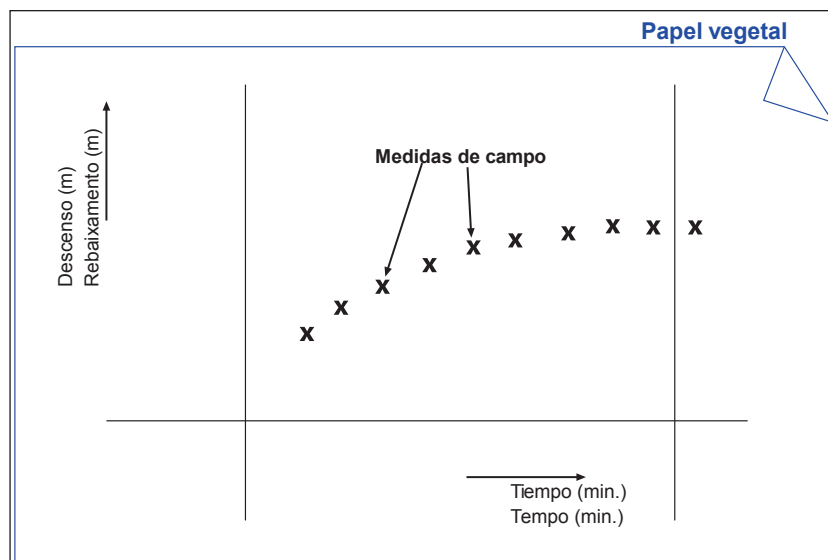
El punto de ajuste presenta doble pareja de valores:

- en el gráfico de campo: tiempo – descenso
- en el gráfico patrón: $1/\mu, W(\mu)$

Para calcular la transmisividad se debe sustituir los valores en la Ecuación de Theis:

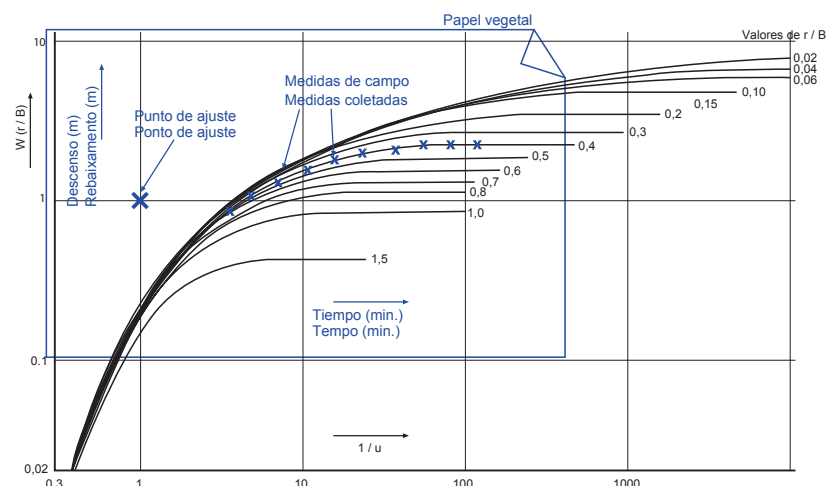
$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u)$$

Método Huntush–Walton: Para acuíferos semiconfinados.



Superpondo-se a curva de campo construída com os dados coletados sobre a curva-padrão de Walton, como na figura abaixo.

Superponemos nuestros valores a la curva patrón de Walton, como lo indica la siguiente imagen.



O ponto de superposição apresenta as seguintes coordenadas:

- no gráfico de campo: tempo–rebaixamento;
- no gráfico-padrão: $1/u - W(u, r/B)$.

Para calcular a transmissividade, devem-se substituir os valores na Equação de Hantush:

$$= \frac{Q}{4\pi T} W(u, r/B)$$

Método de Neuman: outro tipo de método gráfico utilizado para calcular os parâmetros por meio dos dados coletados em campo.

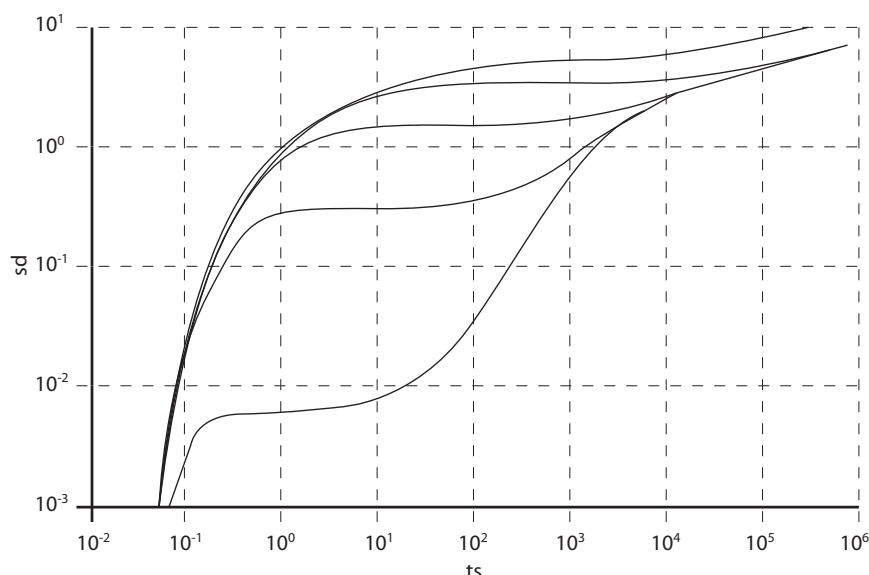
Nuestro punto de ajuste tiene las siguientes coordenadas:

- *en el gráfico de campo: tiempo – descenso*
- *en el gráfico patrón: $1/\mu, W(\mu, r/B)$*

Para el cálculo de la Transmisividad debemos sustituir los valores en la ecuación de Hantush:

$$= \frac{Q}{4\pi T} W(u, r/B)$$

Método de Neuman: Es otro de los métodos gráficos que se pueden utilizar para el cálculo de parámetros mediante la utilización de datos obtenidos en el campo



APÊNDICE B

FICHA DE TESTE DE BOMBEAMENTO

Poço nº 11				Data de início: 18 de abril de 2007			
Dia	Hora	Tempo	Nível medido	Nível s.n.m.	Versão medida	Vazão acumulada	Observações
18 - abr.	09:35	00:00	64,00	131,6	30,00	40079	Poço parado durante 8 horas. Nível estático medido 59,02 metros. Bombeamento interrompido por motivos operacionais, retomado às 9h35, com nível de 64 metros e vazão de 40.079m³.
18 - abr.	09:36	00:01	69,00	126,65	25,00		
18 - abr.	09:37	00:02	77,00	118,65	20,00		
18 - abr.	09:38	00:03	89,00	106,65	18,00		
18 - abr.	09:39	00:04	101,00	94,65	18,00		
18 - abr.	09:40	00:05	112,00	83,65	18,00		
18 - abr.	09:41	00:06	112,00	83,65	18,00		
18 - abr.	09:42	00:07	112,00	83,65	18,00		
18 - abr.	09:43	00:08	112,00	83,65	18,00		
18 - abr.	09:44	00:09	112,00	83,65	18,00		
18 - abr.	09:45	00:10	112,00	83,65	18,00	40083	Ao estabilizar o nível, foi feita uma medição na bomba. Decidiu-se reduzir a vazão e permitir que o nível variasse em uma velocidade menor.
18 - abr.	09:50	00:15	110,00	85,65	15,80		
18 - abr.	09:55	00:20	110,20	85,45	15,80		
18 - abr.	10:00	00:25	110,00	85,65	15,80		
18 - abr.	10:05	00:30	110,00	85,65	15,80		
18 - abr.	10:10	00:35	109,80	85,85	15,80		
18 - abr.	10:15	00:40	109,80	85,85	15,80		
18 - abr.	10:20	00:45	109,70	85,95	15,80		
18 - abr.	10:25	00:50	110,00	85,65	15,80		
18 - abr.	10:30	00:55	110,10	85,55	15,80		
18 - abr.	10:35	01:00	110,20	85,45	15,80		
18 - abr.	10:50	01:15	110,00	85,65	15,80	40099	
18 - abr.	11:05	01:30	109,70	85,95	15,40		
18 - abr.	11:20	01:45	109,90	85,75	15,40		
18 - abr.	11:35	02:00	110,00	85,65	15,40		
18 - abr.	12:05	02:30	110,00	85,65	15,40		
18 - abr.	12:35	03:00	110,00	85,65	15,40		

