

COMITÉ INTERGOVERNAMENTAL COORDENADOR DOS PAÍSES DA BACIA DO PRATA
COMITÉ INTERGUBERNAMENTAL COORDINADOR DE LOS PAÍSES DE LA CUENCA DEL PLATA



ARGENTINA



BOLIVIA



BRASIL



PARAGUAY



URUGUAY

PROGRAMA MARCO PARA A GESTÃO SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA DO PRATA,
CONSIDERANDO OS EFEITOS HIDROLÓGICOS DECORRENTES DA VARIABILIDADE E MUDANÇA DOS CLIMA
*PROGRAMA MARCO PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA DEL PLATA
EN RELACIÓN A LOS EFECTOS HIDROLÓGICOS DE LA VARIABILIDAD Y EL CAMBIO CLIMÁTICO*

Diagnóstico e Cartografia das Águas Subterrâneas da Bacia do Prata

*Diagnóstico y Cartografía de las Aguas
Subterráneas de la Cuenca de la Plata*

Organização / Organización:

João Alberto Oliveira Diniz
Adson Brito Monteiro
Alberto Manganelli
Andrea Segura Franzini
Thiago Luiz Feijó de Paula

**Dezembro 2015
Diciembre 2015**

COMITÉ INTERGOVERNAMENTAL COORDENADOR DOS PAÍSES DA BACIA DO PRATA
COMITÉ INTERGUBERNAMENTAL COORDINADOR DE LOS PAÍSES DE LA CUENCA DEL PLATA



ARGENTINA



BOLIVIA



BRASIL



PARAGUAY



URUGUAY

MAPA HIDROGEOLÓGICO DA BACIA DO PRATA

MAPA HIDROGEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL PLATA

NOTA EXPLICATIVA

NOTA EXPLICATIVA



Ministério de
Minas e Energia
Secretaria de
Geologia, Mineração e
Transformação Mineral



Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de Asunción



Dezembro 2015
Diciembre 2015

COMITÉ INTERGOVERNAMENTAL COORDENADOR DOS PAÍSES DA BACIA DO PRATA
COMITÉ INTERGUBERNAMENTAL COORDINADOR DE LOS PAÍSES DE LA CUENCA DEL PLATA



ARGENTINA



BOLIVIA



BRASIL



PARAGUAY



URUGUAY

CONSELHO DIRETOR / CONSEJO DIRECTOR

Monica R. Troadelo
Embajador

Juan C. A. Tejada
Embajador

João L.P. Pinto
Ministro

Luís F. Avalos
Embajador

Juan A. Remedi
Ministro

COORDENAÇÃO DO PROJETO / COORDINACIÓN DEL PROYECTO

José Luis Genta
Director del Proyecto

Silvia Rafaelli
Coord. Técnico Internacional

Elena Banítez
Coord. Técnico Adjunta

Ignacio Masson
Asist. Gestión de Proyectos

Julia Lacal
Asist. Multilingue

Valeria R. Brondo
Asist. Participación Pública

Fabián Riveros
Esp. Informático/Webmaster

Lourdes Martins
Secretária

Eduardo Roude
Asist. Técnico de Apoyo a los Proyectos Piloto Demostrativos

COORDENADORES NACIONAIS / COORDINADORES NACIONALES

Miguel Giraut
Argentina

Rogel S. Mattos Ruedas
Bolivia

Julio T. S. Kettelhut
Brasil

Silvia Spinzi
Paraguay

Silvana Alcoz
Uruguay

COORDENADORES TEMÁTICOS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS / COORDINADORES TEMATICOS AGUAS SUBTERRÂNEAS

Lida Borello
Argentina

Jorge Bellot
Bolivia

Gerôncio Rocha
Brasil

Daniel Garcia Segredo
Paraguay

Lourdes Batista
Uruguay

EQUIPE DE TRABALHO / EQUIPO DE TRABAJO

Lida Borello
Liliana Gambandé
Mari Laura Lamarca

Fidel Vediah
Jorge Bellot
Paola Mancila

Adson Brito Monteiro
Andrea Segura Franzini
João Alberto O. Diniz
José L. F. Machado
Oderson A. de S. Filho
Roberto E. Kirchhein
Robson Carlo da Silva
Thiago L. F. de Paula