Poço nº 11				Data de início: 18 de abril de 2007			
Dia	Hora	Tempo	Nível medido	Nível s.n.m.	Versão medida	Vazão acumulada	Observações
18 - abr.	13:35	04:00	110,20	85,45	15,40		
18 - abr.	14:25	05:00	110,00	85,65	15,40		
18 - abr.	15:35	06:00	110,00	85,65	15,40	40174	
18 - abr.	16:35	07:00	109,90	85,75	15,70		
18 - abr.	18:35	09:00	109,90	85,75	15,70		
18 - abr.	20:35	11:00	109,80	85,85	15,70		
18 - abr.	22:35	13:00	110,00	85,65	15,70		
19 - abr.	07:00	21:25	110,00	85,65	15,70		
19 - abr.	09:00	23:25	110,20	85,45	15,70		
19 - abr.	12:00	26:25:00	110,00	85,65	15,90	40451	
19 - abr.	16:00	30:25:00	109,80	85,85	15,90		
19 - abr.	20:00	34:25:00	109,80	85,85	15,90		
19 - abr.	22:00	36:25:00	110,00	85,65	15,90		
20 - abr.	08:00	46:25:00	110,00	85,65	15,90	40817	
20 - abr.	10:00	48:25:00	110,00	85,65	15,70		
20 - abr.	16:00	54:25:00	111,00	84,65	15,70		
20 - abr.	20:00	58:25:00	111,00	84,65	15,70		
20 - abr.	22:00	60:25:00	111,00	84,65	15,70		
21 - abr.	07:00	69:25:00	110,80	84,85	15,70		Fim do bombeamento Às 9h35 do dia 21 de abril foi interrompido o bombeamento e começou a recuperação a partir dos valores observados.
21 - abr.	09:35	72:00:00	110,80	84,85	15,70	41215	
21 - abr.	09:35	72:00:00	112,00	83,65	0,00	41215	
21 - abr.	09:36	72:01:00	110,00	85,65	0,00		
21 - abr.	09:37	72:02:00	98,00	97,65	0,00		
21 - abr.	09:38	72:03:00	88,00	107,65	0,00		
21 - abr.	09:39	72:04:00	80,20	115,45	0,00		
21 - abr.	09:40	72:05:00	74,20	121,45	0,00		
21 - abr.	09:41	72:06:00	70,20	125,45	0,00		
21 - abr.	09:42	72:07:00	67,60	128,05	0,00		
21 - abr.	09:43	72:08:00	66,40	129,25	0,00		

Poço nº 11				Data de início: 18 de abril de 2007			
Dia	Hora	Tempo	Nível medido	Nível s.n.m.	Versão medida	Vazão acumulada	Observações
21 - abr.	09:44	72:09:00	65,80	130,70	0,00		
21 - abr.	09:45	72:10:00	64,95	131,25	0,00		
21 - abr.	09:46	72:11:00	64,40	131,65	0,00		
21 - abr.	09:47	72:12:00	64,00	132,05	0,00		
21 - abr.	09:48	72:13:00	63,60	132,35	0,00		
21 - abr.	09:49	72:14:00	63,30	132,75	0,00		
21 - abr.	09:50	72:15:00	62,90	132,75	0,00		
21 - abr.	09:51	72:16:00	62,90	132,95	0,00		
21 - abr.	09:52	72:17:00	62,70	133,08	0,00		
21 - abr.	09:53	72:18:00	62,57	133,25	0,00		
21 - abr.	09:54	72:19:00	62,40	133,35	0,00		
21 - abr.	09:55	72:20:00	62,30	133,35	0,00		
21 - abr.	09:57	72:22:00	62,10	133,55	0,00		
21 - abr.	09:59	72:24:00	61,98	133,67	0,00		
21 - abr.	10:01	72:26:00	61,94	133,71	0,00		
21 - abr.	10:03	72:28:00	61,80	133,85	0,00		
21 - abr.	10:05	72:30:00	61,73	133,92	0,00		
21 - abr.	10:07	72:32:00	61,65	134,00	0,00		
21 - abr.	10:09	72:34:00	61,60	134,05	0,00		
21 - abr.	10:11	72:36:00	61,57	134,08	0,00		
21 - abr.	10:13	72:38:00	61,54	134,11	0,00		
21 - abr.	10:14	72:40:00	61,51	134,14	0,00		
21 - abr.	10:19	72:45:00	61,48	134,17	0,00		
21 - abr.	10:24	72:50:00	61,43	134,22	0,00		
21 - abr.	10:29	72:55:00	61,38	134,27	0,00		
21 - abr.	10:34	73:00:00	61,35	134,30	0,00		
21 - abr.	10:44	73:10:00	61,34	134,31	0,00		
21 - abr.	10:54	73:20:00	61,32	134,33	0,00		
21 - abr.	11:04	73:30:00	61,31	134,34	0,00		

Poço nº 11				Data de início: 18 de abril de 2007			
Dia	Hora	Tempo	Nível medido	Nível s.n.m.	Versão medida	Vazão acumulada	Observações
21 - abr.	11:14	73:40:00	61,28	134,37	0,00		
21 - abr.	11:24	73:50:00	61,26	134,39	0,00		
21 - abr.	11:34	74:00:00	61,23	134,42	0,00		
21 - abr.	11:44	74:10:00	61,20	134,45	0,00		
21 - abr.	11:54	74:20:00	61,17	134,48	0,00	41215	
21 - abr.	12:04	00:10	61,14	134,51	0,00	41215	
21 - abr.	12:34	75:00:00	61,05	134,60	0,00		
21 - abr.	13:04	75:30:00	60,96	134,69	0,00		
21 - abr.	13:34	76:00:00	60,88	134,77	0,00		
21 - abr.	14:04	76:30:00	60,80	134,85	0,00		
21 - abr.	14:34	77:00:00	60,72	134,93	0,00		
21 - abr.	15:04	77:30:00	60,64	135,01	0,00		
21 - abr.	15:34	78:00:00	60,57	135,08	0,00		
21 - abr.	16:04	78:30:00	60,47	135,18	0,00		
21 - abr.	16:34	79:00:00	60,30	135,35	0,00		
21 - abr.	17:34	80:00:00	60,17	135,48	0,00		
21 - abr.	18:34	81:00:00	60,02	135,63	0,00		
21 - abr.	19:34	82:00:00	59,87	135,78	0,00		
21 - abr.	20:34	83:00:00	59,73	135,92	0,00		
21 - abr.	21:34	84:00:00	59,65	136,00	0,00		
21 - abr.	22:34	85:00:00	59,57	136,08	0,00		
21 - abr.	23:34	86:00:00	59,51	136,14	0,00		
22 - abr.	01:34	88:00:00	59,43	136,22	0,00		
22 - abr.	07:34	94:00:00	59,15	136,50	0,00		
22 - abr.	09:34	96:00:00	59,14	136,51	0,00		
22 - abr.	12:34	99:00:00	59,13	136,52	0,00		
22 - abr.	16:34	103:00:00	59,13	136,52	0,00		
22 - abr.	20:34	107:00:00	59,13	136,52	0,00	41215	Fim do teste. Reinício do bombeamento.

APÉNDICE B

FICHA DE PRUEBA DE BOMBEO

Pozo n°11				Fecha inicio: 18 de abril de 2007			
Día	Hora	Tiempo	Nível Medido	Nível s.n.m.	Caudal Medida	Caudal Acumulada	Observaciones
18 - abr.	09:35	00:00	64,00	131,6	30,00	40079	Pozo parado durante 8 horas, se mide um nível estático de 59,02 mts, pero se debe detener por razones operativas el bombeo se reinicia a lãs 9,35 com um nível de 64 metros y el caudalímetro registrando 40079 m³.
18 - abr.	09:36	00:01	69,00	126,65	25,00		
18 - abr.	09:37	00:02	77,00	118,65	20,00		
18 - abr.	09:38	00:03	89,00	106,65	18,00		
18 - abr.	09:39	00:04	101,00	94,65	18,00		
18 - abr.	09:40	00:05	112,00	83,65	18,00		
18 - abr.	09:41	00:06	112,00	83,65	18,00		
18 - abr.	09:42	00:07	112,00	83,65	18,00		
18 - abr.	09:43	00:08	112,00	83,65	18,00		
18 - abr.	09:44	00:09	112,00	83,65	18,00		
18 - abr.	09:45	00:10	112,00	83,65	18,00	40083	Al estabilizarse el nivel se averiguo sobre el nivel de la bomba y dado que este coincidía se decidió reducir el caudal y permitir fluctuar el nivel en un valor menor.
18 - abr.	09:50	00:15	110,00	85,65	15,80		
18 - abr.	09:55	00:20	110,20	85,45	15,80		
18 - abr.	10:00	00:25	110,00	85,65	15,80		
18 - abr.	10:05	00:30	110,00	85,65	15,80		
18 - abr.	10:10	00:35	109,80	85,85	15,80		
18 - abr.	10:15	00:40	109,80	85,85	15,80		
18 - abr.	10:20	00:45	109,70	85,95	15,80		
18 - abr.	10:25	00:50	110,00	85,65	15,80		
18 - abr.	10:30	00:55	110,10	85,55	15,80		
18 - abr.	10:35	01:00	110,20	85,45	15,80		
18 - abr.	10:50	01:15	110,00	85,65	15,80	40099	
18 - abr.	11:05	01:30	109,70	85,95	15,40		
18 - abr.	11:20	01:45	109,90	85,75	15,40		
18 - abr.	11:35	02:00	110,00	85,65	15,40		
18 - abr.	12:05	02:30	110,00	85,65	15,40		
18 - abr.	12:35	03:00	110,00	85,65	15,40		

Pozo nº11				Fecha inicio: 18 de abril de 2007			
Dia	Hora	Tiempo	Nível Medido	Nível s.n.m.	Caudal Medida	Caudal Acumulada	Observaciones
18 - abr.	13:35	04:00	110,20	85,45	15,40		
18 - abr.	14:25	05:00	110,00	85,65	15,40		
18 - abr.	15:35	06:00	110,00	85,65	15,40	40174	
18 - abr.	16:35	07:00	109,90	85,75	15,70		
18 - abr.	18:35	09:00	109,90	85,75	15,70		
18 - abr.	20:35	11:00	109,80	85,85	15,70		
18 - abr.	22:35	13:00	110,00	85,65	15,70		
19 - abr.	07:00	21:25	110,00	85,65	15,70		
19 - abr.	09:00	23:25	110,20	85,45	15,70		
19 - abr.	12:00	26:25:00	110,00	85,65	15,90	40451	
19 - abr.	16:00	30:25:00	109,80	85,85	15,90		
19 - abr.	20:00	34:25:00	109,80	85,85	15,90		
19 - abr.	22:00	36:25:00	110,00	85,65	15,90		
20 - abr.	08:00	46:25:00	110,00	85,65	15,90	40817	
20 - abr.	10:00	48:25:00	110,00	85,65	15,70		
20 - abr.	16:00	54:25:00	111,00	84,65	15,70		
20 - abr.	20:00	58:25:00	111,00	84,65	15,70		
20 - abr.	22:00	60:25:00	111,00	84,65	15,70		
21 - abr.	07:00	69:25:00	110,80	84,85	15,70		
21 - abr.	09:35	72:00:00	110,80	84,85	15,70	41215	Se detiene el bombeo
21 - abr.	09:35	72:00:00	112,00	83,65	0,00	41215	A las 9:35 horas del día 21 de Abril se detiene el bombeo y comienza la recuperación con los valores que se consignan.
21 - abr.	09:36	72:01:00	110,00	85,65	0,00		
21 - abr.	09:37	72:02:00	98,00	97,65	0,00		
21 - abr.	09:38	72:03:00	88,00	107,65	0,00		
21 - abr.	09:39	72:04:00	80,20	115,45	0,00		
21 - abr.	09:40	72:05:00	74,20	121,45	0,00		
21 - abr.	09:41	72:06:00	70,20	125,45	0,00		
21 - abr.	09:42	72:07:00	67,60	128,05	0,00		
21 - abr.	09:43	72:08:00	66,40	129,25	0,00		

Pozo n° 11				Fecha inicio: 18 de abril de 2007			
Día	Hora	Tiempo	Nivel Medido	Nivel s.n.m.	Caudal Medida	Caudal Acumulada	Observaciones
21 - abr.	09:44	72:09:00	65,80	130,70	0,00		
21 - abr.	09:45	72:10:00	64,95	131,25	0,00		
21 - abr.	09:46	72:11:00	64,40	131,65	0,00		
21 - abr.	09:47	72:12:00	64,00	132,05	0,00		
21 - abr.	09:48	72:13:00	63,60	132,35	0,00		
21 - abr.	09:49	72:14:00	63,30	132,75	0,00		
21 - abr.	09:50	72:15:00	62,90	132,75	0,00		
21 - abr.	09:51	72:16:00	62,90	132,95	0,00		
21 - abr.	09:52	72:17:00	62,70	133,08	0,00		
21 - abr.	09:53	72:18:00	62,57	133,25	0,00		
21 - abr.	09:54	72:19:00	62,40	133,35	0,00		
21 - abr.	09:55	72:20:00	62,30	133,35	0,00		
21 - abr.	09:57	72:22:00	62,10	133,55	0,00		
21 - abr.	09:59	72:24:00	61,98	133,67	0,00		
21 - abr.	10:01	72:26:00	61,94	133,71	0,00		
21 - abr.	10:03	72:28:00	61,80	133,85	0,00		
21 - abr.	10:05	72:30:00	61,73	133,92	0,00		
21 - abr.	10:07	72:32:00	61,65	134,00	0,00		
21 - abr.	10:09	72:34:00	61,60	134,05	0,00		
21 - abr.	10:11	72:36:00	61,57	134,08	0,00		
21 - abr.	10:13	72:38:00	61,54	134,11	0,00		
21 - abr.	10:14	72:40:00	61,51	134,14	0,00		
21 - abr.	10:19	72:45:00	61,48	134,17	0,00		
21 - abr.	10:24	72:50:00	61,43	134,22	0,00		
21 - abr.	10:29	72:55:00	61,38	134,27	0,00		
21 - abr.	10:34	73:00:00	61,35	134,30	0,00		
21 - abr.	10:44	73:10:00	61,34	134,31	0,00		
21 - abr.	10:54	73:20:00	61,32	134,33	0,00		
21 - abr.	11:04	73:30:00	61,31	134,34	0,00		

Pozo nº 11				Fecha inicio: 18 de abril de 2007			
Dia	Hora	Tiempo	Nível Medido	Nível s.n.m.	Caudal Medida	Caudal Acumulada	Observaciones
21 - abr.	11:14	73:40:00	61,28	134,37	0,00		
21 - abr.	11:24	73:50:00	61,26	134,39	0,00		
21 - abr.	11:34	74:00:00	61,23	134,42	0,00		
21 - abr.	11:44	74:10:00	61,20	134,45	0,00		
21 - abr.	11:54	74:20:00	61,17	134,48	0,00	41215	
21 - abr.	12:04	00:10	61,14	134,51	0,00	41215	
21 - abr.	12:34	75:00:00	61,05	134,60	0,00		
21 - abr.	13:04	75:30:00	60,96	134,69	0,00		
21 - abr.	13:34	76:00:00	60,88	134,77	0,00		
21 - abr.	14:04	76:30:00	60,80	134,85	0,00		
21 - abr.	14:34	77:00:00	60,72	134,93	0,00		
21 - abr.	15:04	77:30:00	60,64	135,01	0,00		
21 - abr.	15:34	78:00:00	60,57	135,08	0,00		
21 - abr.	16:04	78:30:00	60,47	135,18	0,00		
21 - abr.	16:34	79:00:00	60,30	135,35	0,00		
21 - abr.	17:34	80:00:00	60,17	135,48	0,00		
21 - abr.	18:34	81:00:00	60,02	135,63	0,00		
21 - abr.	19:34	82:00:00	59,87	135,78	0,00		
21 - abr.	20:34	83:00:00	59,73	135,92	0,00		
21 - abr.	21:34	84:00:00	59,65	136,00	0,00		
21 - abr.	22:34	85:00:00	59,57	136,08	0,00		
21 - abr.	23:34	86:00:00	59,51	136,14	0,00		
22 - abr.	01:34	88:00:00	59,43	136,22	0,00		
22 - abr.	07:34	94:00:00	59,15	136,50	0,00		
22 - abr.	09:34	96:00:00	59,14	136,51	0,00		
22 - abr.	12:34	99:00:00	59,13	136,52	0,00		
22 - abr.	16:34	103:00:00	59,13	136,52	0,00		
22 - abr.	20:34	107:00:00	59,13	136,52	0,00	41215	fin del ensayo po reinicio del bombeo

APÊNDICE C GLOSSÁRIO

Aquífero – formação geológica que contém água e permite que a água se movimente em seu interior em condições naturais. São formações ou estruturas geológicas que armazenam água e a fornecem por meio de poços. O termo aquífero refere-se, geralmente, às formações que contém água em quantidade suficiente para constituir-se em um manancial de abastecimento capaz de suprir as necessidades de uma população.

Aquífero confinado não drenante – ou apenas confinado, é um rocha ou solo subterrâneo saturado por meio poroso subterrâneo ou rocha saturada de água sob pressão, ou seja, isolado no topo e na base por camadas de materiais impermeáveis, mantendo a água com pressão maior que a pressão atmosférica, de tal forma que, quando o aquífero é penetrado por um poço, a água se eleva acima da base da camada confinante superior.

Aquífero não confinado – também chamado de livre ou freático é aquele no qual o limite superior da superfície hídrica, ou seja, a superfície freática está submetida à pressão atmosférica e, por isso, o nível da água pode subir ou descer.

Aquífero confinado drenante – é uma variedade de aquífero confinado também chamado de semiconfinado, cuja característica é possuir a parte superior e/ou inferior selada por camadas que não são totalmente impermeáveis e que constituem os aquíferos. Essas camadas semipermeáveis permitem uma drenança vertical que pode entrar ou sair muito lentamente do aquífero principal. Nesses casos, a recarga pode ocorrer em ambos os sentidos, de acordo com a diferença de potencial.

Aquitardo – esse termo se refere a várias formações geológicas que contém consideráveis quantidades de água e a transmitem muito lentamente. Não são adequadas para a localização de captações de águas subterrâneas, entretanto, sob condições especiais, permitem a recarga vertical de outros aquíferos, o que pode ser muito importante em certos casos.

Água artesianas – água subterrânea submetida à pressão superior da atmosfera. Eleva-se acima do nível em que se encontra quando penetrada por um poço, ou seja, acima do nível da camada aquífera. Em alguns casos é capaz de fluir acima

APÉNDICE C GLOSARIO

Acuífero – una formación geológica que está dotada y/o suministra agua. Formaciones o estructuras geológicas que almacenan y/o proporcionan agua, tales como pozos y fuentes surgentes. El uso del término está por lo general restringido a aquellas formaciones que contienen agua en cantidad suficiente como para constituir un abastecimiento utilizable para las necesidades de la población.