Andrés W. Martinez
Daniel Garcia Segredo
Federico F. Villagra
Nestor Cabral

Alberto Manganelli
Javier Techera
Ximena Lacues

INSTITUIÇÕES RESPONSÁVEIS PELA ELABORAÇÃO / INSTITUCIONES RESPONSABLES EN LA ELABORACIÓN

**SEGEMAR – SERVICIO
GEOLÓGICO MINERO
ARGENTINO**

**SUBSECRETARIA DE
RECURSOS HÍDRICOS**

Falta

**MMAyA - MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE
Y AGUA**

Falta

**MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA**

Carlos Eduardo de S. Braga
Ministro de Estado

**CPRM/SGB – SERVIÇO
GEOLÓGICO DO
BRASIL**

Manoel Baretto R. Neto
Diretor-Presidente

Stênio Petrovich. Pereira
Diretor de Hidrologia e
Gestão Territorial

Roberto V. dos Santos
Diretor de Geologia e
Recursos Minerais

Antônio C. B. Nunes Diretor
de Relações Institucionais e
Desenvolvimento

Eduardo Santa Helena
Diretor de Administração e
Finanças

**TEKOHA RESAI -
SAMBYHYHA**

**SECRETARIA DEL
AMBIENTE**

**FACULTAD DE
INGENIERÍA -
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
ASUNCIÓN**

Falta

**MVOTA - MINISTERIO
DE VIVIENDA
ORDENAMIENTO
TERRITORIAL Y MEDIO
AMBIENTE**

Arq. Eneida De León
Ministra

**DINAGUA - DIRECCIÓN
NACIONAL DE AGUAS**

Ing. Daniel Greif
Director Nacional de Aguas

**MIEN - MINISTERIO DE
INDUSTRIA, ENERGIA E
MINERÍA**

Ing. Carolina Greif
Ministra

**DINAMIGE – DIRECCIÓN
NACIONAL DE MINERA E
GEOLOGIA**

Dra. Leda Sánchez
Directora Nacional de Minería
e Geología

SUMÁRIO

1.	Introdução	02
1.1.	O Programa Marco	02
1.2.	Histórico das Atividades do Subcomponente	03
2.	A Bacia do Prata	04
3.	Características Físicas	05
4.	Elaboração do Mapa de Águas Subterrâneas	09
5.	Aquíferos Transfronteiriços	10
5.1.	Sistema Aquífero Yrendá/Toba/Tarijeño (SAYTT)	10
5.2.	Sistema Aquífero Pantanal	16
5.3.	Sistema Aquífero Água Doce	18
5.4.	Sistema Aquífero Bauru/Caiuá/Acaray	19
5.5.	Sistema Aquífero Aquidauana/Aquidabán	20
5.6.	Sistema Aquífero Serra Geral (SASG)	21
5.7.	Sistema Aquífero Guaraní (SAG)	21
5.8.	Sistema Aquífero Permo-Carbonífero	22
6.	Principais Aquíferos Segundo as Bacias Hidrográficas	22
7.	Uso Atual das Águas Subterrâneas na Bacia do Prata	25
8.	Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos à Poluição	31
9.	Referências Bibliográficas	34

SUMARIO

1.	Introducción	02
1.1.	El Programa Marco	02
1.2.	Actividades del Subcomponente	03
2.	La Cuenca del Plata	04
3.	Características Físicas	05
4.	Elaboración del Mapa de Aguas Subterráneas	09
5.	Acuíferos Transfronterizos	10
5.1.	Sistema Acuífero Yrendá/Toba/Tarijeño (SAYTT)	10
5.2.	Sistema Acuífero Pantanal	16
5.3.	Sistema Acuífero Agua Dulce	18
5.4.	Sistema Acuífero Baurú/Caiuá/Acaray	19
5.5.	Sistema Acuífero Aquidauana/Aquidabán	20
5.6.	Sistema Acuífero Serra General (SASG)	21
5.7.	Sistema Acuífero Guaraní (SAG)	21
5.8.	Sistema Acuífero Permo-Carbonífero	22
6.	Principales Acuíferos por Cuencas Hidrográficas	22
7.	Uso Actual de las Aguas Subterráneas en la Cuenca del Plata	25
8.	Vulnerabilidad Natural de los Acuíferos a la Contaminación	31
9.	Referencias Bibliográficas	34

1. INTRODUÇÃO

1.1. O Programa Marco

Durante o IV Diálogo Interamericano de Gestão de Águas (Foz do Iguaçu, Brasil, 2001) se consolidou a necessidade da elaboração de um programa para avançar na gestão integrada dos recursos hídricos em relação ao clima, na Bacia do Prata. A partir desta iniciativa e no âmbito do CIC Bacia do Prata, iniciou-se a elaboração do *Programa Marco para a Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos da Bacia do Prata, considerando os efeitos hidrológicos decorrentes da variabilidade e mudança do clima*, com financiamento do GEF e apoio técnico e administrativo da OEA, através do PNUMA como sua agência de implantação.