Acuífero confinado – suelo o roca por debajo de la superficie del terreno que está saturado de agua, con existencia de capas de materiales impermeables en sus partes superior e inferior, y que ejercen presión, de manera tal que cuando el acuífero es penetrado por un pozo, el agua contenida se eleve hacia el tope del acuífero.

Acuífero no confinado – un acuífero cuya tabla hídrica superior (napa freática) está sometida a la presión atmosférica, y por consiguiente cuyo nivel hidráulico es capaz de subir o bajar.

Acuífero semiconfinado – es una variedad de los confinados, y se caracterizan por tener el techo (parte superior) o/y el muro (parte inferior) sellado por materiales que no son totalmente impermeables, sino que constituyen un acuitardo, es decir, un material que permite una filtración vertical que alimenta muy lentamente al acuífero principal. En estos casos, habrá situaciones en los que la recarga podrá hacerse en ambos sentidos en función de la diferencia de potencial.

Acuitardo – este término hace referencia a numerosas formaciones geológicas que, conteniendo apreciables cantidades de agua la transmiten muy lentamente, por lo que no son aptos para el emplazamiento de captaciones de aguas subterráneas, pero sin embargo, bajo condiciones especiales permiten una recarga vertical de otros acuíferos, que puede llegar a ser muy importante en ciertos casos.

Agua artesianas – agua subterránea que está sometida a presión cuando es penetrada por un pozo, y que es capaz de elevarse por encima del nivel al que se encontraba originariamente, pudiendo o no fluir hasta el nivel de la superficie del

da superfície do terreno. As formações que contêm água artesianas são chamadas de aquíferos confinados ou artesianos. A pressão hídrica em um aquífero desse tipo é denominada pressão confinante ou artesianas.

Poço artesianas – poço tubular profundo que explora um aquífero confinado. A água desse tipo de aquífero, quando perfurada por um poço, eleva-se acima do limite superior do aquífero submetido à pressão artesianas, mas não necessariamente chega à superfície do terreno.

Poço jorrante – também denominado poço surgente. É aquele que explora um aquífero confinado. Nesse caso, o nível potenciométrico do aquífero explorado está acima do nível do terreno, e a água do aquífero, quando perfurada por um poço, eleva-se acima da superfície do terreno.

Efeitos de barreiras hidráulicas – influência sobre o fluxo da água subterrânea por causa das características da conexão hidráulica do aquífero, como, por exemplo, interações ou fronteiras hidráulicas com rios, lagos, unidades confinadas drenantes, entre outros. Os efeitos das barreiras hidráulicas podem aumentar ou diminuir o rebaixamento que ocorreria caso o aquífero tivesse uma superfície ilimitada, ou seja, caso não estivesse sujeito às barreiras.

Efeito da água armazenada dentro da coluna revestida do poço – desvio na curva de rebaixamento por tempo, prevista para um poço de monitoramento. O desvio é causado pelo bombeamento de água armazenada no espaço volumétrico delimitado pelo revestimento do poço. O resultado disso é a redução da pressão sobre o aquífero na fase inicial do bombeamento. Esse efeito costuma desaparecer durante os primeiros minutos do ensaio.

Cone de depressão – área formada imediatamente ao redor de um poço operante em um aquífero não confinado onde ocorre uma redução da espessura saturada do aquífero. À medida que o poço é bombeado, essa área se torna insaturada, fazendo com que o lençol freático afunde, adotando uma forma de cone (forma de funil). A forma de cone é determinada pela porosidade, pelo rendimento hídrico ou pelo nível de bombeamento do poço. A superfície do terreno sobre o cone de depressão é conhecida como área de influência.

terreno. La presión hídrica en un acuífero de este tipo es denominada presión artesianas; la formación que contiene agua artesianas es llamada acuífero artesianos o acuífero confinados.

Pozo artesianos – un pozo que explota un acuífero confinados. Al agua del pozo sube hasta el borde superior del acuífero bajo presión artesianas, pero no llega necesariamente a la superficie del terreno; un pozo artesianos fluyente es un pozo en el cual el nivel hídrico se encuentra por encima del nivel del terreno circundante.

Pozo surgente – un pozo que explota agua de la capa de un acuífero confinados.

Efectos de límites – influencia sobre el flujo de agua subterránea dentro de un acuífero, debida a características hidráulicas en conexión hidráulica con el acuífero, por ejemplo, ríos, lagos, unidades confinadas con pérdidas, etc. Los efectos de límites podrían aumentar o disminuir el volumen de abatimiento que ocurriría si el acuífero fuese de una superficie ilimitada.

Efecto de almacenaje de revestimiento de pozo – desvío respecto de la curva prevista de abatimiento-tiempo en un pozo de monitoreo causado por el bombeo de agua desde el almacenamiento hídrico en el revestimiento del pozo. El resultado de ello es la reducción de presión sobre el acuífero en la etapa temprana de la fase de bombeo. Este efecto se disipa habitualmente dentro de los primeros minutos del ensayo.

Cono de depresión – el área en derredor de un pozo en un acuífero no confinados que está normalmente saturado, pero que se transforma en no saturado a medida que un pozo es bombeado, dejando una zona en la que la napa freática se hunde hacia abajo adoptando una forma cónica (de embudo). La forma del cono es influida por la porosidad, el rendimiento hídrico o el nivel de bombeo del pozo. La superficie del terreno por sobre el cono de depresión es referida como área de influencia.

Capa de confinamiento – material geológico con muy escasa o ninguna permeabilidad o conductividad hidráulica. El agua no pasa a través de esta capa o bien su movimiento a través de ella es extremadamente lento.

Camada confinante – material geológico com escassa ou nenhuma permeabilidade ou condutividade hidráulica. A água não passa através dessa camada ou o faz em um movimento extremamente lento.

Rebaixamento – diminuição do nível da água provocada pelo bombeamento.

Poço totalmente penetrante – poço perfurado até a base de um aquífero e construído de tal forma que a zona filtrante se estende por toda a espessura do aquífero e capta a água existente ao longo de toda a camada.

Poço parcialmente penetrante – poço que não penetra totalmente no aquífero e só extrai água de uma parte da espessura total do aquífero. A seção filtrante do poço pode estar localizada apenas no topo, base ou em qualquer outra posição intermediária do aquífero.

Camada impermeável – camada de material de um aquífero, como, por exemplo, a argila – através da qual a água não pode passar.

Camada permeável – camada de material poroso em um aquífero (rocha, terra, sedimento não consolidado) através da qual a água passa livremente à medida que corre pelo solo.

Camada semiconfinante – camada de baixa permeabilidade (semipermeável) que permite a passagem de água em volume suficiente para proporcionar alguma recarga (drenança) de um aquífero subjacente explorado por um poço de bombeamento.

Poço de monitoramento (ou de observação) – um poço que não é de extração de água, geralmente de pequeno diâmetro, que é utilizado para medir a elevação do lençol freático ou a qualidade da água. Um piezômetro com seção filtrante, posicionada no topo e no fundo do revestimento, constitui um tipo de poço de observação.

Solos permeáveis – solos que permitem a passagem da água através deles, seja por sua própria configuração, seja por processos posteriores à sua formação.

Solos impermeáveis – solos que constituem barreiras para a passagem da água, impedindo a infiltração.

Nível piezométrico (ou da superfície potenciométrica) – a água subterrânea confinada está, geralmente, submetida à pressão por causa da

Abatimiento – una reducción en el nivel del agua subterránea provocado por su bombeo.

Pozo de penetración completa – un pozo perforado hasta el lecho de un acuífero y construido de tal manera que extrae agua desde todo el espesor del acuífero.

Pozo de penetración parcial – un pozo construido de forma tal que sólo extrae agua desde una fracción del espesor total del acuífero. La parte fraccional puede estar localizada en el tope, el fondo o bien en cualquier sitio intermedio en el acuífero.

Capa impermeable – una capa de material de un acuífero (tal como arcilla) a través de la cual el agua no puede pasar.

Capa permeable – capa de material poroso en un acuífero (roca, tierra, sedimento no consolidado) a través de la cual el agua pasa libremente a medida que corre por el suelo.

Capa de confinamiento con pérdidas – una capa de baja permeabilidad que puede dejar pasar agua en volúmenes suficientes como para proporcionar alguna recarga a un pozo de bombeo de un acuífero subyacente.

Pozo de monitoreo (de observación) – un pozo que no es de extracción de agua, generalmente de pequeño diámetro que es empleado para medir la elevación de la napa freática o la calidad del agua. Un piezómetros, abierto solamente en el tope y el fondo de su revestimiento, constituye uno de los tipos de pozos de monitoreo.

Suelos permeables – suelos que permiten el paso del agua a través de ellos ya sea por su propia configuración o por procesos posteriores a su constitución.

Suelos impermeables – este tipo de suelo constituye una barrera para el paso del agua, impidiendo la infiltración.

Nivel piezométrico (o de superficie) – el agua subterránea confinada está por lo general sometida a presión debido a la sobrecarga y a la corriente hidrostática. Si una perforación penetra la capa confinada, el agua se elevará hasta este nivel, el

sobrecarga e da corrente hidrostática. Quando uma perfuração alcança a camada confinada, a água eleva-se até o nível piezométrico. Se o nível piezométrico está acima do nível do terreno, a descarga ocorre naturalmente, formando um poço jorrante ou artesiano.

Espessura saturada – é a espessura total da camada de água de um aquífero.

Zona saturada – a porção do meio poroso sob a superfície da terra que está satura de água é chamada zona saturada. A superfície superior dessa zona, sujeita à pressão atmosférica, é conhecida como superfície hídrica ou lençol freático.

Lençol freático – nível abaixo da superfície do terreno, a partir do qual o meio se encontra saturado de água. O lençol freático se forma quando a pressão hidrostática se iguala à pressão atmosférica.

APÊNDICE D

PROPRIEDADES DO AQUÍFERO

Condutividade hidráulica (K) (m/dia)

A condutividade hidráulica ou coeficiente de permeabilidade é a medida da capacidade que um meio poroso tem de transmitir ou deixar passar água. Define-se como o volume de água que se move em uma unidade de tempo por meio de uma unidade perpendicular à direção de fluxo e sob um gradiente hidráulico unitário. A condutividade hidráulica pode ser expressa em comprimento por tempo, ou seja, unidade de velocidade. A condutividade hidráulica é controlada por tamanho e forma física dos poros, pela interconexão efetiva entre esses poros, pela distribuição, arranjo, forma e tamanho das partículas minerais, pelo grau de saturação do solo e pelas propriedades físicas do fluido que está escoando.

Espessura saturada de aquífero (b) (m)

A espessura saturada do aquífero pode ser determinada com base em informações publicadas sobre as perfurações, nos registros de poços e nos dados de campo. A espessura saturada do aquífero revela as dimensões de comprimento. Nas unidades confinadas, a espessura saturada corresponde à própria espessura do aquífero. Nas unidades não confinadas, a espessura saturada representa a distância vertical medida a partir

nivel piezométrico, el equivalente artesiano de la napa freática. Si el nivel piezométrico se encuentra por encima del nivel del terreno, el pozo efectúa su descarga como pozo surgente, pozo artesiano, o como un arroyo.

Espesor saturado – el grosor total de la napa de agua de un acuífero.

Zona de saturación – la porción bajo la superficie de la tierra que está saturada de agua es llamada zona de saturación. La superficie superior de esta zona, abierta a la presión atmosférica, es conocida como tabla hídrica o napa freática.

Napa freática – el nivel bajo la superficie del terreno que se satura de agua. La napa freática se produce cuando la presión hidrostática iguala la presión atmosférica.

APÉNDICE D

PROPIEDADES DEL ACUÍFERO

Conductividad hidráulica (K) (m/día)

Conductividad hidráulica, o “coeficiente de permeabilidad” es una medida de la capacidad de un medio poroso de transmitir o dejar pasar agua. Se define como el volumen de agua que se moverá en una unidad de tiempo bajo una unidad de gradiente hidráulica a través de una unidad de superficie medida en ángulo recto respecto de la dirección del flujo. Las dimensiones de la conductividad hidráulica son longitud por tiempo o por velocidad. La conductividad hidráulica es gobernada por el tamaño y forma física de los poros, la efectividad de la interconexión entre estos poros, la aspereza o desigualdad de las partículas minerales, el grado de saturación del suelo y las propiedades físicas del líquido.

Espesor saturado de acuífero (b) (m)

El espesor saturado del acuífero puede ser determinado sobre la base de referencias publicadas de perforaciones, de registros de pozos o de datos de campo. El espesor de saturación del acuífero ofrece las dimensiones de longitud. Para unidades confinadas, el espesor saturado corresponderá al grosor del acuífero en sí mismo. Para unidades no confinadas, el espesor de saturación representa la distancia vertical medida

do nível estático anual médio da água até a base do aquífero. Nas unidades multicamadas ou unidades interconectadas/interdigitadas, a espessura saturada de cada subunidade deve ser determinada separadamente.

Transmissividade (T) (m²/dia)

A transmissividade é definida como a quantidade de água que pode ser transmitida por meio de uma faixa vertical estendida por toda a espessura saturada do aquífero, com largura unitária submetida a um gradiente hidráulico unitário. A transmissividade é calculada por meio da relação matemática:

$$T = K * b$$

Onde:

T – transmissividade (m²/dia)

K – condutividade hidráulica (m/dia)

b – espessura saturada do aquífero (m)

Rendimento específico (Sy)

O rendimento específico é a relação percentual entre o volume de água que um aquífero não confinado fornecerá por gravidade e o seu volume unitário. À medida que o nível da água em um aquífero não confinado diminui, a água é drenada pelos espaços porosos. Os rendimentos específicos não podem ser determinados para aquíferos confinados, pois os materiais que os formam não são drenados durante o processo de bombeamento. Ou seja, o aquífero permanece saturado. O rendimento específico é calculado mediante a seguinte relação:

$$Sy = Vd/V$$

Onde:

Sy – rendimento específico

Vd – volume de água drenada por gravidade

V – volume unitário total

Rendimento certo

Volume hídrico anual que se pode extrair de uma fonte de abastecimento ao longo de um período determinado de anos sem esgotá-la, ou seja, sem que ela vá além de sua capacidade de ser recarregada naturalmente nos anos úmidos.

Armazenamento específico (Ss)

Armazenamento específico é definido como o volume de água armazenado ou liberado pela expansão da água ou pela compressão do solo ou leito rochoso. As unidades de medida do armazenamento específico são:

1/distância ou, m⁻¹.

a partir del nivel hídrico estático anual promedio hasta la base del acuífero. Para unidades multicapa o unidades interconectadas, el espesor saturado de cada subunidad deberá determinarse en forma separada.

Transmisividad (T) (m²/día)

La transmisividad es definida como el volumen de agua que puede ser transmitida a través de una franja vertical del acuífero de una unidad de ancho, extendiéndose por todo el grosor saturado del acuífero, bajo una unidad de gradiente hidráulica. La transmisividad es expresada por la relación matemática:

$$T = K * b$$

donde:

T - transmisividad (m²/día)

K – conductividad hídrica (m/día)

b – espesor saturado del acuífero (m)

Rendimiento específico (Sy)

El rendimiento específico se define como la relación porcentual del volumen de agua que un acuífero no confinado rendirá por gravedad con respecto al volumen unitario del acuífero no confinado. A medida que el nivel del agua en un acuífero no confinado disminuye, el agua es drenada de los espacios de los poros. Los rendimientos específicos no pueden ser determinados para acuíferos confinados debido a que los materiales del acuífero no son drenados durante el proceso de bombeo (es decir, el acuífero permanece saturado). El rendimiento específico es obtenido mediante la siguiente relación:

Sy = Volumen del agua que un acuífero no confinado rendirá por gravedad

Rendimiento asegurado

El volumen hídrico anual que puede extraerse de una fuente de abastecimiento a lo largo de un período determinado de años, sin agotar la fuente más allá de su capacidad de ser recargada naturalmente en los “años húmedos.”

Almacenamiento específico (Ss)

El almacenamiento específico es definido como el volumen de agua que es almacenado o liberado por la expansión del agua o por la compresión del suelo o lecho rocoso. Las dimensiones para el almacenamiento específico son:

1/longitud, ó m⁻¹.

Capacidade de armazenamento (S)

A capacidade de armazenamento ou parâmetro adimensional é definida como o volume de água que o aquífero liberará do armazenamento por unidade de área, por unidade de variação na pressão hidrostática. Em um aquífero não confinado, o nível de saturação sobe ou desce de acordo com a variação no volume de água armazenada pelo rendimento específico. A capacidade de armazenamento hídrico de um aquífero não confinado é calculada por meio da seguinte equação:

$$S = S_y + S_s \cdot b$$

Onde:

S – capacidade de armazenamento (adimensional)

S_y – rendimento específico (%)

S_s – armazenamento específico (m-1)

b – espessura saturada do aquífero (m)

Um aquífero confinado permanece saturado durante a operação de bombeamento e o rendimento específico é igual a zero. A capacidade de armazenamento de um aquífero confinado é calculada pela equação:

$$S = S_s \cdot b$$

Onde:

S – capacidade de armazenamento (adimensional)

S_s – armazenamento específico (m-1)

b – espessura saturada do aquífero (m)

Porosidade (n)

A porosidade é um parâmetro percentual que exprime a relação entre o volume de espaços vazios em uma camada de rocha ou sedimento e seu volume total. Esses vazios incluem todos os espaços porosos, preenchidos por fluido ou ar, incluindo aqueles que não possuem conectividade entre si em razão de sua descontinuidade. Os espaços vazios que estão conectados entre si e são capazes de conduzir fluidos são denominados de porosidade efetiva.