O objetivo geral do projeto é fortalecer a cooperação transfronteiriça entre os governos da Argentina, Bolívia, Brasil, Paraguai e Uruguai para garantir a gestão dos recursos hídricos compartilhados da Bacia de maneira integrada e sustentável no contexto da variabilidade e mudança do clima, e gerar oportunidades para o desenvolvimento.

A estrutura do Programa Marco de Ações Estratégicas - PMAE inclui quatro componentes com ações estratégicas associadas:

- I. Fortalecimento da Capacidade de Cooperação para a Gestão Integrada dos Recursos Hídricos, com ênfase em aspectos hidroclimáticos;
- II. Gestão Integrada dos Recursos Hídricos;
- III. Modelos Hidroclimáticos e Cenários para a Adaptação;
- IV. Formulação da Análise Diagnóstica Transfronteiriça – ADT e do Programa de Ações Estratégicas-PAE

Para sua realização, cada um desses componentes compreenderam várias atividades, divididas na forma de subcomponentes, de acordo com a estrutura mostrada no quadro 01.

Este relatório trata das atividades componentes do item II.3 – Gestão Integrada das Águas Subterrâneas.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. El Programa Marco

Durante el IV Diálogo Interamericano de Gestión de Aguas (Foz de Iguazú, Brasil, 2001) se consolidó la necesidad de la elaboración de un programa para avanzar en la gestión integrada de los recursos hídricos en relación al clima, en la Cuenca del Plata. A partir de esta iniciativa y en el ámbito del CIC Cuenca del Plata, se inició la elaboración del *Programa Marco para la Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Plata, en relación con los efectos considerando los efectos de la variabilidad y el cambio climático*, con financiamiento del GEF y apoyo técnico y administrativo de la OEA, a través del PNUMA como su agencia de implementación.

El objetivo general del proyecto es fortalecer la cooperación transfronteriza entre los gobiernos de Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay y Uruguay para garantizar la gestión de los recursos hídricos compartidos de la Cuenca de manera integrada y sustentable en el contexto de la variabilidad y cambio del clima, y generar oportunidades para el desarrollo.

La estructura del Programa Marco de Acciones Estratégicas - PMAE incluye cuatro componentes con acciones estratégicas asociadas:

- I. Fortalecimiento de la Capacidad de Cooperación para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, con énfasis en aspectos hidroclimáticos;
- II. Gestión Integrada de los Recursos Hídricos;
- III. Modelos Hidroclimáticos y Escenarios para la Adaptación;
- IV. Formulación del Análisis Diagnóstico Transfronterizo - ADT y del Programa de Acciones Estratégicas - PAE

Para su realización, cada uno de esos componentes abarcó varias actividades, divididas en la forma de subcomponentes, de acuerdo con la estructura mostrada en el cuadro 01.

Esta memoria trata de las actividades que componen el ítem I.3 – Gestión Integrada de las Aguas Subterráneas.

1.2. Atividades do Subcomponente

A primeira reunião do grupo de trabalho de Gestão Integrada das Águas Subterrâneas da Bacia foi realizada entre os dias 21 e 28 de novembro de 2012 no escritório do Rio de Janeiro do Serviço Geológico do Brasil. Nesta ocasião foram debatidos aspectos relacionados ao uso e exploração dos aquíferos transfronteiriços da área, e discutidas as melhores formas de sua cartografia e representação.

Foi apresentado pelo SGB um cadastro sobre os poços existentes na Bacia, em sua porção brasileira, e proposta uma metodologia para confecção do mapa hidrogeológico de toda área de ocorrência da Bacia. Uma vez aceita a proposta metodológica, foi definida a elaboração do mapa hidrogeológico de uma folha protótipo que abrangesse vários países, sendo escolhida a folha SH-21, chamada no Brasil de Uruguiana, Concórdia na Argentina e Arapey no Uruguai. Esta missão ficou sob a responsabilidade do Serviço Geológico do Brasil, que apresentou a primeira versão do produto em reunião realizada em Montevideu – Uruguai, entre os dias 06 e 07 de maio de 2013, e posteriormente em Buenos Aires, entre 30/09 e 01/10 do mesmo ano, quando ficou definitivamente estabelecida a metodologia proposta.

Em seguida a isto, foram realizadas reuniões multinacionais para o treinamento das equipes dos outros países na aplicação desta metodologia, todas no Brasil, duas das quais nas Superintendências do SGB de Recife (09 a 13 de setembro de 2013) e São Paulo, entre os dias 11 a 14 de novembro do mesmo ano. Uma terceira reunião, destinada à confecção de cartogramas temáticos de apoio ao mapa principal foi realizada na Universidade Estadual Paulista – UNESP, Campus de Rio Claro, entre os dias 02 e 06 de junho de 2014.

Outras reuniões de trabalho, tratando sobre aspectos mais abrangentes da Bacia e do Programa Marco foram realizadas nas cidades de Foz do Iguaçu – Brasil (19 a 20/02/2014) e Resistência – Argentina, entre os dias 12 a 16 de maio de 2014.

Finalmente, entre 09 e 11 de setembro de 2014 foi realizada na Superintendência de Porto Alegre do Serviço Geológico do Brasil, reunião para

1.2. Actividades del Subcomponente

La primera reunión del grupo de trabajo de Gestión Integrada de las Aguas Subterráneas de la Cuenca fue realizada entre los días 21 y 28 de noviembre de 2012 en la reunión de Rio de Janeiro en el Servicio Geológico del Brasil. En esta ocasión fueron debatidos aspectos relacionados al uso y explotación de los Acuíferos transfronterizos del área, y discutidas las mejores formas de su cartografía y representación.

Fue presentado por SGB un catastro sobre los pozos existentes en la Cuenca, en su porción brasilera, y propuesta una metodología para confección del mapa hidrogeológico de toda el área de ocurrencia de la Cuenca. Una vez aceita la propuesta metodológica, fue definida la elaboración del mapa hidrogeológico de una hoja prototipo que abarcase varios países, siendo escogida la hoja SH-21, llamada en el Brasil Uruguayana, Concordia en la Argentina y Arapey en el Uruguay. Esta misión quedó bajo la responsabilidad del Servicio Geológico del Brasil, que presentó la primera versión del producto en reunión realizada en Montevideo – Uruguay, entre los días 06 y 07 de mayo de 2013, y posteriormente en Buenos Aires, entre 30/09 y 01/10 del mismo año, cuando quedó definitivamente establecida la metodología propuesta.

En seguida a esto, fueron realizadas reuniones multinacionales para el entrenamiento de los equipos de los otros países en la aplicación de esta metodología, todas en el Brasil, dos de las cuales fueron en las Superintendencias del SGB de Recife (09 a 13 de setiembre de 2013) y San Pablo, entre los días 11 a 14 de noviembre del mismo año. Una tercera reunión, destinada a la confección de cartogramas temáticos de apoyo al mapa principal fue realizada en la Universidad Estadual Paulista – UNESP, Campus de Rio Claro, entre los días 02 y 06 de junio de 2014.

Otras reuniones de trabajo, tratando sobre aspectos más abarcativos de la Cuenca y del Programa Marco fueron realizados en las ciudades de Foz de Iguazú – Brasil (19 a 20/02/2014) y Resistencia – Argentina, entre los días 12 a 16 de mayo de 2014.

Finalmente, entre el 09 y 11 de setiembre de 2014 fue realizada en la Superintendencia de Porto Alegre del Servicio Geológico del Brasil, una

apresentação da versão final do “Diagnóstico e Cartografia das Águas Subterrâneas da Bacia do Prata”, de que trata o presente relatório, bem como avaliação dos andamento dos trabalhos do Subcomponente II.7.3 PPD Bacia Representativa do Cuareim-Quarai – Aguas Subterrâneas.

2. A BACIA DO RIO DA PRATA

A bacia do rio da Prata localiza-se no cone sul das Américas, englobando áreas de cinco países: Argentina, Bolívia, Brasil, Paraguai e Uruguai, conforme pode ser visto na figura 01.

É formada pelas bacias dos rios Paraná, Paraguai, Uruguai e Prata, sendo o Paraná o principal deles, tornando-se rio da Prata quando se junta ao rio Uruguai próximo da foz, no Oceano Atlântico.

As suas principais sub-bacias obedecem à divisão proposta por Tucci, 2004 (figura 02), sintetizando os aspectos relevantes em cada um dos trechos das três principais sub-bacias: Paraguai, Uruguai e Paraná, além da região do rio da Prata junto ao oceano, subdividindo-se da seguinte forma:

(a) Paraguai - Alto Paraguai: dentro do Brasil até a o rio Apa; Médio: trecho no Paraguai; Baixo: Paraguai e Argentina;

(b) Paraná - Alto Paraná: dentro do Brasil; Médio: Paraguai e Argentina; Baixo: somente na Argentina;

(c) Uruguai – Alto Uruguai: no Brasil; Baixo: Uruguai e Argentina;

(d) Prata: - depois da confluência com o Uruguai.