Capacidad de Almacenamiento (S)

La capacidad de almacenamiento, o coeficiente de dimensiones, es un coeficiente carente de dimensiones, definido como el volumen hídrico que una unidad permeable liberará del almacenamiento por unidad de área, por unidad de cambio en la presión de corriente. En una unidad no confinada, el nivel de saturación sube o baja según los cambios en el volumen de agua almacenada debido al rendimiento específico. La capacidad de almacenamiento hídrico para un acuífero no confinado es expresada por medio de la siguiente ecuación:

$$S = S_y + S_s \cdot b$$

donde:

S – capacidad de almacenamiento (sin dimensiones)

S_y – rendimiento específico (%)

S_s – almacenamiento específico (m-1)

b – espesor saturado del acuífero (m)

En un acuífero confinado, el mismo permanece saturado durante la operación de bombeo y el rendimiento específico es cero. La capacidad de almacenamiento de un acuífero confinado es dada por la ecuación:

$$S = S_s \cdot b$$

donde:

S – capacidad de almacenamiento (sin dimensiones)

S_s – almacenamiento específico (m-1)

b – espesor saturado del acuífero (m)

Porosidad (n)

La porosidad se define como la relación porcentual del volumen de espacios vacíos en una capa de roca o sedimento respecto del volumen total de roca o sedimento. Estos “vacíos” incluyen todos los espacios porosos llenos de líquido o de aire que no pueden conducir el flujo hídrico en razón de su discontinuidad. Los espacios vacíos que están conectados entre sí y capaces de conducir flujos hídricos son denominados porosidad efectiva.

APÊNDICE E

DESCRIÇÃO DETALHADA DO PROCESSO DE TESTE DE BOMBEAMENTO PARA O SISTEMA AQUÍFERO GUARANI

Atividades prévias ao teste

1. Completar a concepção do teste de bombeamento com base nas condições hidrológicas específicas do local. Obter os equipamentos para o teste de bombeamento, os manuais operacionais correspondentes e informações sobre eventuais modificações dos equipamentos necessários para realização do teste.
2. Obter, das autoridades locais, a autorização necessária de exploração ou execução de teste de bombeamento.
3. Confirmar com a equipe de campo se a instalação do poço está completa e se os equipamentos e pessoal necessários foram deslocados ao local do bombeamento. É importante lembrar que todos os poços novos devem ser adequadamente desenvolvidos antes de serem testados.
4. Verificar o funcionamento de todos os equipamentos.
5. Instalar um conjunto motobomba ou turbina submersível.
6. Instalar um hidrômetro na linha de descarga do poço de bombeamento para medir com precisão e monitorar o volume de descarga.
7. Instalar tubulação de descarga suficiente que permita transportar a água extraída durante o teste para longe do poço bombeado, impedindo a infiltração da água extraída na área de influência do teste.
8. Instalar uma válvula de gaveta ou registro e um regulador de pressão na tubulação de descarga para controlar os níveis de bombeamento.
9. Certifique-se de que todos os medidores, transdutores, fluxômetros e outros instrumentos utilizados nos testes de bombeamento estejam corretamente calibrados antes de começar o teste.
10. Zerar ou calibrar todos os instrumentos, documentando corretamente esses procedimentos.
11. Monitorar e registrar os níveis da água no local por pelo menos uma semana antes do teste, usando um dispositivo de registro automatizado (contínuo).

APÉNDICE E

DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROCESO DE PRUEBA DE BOMBEO PARA EL SISTEMA ACUÍFERO GUARANÍ

Actividades preoperativas

1. Completar el diseño del ensayo de bombeo sobre la base de las condiciones hidrológicas específicas del sitio. Obtener el equipamiento de pruebas de bombeo, los manuales operativos correspondientes y la eventual información sobre modificaciones de los equipos requeridos para conducir la prueba de bombeo.
2. Asegurarse de disponer de la autorización de descarga del agua. (puede requerirse un permiso por parte de las autoridades locales.)
3. Confirmar por parte del equipo de personal en el sitio en el sentido de que la instalación del pozo ha sido completada y que se han desplegado los equipos e instrumentos necesarios para llevar a cabo el bombeo. Todos los pozos nuevos deberán ser adecuadamente desarrollados antes de su ensayo.
4. Verificar el funcionamiento correcto de todos los equipos.
5. Instalar una bomba o turbina sumergible.
6. Instalar un medidor de flujo en la línea de descarga del pozo de bombeo a efectos de medir con precisión y monitorear en volumen de la descarga.
7. Instalar suficiente tubería para transportar la descarga del ensayo de bombeo fuera del área a fin de impedir infiltración del agua extraída de la zona de bombeo.
8. Instalar una válvula de compuerta junto con un regulador de presión en la tubería de descarga para controlar los niveles de bombeo.
9. Asegurarse que todos los medidores, transductores, flujómetros y otros instrumentos utilizados para realizar las pruebas de bombeo estén correctamente calibrados antes de su empleo.
10. Llevar a cabo cualquier ajuste a cero o calibración del instrumental, documentando correctamente estos procedimientos.
11. Monitorear y registrar niveles hídricos en el sitio de ensayo al menos durante una semana antes de realizar la prueba, usando un dispositivo de grabación continua.

*Operações de testes de bombeamento
e de recuperação*

1. Manter, depois de desligar a bomba, o monitoramento do nível da água durante a

*Operaciones de pruebas de bombeo
y de recuperación*

1. Mantener el monitoreo del nivel del agua

etapa de recuperação do poço bombeado e ou dos poços de observação.

2. Continuar verificando o nível da água durante um período de tempo igual à metade do período de bombeamento ou até que a água dos poços chegue aos níveis estáticos existentes antes do teste.
3. Ler e registrar, depois de desligar a bomba, os dados mostrados pelo medidor de fluxo na tubulação de entrada.
4. Finalizar o monitoramento quando for alcançada a recuperação total ou um valor aproximado tanto no poço bombeado quanto nos poços de observação.
5. Começar os procedimentos posteriores à operação.

Documentação

1. Armazenar, em discos rígidos, disquetes ou fitas, todos os dados produzidos pelos transdutores de pressão e registradores de dados utilizados para monitorar o teste de bombeamento.
2. Utilizar, durante o teste, computadores portáteis para visualizar os dados e verificar o correto funcionamento dos equipamentos.
3. Transferir a informação diretamente para um computador central em que será analisada.
4. Fazer medições e registros manuais com o objetivo de verificar os dados coletados pelos registradores eletrônicos de dados.
5. Registrar todos os dados coletados manualmente em um livro de registros.
6. Transferir os dados coletados para os formulários de Dados do Teste de Bombeamento e Recuperação.

Relatório do teste de bombeamento e apresentação dos resultados ao Consórcio Guaraní

Os relatórios sobre os testes de bombeamento de águas subterrâneas que são apresentados ao Consórcio Guaraní devem conter os seguintes elementos:

1. Introdução, com uma descrição geral do aquífero, da seleção dos poços e da metodologia de registro e arquivo dos testes.
2. Mapa em escala do local com informações sobre os controles de elevação do nível da água (ex.: cota da boca do revestimento), cota topográfica de todos os poços, réguas de medição e outros pontos de medição do nível da água, tubulação de descarga da bomba e destinação final da água do teste de bombeamento e localização

mientras se efectúa la recuperación en el pozo bajo ensayo y en el pozo o pozos de observación, luego de haber apagado la bomba.

2. Continuar verificando durante un período de tiempo igual a la mitad de la porción de bombeo de la prueba, o bien hasta que el agua en estos pozos se haya estabilizado en los valores estáticos previos al ensayo.
3. Leer y registrar el valor totalizador del medidor de flujo en la tubería de entrada posteriormente al apagado de la bomba.
4. Finalizar el monitoreo cuando se haya alcanzado la recuperación total o un valor aproximado, tanto en el pozo de ensayo como en el pozo o pozos de observación.
5. Comenzar los procedimientos posteriores a la operación.

Documentación

1. Almacenar todos los datos en disco rígido, en diskettes o en cinta cuando se empleen transductores de presión y registradores de datos para monitorear la prueba de bombeo.
2. Usar una computadora "laptop" en el campo a efectos de visualizar los datos y asegurar que los equipos funcionan adecuadamente.
3. Transferir la información directamente a la computadora principal para analizarla.
4. Tomar las medidas en forma anual y registrarlas en una libreta de campo a fin de verificar los datos tomados por el registrador electrónico de datos.
5. Volcar todos los datos recopilados manualmente en una libreta de campo.
6. Transferir apropiadamente los datos en el formulario correspondiente de Datos de Prueba de Bombeo y Recuperación.

Informe de prueba de bombeo y presentación de los resultados ante el S.A.G.

Los datos a presentar en apoyo de una prueba de bombeo de aguas subterráneas a someter ante el Consorcio Guaraní deberán comprender los siguientes elementos:

1. Introducción – descripción general del acuífero, selección de pozos y metodología de registro y archivo de ensayos
2. Plano a escala del sitio – mostrando controles de elevación del nivel del agua (p. ej.: tope superior del revestimiento) y grado de elevación para todos los pozos, varillas de medición y otros puntos de medición del agua, tubos de descarga

de corpos hídricos superficiais próximos. Também devem ser incluídos dados de latitude e a longitude (coordenada geográfica – gg0 mm' ss,s") ou coordenadas UTM do poço de bombeamento e dos diferentes poços de observação, além de informações sobre o modo de aquisição da coordenada e o grupo de dados utilizados para estabelecer suas localizações.