É a segunda bacia da América do Sul em área, depois da bacia Amazônica, com 3,1 milhões de km² e a quinta do mundo. Possui importância fundamental para a economia dos países da região, pois 70% do PIB dos cinco países são gerados na bacia, onde se localizam aproximadamente 50% da população dos mesmos.

Na Bacia se situam quatro capitais dos países que a compõem: Buenos Aires, Montevideu, Assunção e Brasília, além de alguns dos mais importantes

reunión para presentación de la versión final del “Diagnóstico y Cartografía de las Aguas Subterrâneas de la Cuenca del Plata”, de que trata el presente informe, así como la evaluación del avance de los trabajos del Subcomponente II.7.3 PPD Cuenca Representativa del Cuareim-Quarai – Aguas Subterrâneas.

2. LA CUENCA DEL PLATA

La Cuenca del rio de la Plata se localiza en el cono sur de las Américas, englobando áreas de cinco países: Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay y Uruguay, como puede ser visto en la figura 01.

Está formada por las Cuencas de los ríos Paraná, Paraguay, Uruguay y Plata, siendo el Paraná el principal de ellos, formando el Río de la Plata cuando se junta al rio Uruguay en la desembocadura de ambos.

Sus principales sub-Cuencas corresponden a la división propuesta por Tucci, 2004 (figura 02), sintetizando los aspectos relevantes en cada uno de los trechos de las tres principales sub-Cuencas: Paraguay, Uruguay y Paraná, además de la región del rio de la Plata junto al océano, subdividiéndose de la siguiente forma:

(a) Paraguay - Alto Paraguay: dentro del Brasil hasta el rio Apa; Medio: trecho en el Paraguay; Bajo: Paraguay y Argentina;

(b) Paraná - Alto Paraná: dentro del Brasil; Medio: Paraguay y Argentina; Bajo: solamente en la Argentina;

(c) Uruguay – Alto Uruguay: en el Brasil; Bajo: Uruguay y Argentina;

(d) Plata: - después de la confluencia con el Uruguay.

Es la segunda Cuenca de América del Sur en área, después de la Cuenca Amazónica, con 3,1 millones de km² y la quinta del mundo. Posee importancia fundamental para la economía de los países de la región, pues el 70% del PIB de los cinco países es generado en la Cuenca, donde se localiza aproximadamente el 50% de la población de los mismos.

En la Cuenca se sitúan cuatro capitales de los países que la componen: Buenos Aires, Montevideo, Asunción y Brasilia, además de

centros urbanos dos cinco países (tabela 01).

A população total da bacia, de acordo com os últimos levantamentos é da ordem de 130.000.000 habitantes, englobando 100% da população paraguaia, 87,64% da população do Uruguai, 81,88% da Argentina, 10% e 53,98% da Bolívia e do Brasil, respectivamente.

Também são de grande importância as atividades agrícolas, mineiras e agropecuárias, destacando-se a existência de um dos maiores rebanhos de gado do mundo, extensas plantações de soja, milho, arroz, algodão e cana-de-açúcar.

3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

No mapa hipsométrico mostrado na figura 03, nota-se a predominância das planícies, na área da bacia, destacando-se duas estruturas principais ocorrentes de norte a sul da área. A leste ressalta-se o Maciço de Mato Grosso e a noroeste a planície Pampa-Chaqueana, uma vasta região de topografia quase plana.

No extremo Norte encontram-se o Planalto Brasileiro e a Planície Amazônica. No Leste os limites variam das cabeceiras do rio São Francisco à Serra do Mar. No extremo Oeste o limite é a cordilheira dos Andes, com cotas entre 1.000 e 6.000 m, enquanto que no Sul verificam-se as pequenas altitudes das coxilhas gaúchas. As altitudes variam desde cotas superiores a 1500 m no extremo Leste para apenas 200 m no Sul.

Do ponto de vista climático, as maiores chuvas coincidem com as nascentes dos rios Paraguai, Paraná e Uruguai, as precipitações diminuem de norte para sul e de leste para oeste (figura 04 - isoietas da parte brasileira da bacia).

As temperaturas são influenciadas pela latitude e pelo relevo, diminuindo de norte para sul. Na maior parte da bacia as temperaturas médias anuais são superiores aos 20°C.

algunos de los más importantes centros urbanos de los cinco países (tabla 01).

La población total de la Cuenca, de acuerdo con los últimos relevamientos es del orden de 130.000.000 de habitantes, englobando 100% de la población Paraguaya, 87,64% de la población del Uruguay, 81,88% de la Argentina, 10% y 53,98% de Bolivia y del Brasil, respectivamente.

También son de gran importancia las actividades agrícolas, mineras y agropecuarias, destacándose la existencia de uno de los mayores rebaños de ganado del mundo, extensas plantaciones de soja, mijo, arroz, algodón y caña de azúcar.

3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

En el mapa hipsométrico mostrado en la figura 03, se nota la predominancia de las planicies, en el área de la Cuenca, destacándose dos estructuras principales ocurrentes de Norte a Sur del área. Al Este resalta el Macizo de Mato Grosso y al Noroeste la planicie Chaco-pampeana, Una vasta región de topografía casi plana.

En el extremo Norte se encuentran el Planalto Brasileiro y la Planicie Amazónica. En el Este los límites varían de las cabeceras del rio San Francisco a la Serra do Mar. En el extremo Oeste el límite es la cordillera de los Andes, con cotas entre 1.000 y 6.000 m, mientras que en el Sur se encuentran las pequeñas altitudes de las Sierras Gaúchas. Las altitudes varían desde cotas superiores a 1500 m en el extremo Este hasta apenas 200 m en el Sur.

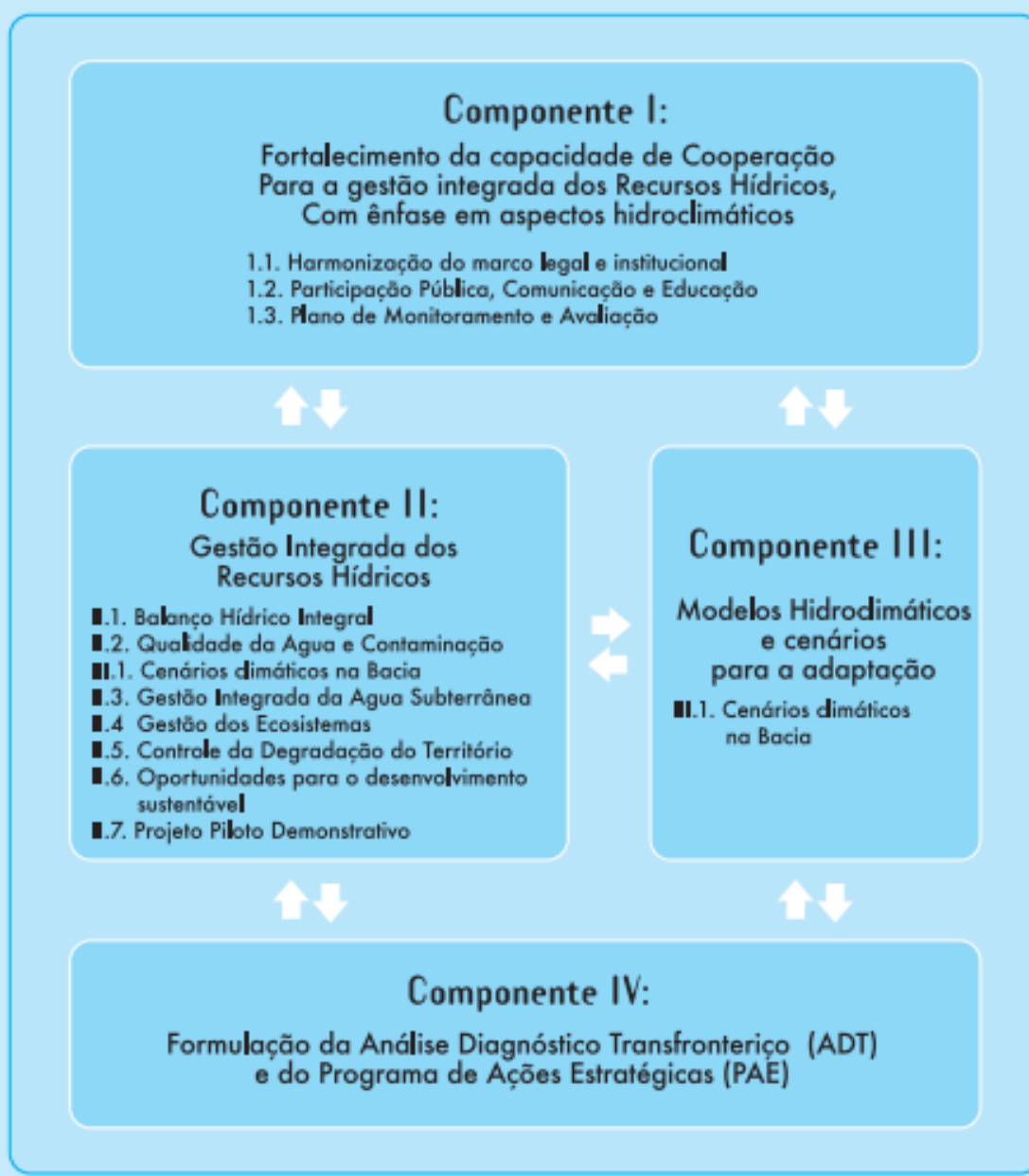
Del punto de vista climático, las mayores lluvias coinciden con las nacientes de los ríos Paraguay, Paraná y Uruguay, las precipitaciones disminuyen de Norte para Sur y de Este para Oeste (figura 04 - isoyetas de la parta brasilera de la Cuenca).