3. Diagramas de engenharia devem mostrar detalhes dos perfis construtivos, tais como: coluna de revestimento do poço, profundidade de instalação das seções filtrantes, altura do revestimento acima da superfície do terreno (boca do poço) etc. Também deve apresentar a profundidade dos poços de produção, bombeamento e observação, assim como seus perfis geológicos (sequências litológicas atravessadas).
4. Resultados, acompanhados de dados brutos do teste de bombeamento (de forma legível) contendo: datas de execução, hora real, tempo de operação em minutos, cota topográfica do ponto de referência para medição (boca do poço), nível estático da água, medições dos níveis dinâmicos e dos valores de rebaixamento. Esses dados devem ser registrados em uma planilha Excel ou Quattro Pro.
5. Interpretação do teste, com os gráficos, fórmulas e cálculos empregados para estimar a transmissividade, Coeficiente de Armazenamento e rendimento certo, bem como as interpretações que incluam fundamentos, metodologia, perfis geológicos da área, referências e arquivos do *software* utilizado nos testes de bombeamento.

Toda a documentação apresentada deve ser perfeitamente legível. Os gráficos, as figuras e os mapas devem utilizar sombreamento, padrões de sombreamento e hachurado, simbologias, entre outros elementos que permitam sua leitura caso sejam reproduzidos em preto e branco.

de la bomba de prueba y punto de la descarga, ubicación los cuerpos hídricos superficiales adyacentes. Incluir latitud y longitud (en grados, minutos, segundos y décimas de segundo) o UTM para el pozo de bombeo y cualquier pozo o pozos de observación que permanecerán en el campo (especificar el método y los datos a emplear para localizar los pozos).

3. *Diagramas ingenieriles – mostrando detalles constructivos (p.ej.: revestimiento del pozo, disposición de rejilla/filtro y elevación de boca de pozo, etc.), profundidad de pozo de bombeo y pozo/ pozos de observación, así como registros geológicos del pozo de bombeo y pozos de observación.*
4. *Resultados – Datos crudos de la prueba de bombeo (legibles) con: fecha, hora real, tiempo transcurrido (en minutos), punto de medición (tope del revestimiento) elevación, nivel estático del agua, mediciones de nivel hídrico, y abatimiento calculado [podrá presentarse una hoja de cálculo "Excel" o "Quattro Pro" dotada de estos datos];*
5. *Interpretación de la prueba – Gráficos, fórmulas y cálculos utilizados para estimar la transmisividad, coeficiente de almacenamiento y rendimiento asegurado; interpretaciones incluyendo fundamentos, metodología, cortes geológicos del área, referencias y archivos de software de ensayos de bombeo.*

Toda la documentación a presentar debe ser fácilmente legible. Los planos y mapas deberán utilizar sombreado, patrones de rayado/ sombreado, símbolos, etc., de manera tal que las características sean fácilmente distinguibles y sigan siendo legibles al ser fotocopias en blanco y negro.

APÊNDICE F

EXEMPLO DE INTERPRETAÇÃO DE UM ENSAIO DE BOMBEAMENTO POR MEIO DO MÉTODO TRADICIONAL DE SUPERPOSIÇÃO DE CURVAS

(aquífero semiconfinado,
regime transitório)

Introdução

Realizamos um teste de bombeamento em um aquífero semiconfinado para medir seus parâmetros hidráulicos. Supomos que o meio físico se ajusta ao modelo teórico apresentado na figura abaixo. O aquífero sofre uma recarga por drenança através do aquitardo. Desconsidera-se a água armazenada no aquitardo. Este somente transmite a água procedente do aquífero livre, que supostamente mantém seu nível constante.

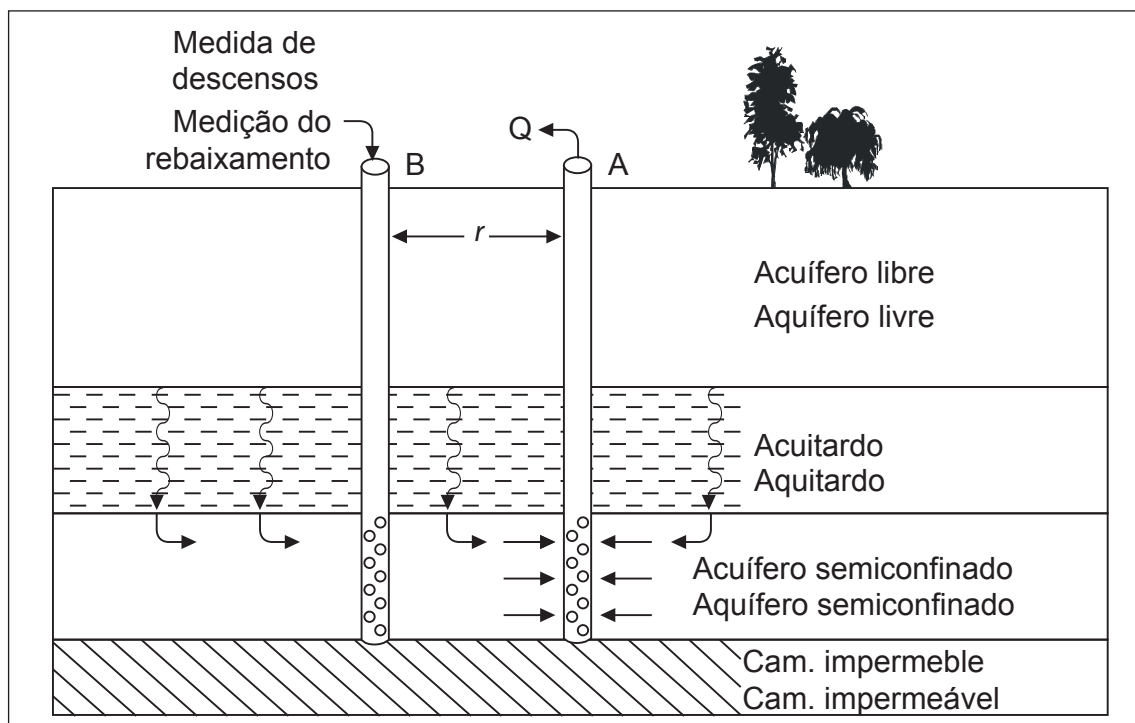
APÉNDICE F

EJEMPLO DE INTERPRETACIÓN DE UN BOMBEO DE ENSAYO POR EL MÉTODO TRADICIONAL DE SUPERPOSICIÓN DE CURVAS

(Acuífero semiconfinado,
régimen variable)

Introducción

Realizamos un bombeo de ensayo en un acuífero semiconfinado para medir sus parámetros hidráulicos. Suponemos que el medio físico se ajusta al modelo teórico que se esquematiza en la figura: El acuífero recibe líquido a través de un acuitardo; no se considera el agua almacenada en el acuitardo, solamente transmite el agua procedente de otro acuífero superior (en la figura a continuación: "Acuífero libre"), que se supone que mantiene su nivel constante.



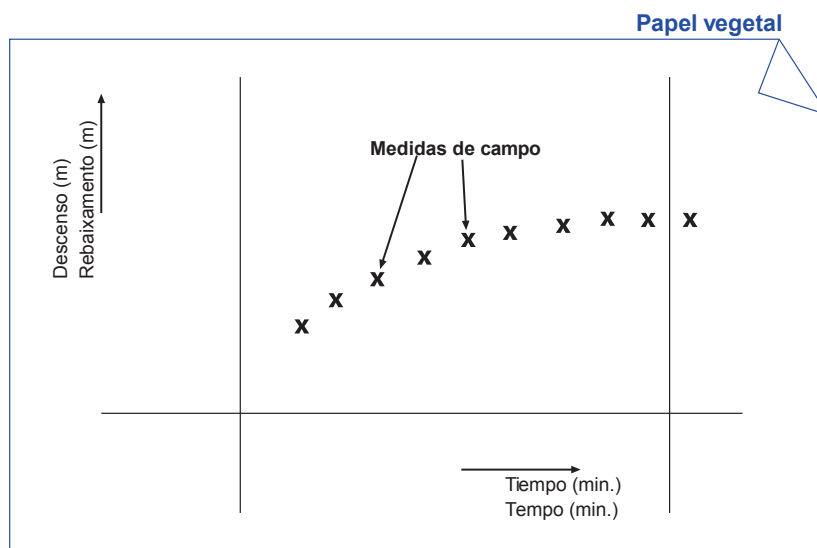
Precisamos abrir dois poços no mesmo aquífero. Em um (A), bombearemos a uma vazão constante. Em outro (B), mediremos os rebaixamentos em intervalos de tempo sucessivos.

Necesitamos dos sondeos abiertos en el mismo acuífero. En uno (A) bombearemos un caudal constante, en el otro (B) mediremos los descensos para tiempos sucesivos.

1. Representamos os dados de rebaixamento *versus* tempo em papel bilogarítmico. O tempo, em minutos, no eixo horizontal e o rebaixamento, em metros, no eixo vertical.
2. Imprimimos esses dados em um papel vegetal, onde também desenhemos linhas verticais e horizontais, como no exemplo.

- *Caudal constante de bombeo: 3 litros/seg.*
- *Distancia (r) entre el sondeo de bombeo (A) y el sondeo de observación (B): 18 mts.*
- *Medidas de descensos (en metros) para diversos tiempos (minutos)*
- *Espesor del acuitardo = 7 metros*

1. Representamos los datos de descensos - tiempos en un papel doble logarítmico: tiempos (en minutos) en el eje horizontal, descensos, (en metros) en el eje vertical.
2. Calcamos esos datos sobre un papel vegetal, marcando también alguna línea vertical y horizontal (ver ejemplo a continuación).