Las temperaturas están influenciadas por la latitud y por el relieve, disminuyendo del Norte hacia el Sur. En la mayor parte de la Cuenca las temperaturas medias anuales son superiores a los 20°C.

Programa para a Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos da Bacia do Prata

con relação aos efeitos da variabilidade e mudança do clima

Etapa I: Programa de Ações Estratégicas -PMAE



Quadro 01 – Estruturação do Programa Marco (CIC Plata)

Cuadro 01 – Estructura del Programa Marco (CIC Plata)



Figura 01 – Mapa de Localização da Bacia do Prata

Figura 01 – Mapa de Localización de la Cuenca del Plata

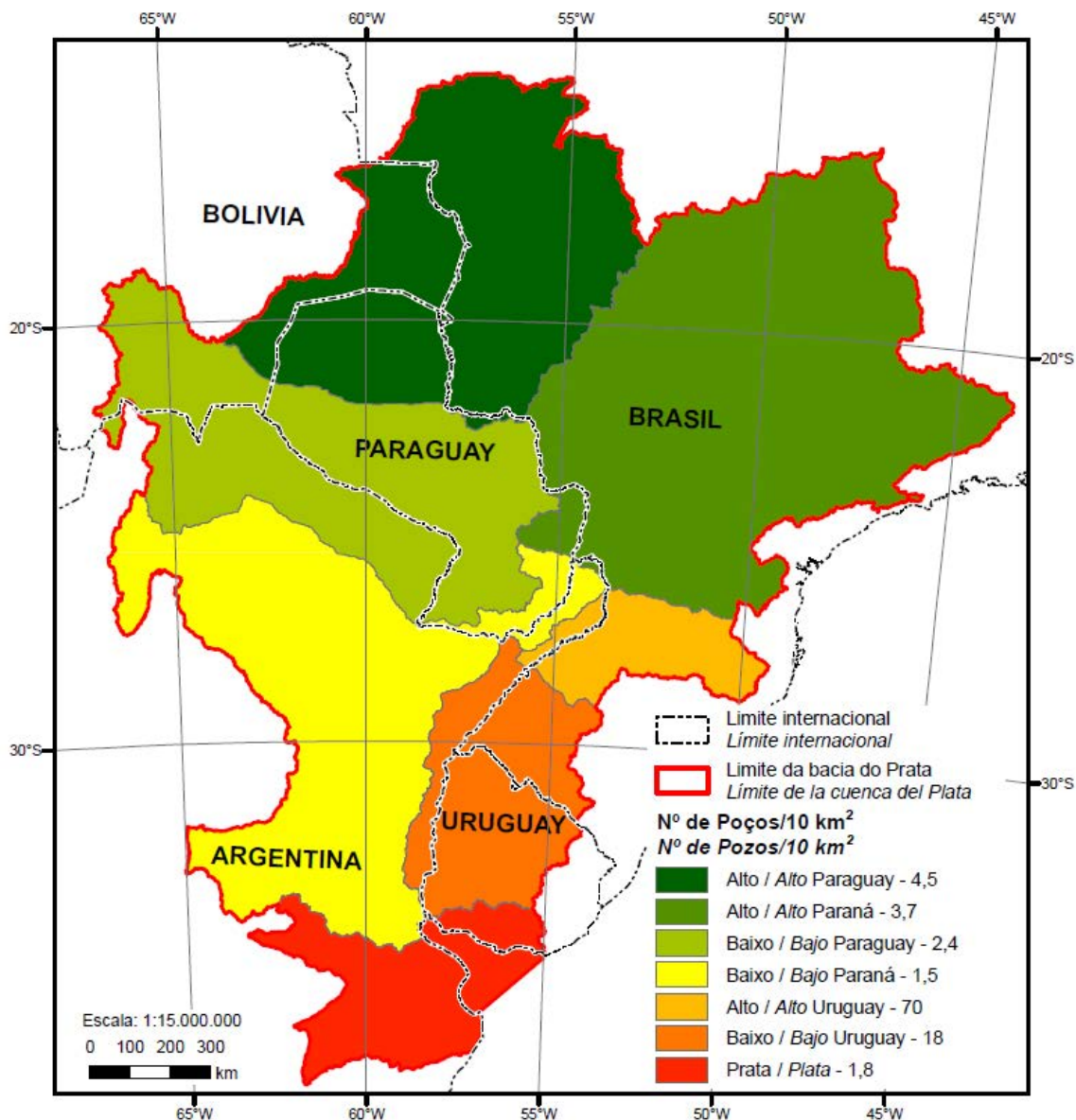


Figura 02 – Densidade de Informações e bacias hidrográficas

Figura 02 – Densidad de informaciones y cuencas hidrográficas

Sub-bacia	Área Sub-Bacia		Área Argentina		Área Bolívia		Área Brasil		Área Paraguay		Área Uruguay	
	10 ³ km ²	%	10 ³ km ²	%	10 ³ km ²	%	10 ³ km ²	%	10 ³ km ²	%	10 ³ km ²	%
Paraná	1510	48,7	565	37,5	0	0,0	890	59,0	55	3,5	0,0	0,0
Paraguay	1095	35,3	165	15,0	205	18,7	370	33,9	355	32,4	0,0	0,0
Uruguay	365	11,8	60	16,4	0	0,0	155	42,5	0	0,0	150,0	41,1
Prata/Plata	3100	100,0	920	29,7	205	6,6	1415	45,7	410	13,2	150,0	4,8

Tabela 01 – Sub-bacias Hidrográficas e áreas de ocorrência nos países da Bacia do Prata

Tabla 01 – Sub-Cuencas Hidrográficas y áreas de ocurrencia en los países de la Cuenca del Plata

4. ELABORAÇÃO DO MAPA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A metodologia de elaboração do mapa foi concebida para planificar a disponibilidade dos recursos hídricos subterrâneos em todo o cone sul da América. Por essa razão, e considerando as dimensões continentais envolvidas, o trabalho procurou ser o mais uniforme possível, de acordo com os padrões internacionais de cartografia hidrogeológica. Foi utilizado o sistema de coordenadas geográficas e o *datum* WGS 1984, permitindo a mesma precisão na localização de dados em qualquer ponto da área mapeada.

A base geológica, afora os casos do Brasil e do Uruguai foi elaborada a partir de informações fornecidas por cada país participante, enquanto que as demais bases (planimétrica, de poços representativos, piezométrica e hidrológica) foram fornecidas por eles ou elaboradas a partir de programas computacionais utilizados.