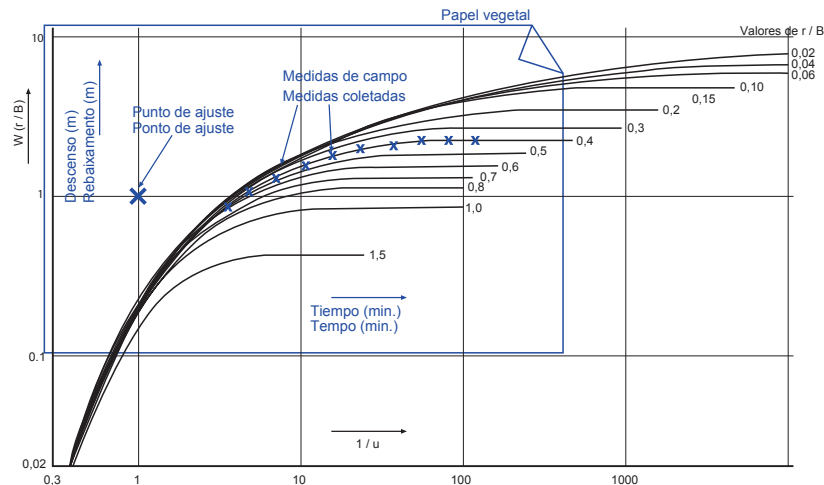


3. Colocamos o papel vegetal sobre o gráfico-padrão, buscando a coincidência da curva dos dados de campo com uma das linhas do gráfico-padrão (ver figura a seguir). Podemos deslocar livremente o papel vegetal sobre o gráfico-padrão, mas não podemos girá-lo. As linhas verticais e horizontais que desenhamos no papel vegetal nos ajudam a evitar sua rotação.

3. *Superponemos el papel vegetal sobre el gráfico patrón, buscando la coincidencia de las medidas de campo sobre una de las líneas del gráfico patrón (ver figura a continuación). Podemos desplazar libremente el papel vegetal sobre el gráfico patrón, pero sin rotarlo, para ello nos sirven de referencia las líneas verticales y horizontales que habíamos trazado sobre el vegetal. Para la*

Para a sobreposição, podemos escolher qualquer curva já traçada no gráfico- padrão ou podemos imaginar uma curva. Por exemplo, a 0,25, entre a 0,2 e a 0,3.

superposición podemos elegir cualquiera de las curvas, o incluso intuir alguna curva no dibujada, por ejemplo, la 0,25 si situamos nuestros puntos de campo entre la 0,2.



4. Depois de conseguir a sobreposição, marcamos no papel vegetal um ponto de superposição, escolhido de acordo com as coordenadas oferecidas pelo gráfico-padrão. No exemplo, escolhemos o Ponto de Superposição nas coordenadas: $W(u,r/B)=1$, $1/u=1$, mas poderíamos ter escolhido qualquer outro (um ponto qualquer do plano, não da curva). Anotamos no papel vegetal essas coordenadas e o valor da curva r/B escolhida para a sobreposição. No exemplo acima, escolhemos a $r/B = 0,4$.
5. Voltamos a colocar o papel vegetal sobre o papel logaritmico no qual tínhamos inicialmente plotado os dados de campo, na mesma posição em que tínhamos desenhado esses pontos. Lemos as coordenadas do Ponto de Superposição no gráfico de campo.

Suponhamos que obtemos o seguinte:

tempo = 4,1 min.

rebaixamento = 2,3 m

O Ponto de Superposição tem dois tipos de coordenadas:

no gráfico da curva dos dados de campo: tempo versus rebaixamento;

no gráfico-padrão: $1/u$ versus $W(u,r/B)$.

6. Utilizamos a ordenada do ponto de superposição nos dois gráficos. No

4. Conseguida la superposición, marcamos en el vegetal un Punto de ajuste, calcando un punto cualquiera del gráfico patrón: Como punto de ajuste, hemos elegido el punto de coordenadas: $W(u,r/B)=1$ $1/u=1$, pero valdría cualquier otro (un punto cualquiera del plano, no un punto de la curva). Anotamos en el vegetal esas coordenadas y el valor de la curva r/B sobre la que hemos superpuesto, en el ejemplo del dibujo, $r/B = 0,4$
5. Volvemos a superponer el papel vegetal sobre el papel logarítmico en el que habíamos dibujado inicialmente los datos de campo, en la misma posición que cuando calcamos estos puntos. Leemos las coordenadas del Punto de ajuste en el gráfico de campo.

Supongamos que obtenemos:

tiempo = 4,1 minutos

descenso = 2,3 metros

El Punto de ajuste tiene dobles coordenadas:

en el gráfico de campo: tiempo - descenso

en el gráfico patrón: $1/u$, $W(u,r/B)$.

6. Cálculo de la Transmisividad. Utilizamos la ordenada del punto de ajuste en ambos gráficos, es decir: en el gráfico patrón,

gráfico-padrão, a ordenada $W(u,r/B)$. No gráfico da curva dos dados de campo, a ordenada (rebaixamento) = 2,3 m.

Substituímos esses dois valores na equação:

$$S = \frac{Q}{4\pi T} W(u, r/B) \quad 2,3 = \frac{3,86,4}{4\pi T} 1$$

Isolamos T: $T = 9,0 \text{ m}^2/\text{dia}$

Neste exemplo, a vazão é de três litros por segundo ($Q = 3 \text{ L/s}$). Multiplicamos por 86,4 e convertemos essa medida a metros cúbicos por dia (m^3/dia).

7. Cálculo do Coeficiente de Armazenamento. Agora utilizamos a abscissa do Ponto de Superposição nos dois gráficos: $1/u=1$, e tempo = 4,1 min.

Substituímos esses dois valores na equação geral da variável u:

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} ; 1 = \frac{18^2 S}{4 \cdot 9,0 \cdot 4,1 / 1440}$$

Isolamos S: $S = 0,00032 = 3,2 \cdot 10^{-4}$

Dividimos por 1440 para converter minutos a dias. Atenção para não se confundir. No gráfico-padrão aparece $1/u$, enquanto nessa fórmula aparece u. Neste exemplo, casualmente coincidem, porque tínhamos estabelecido o Ponto de Superposição em $1/u = 1$. Neste caso singular, o inverso de um é um.

8. Para calcular a condutividade do aquífero, utilizamos o valor da curva identificada por meio da superposição. No exemplo, foi identificada a curva $r/B=0,4$. Como $r=18$ metros m (distância entre os poços), isolamos B: $B=r/0,4$; $B=45$. Finalmente, na equação B (fator de drenança), isolamos K' :

$$B = \sqrt{\frac{Tb'}{K'}} \quad 45 = \sqrt{\frac{9,0 \cdot 7}{K'}}$$

Isolamos K' : $K' = 0,031 \text{ m}/\text{dia}$

Devemos recordar que, nesse exemplo, o aquífero tinha uma espessura de 7 metros ($b' = 7 \text{ m}$).

$W(u,r/B)=1$, y la ordenada en el gráfico de campo: descenso= 2,3 metros.

Substituímos esta pareja de valores en la ecuación:

$$S = \frac{Q}{4\pi T} W(u, r/B) \quad 2,3 = \frac{3,86,4}{4\pi T} 1$$

Despejamos T: $T = 9,0 \text{ m}^2/\text{dia}$

En los datos de este ejemplo $Q = 3$ litros/seg. multiplicamos por 86,4 para pasar a m^3/dia .

7. Cálculo del Coeficiente de Almacenamiento. Ahora utilizamos la abscisa del punto de ajuste en ambos gráficos: $1/u=1$, y tiempo = 4,1 minutos.

Substituímos esta pareja de valores en la expresión general de la variable u:

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} ; 1 = \frac{18^2 S}{4 \cdot 9,0 \cdot 4,1 / 1440}$$

Despejamos S: $S = 0,00032 = 3,2 \cdot 10^{-4}$

Dividimos por 1440 para convertir minutos en días. Atención, no confundirse: En el gráfico patrón leemos $1/u$ mientras que en esta fórmula se utiliza u. En este ejemplo, casualmente coinciden porque habíamos leído para el punto de ajuste $1/u=1$ y para este valor singular el inverso de 1 es 1.

8. Cálculo de la conductividad hidráulica del acuífero. Para esto hemos de utilizar el valor de la curva sobre la que hemos logrado la superposición. En el ejemplo de la figura, hemos superpuesto sobre $r/B = 0,4$ Como $r=18$ metros (distancia entre sondeos), despejamos: $B=r/0,4$; $B=45$ Finalmente, en la expresión de B ("factor de goteo"), despejamos K' :

$$B = \sqrt{\frac{Tb'}{K'}} \quad 45 = \sqrt{\frac{9,0 \cdot 7}{K'}}$$

Despejamos K' : $K' = 0,031 \text{ metros}/\text{dia}$

Recordemos que en los datos del ejemplo, el acuífero semiconfinado tenía un espesor de 7 metros.