A partir da simplificação dos polígonos de geologia fornecidos por cada país, baseada nas características geométricas dominantes, formas de ocorrência e características de fluxo das águas subterrâneas em cada unidade, foram criados polígonos de hidrolitologias, definidos como grupos de unidades geológicas que armazenam e transmitem águas subterrâneas de forma semelhante.

A utilização destas classes de produtividade, juntamente com adoção da simbologia internacional de cores para mapas hidrogeológicos (figura 05), permite que, através de uma rápida análise, se consiga visualizar as principais características hidrogeológicas da área.

Este procedimento permitiu o estabelecimento de quatro unidades básicas de mapeamento, genericamente chamadas de granulares, fraturadas, cársticas e não aquíferas (figura 06).

Estas unidades foram hierarquizadas sob a ótica de produção de água, utilizando-se para isso uma “Tabela de Produtividade Aquífera” (tabela 02), baseada no trabalho de Struckmeier & Margat (1995). São representadas em mapa por meio da sigla da unidade geológica seguida de um número, de 1 a 5, expressando o seu potencial de produção de água.

4. ELABORACIÓN DEL MAPA DE AGUAS SUBTERRÂNEAS

La metodología de elaboración del mapa fue concebida para planificar la disponibilidad de los recursos hídricos subterrâneos en todo el cono Sur de América. Por esa razón, y considerando las dimensiones continentales involucradas, el trabajo procuró ser lo más uniforme posible, de acuerdo con los patrones internacionales de cartografía hidrogeológica. Fue utilizado el sistema de coordenadas geográficas y el *datum* WGS 1984, permitiendo la misma precisión en la localización de datos en cualquier punto del área mapeada.

La base geológica, fuera de los casos del Brasil y del Uruguay fue elaborada a partir de informaciones brindadas por cada país participante, mientras que las demás bases (planimétrica, de pozos representativos, piezométrica e hidrológica) fueron brindadas por ellos o elaboradas a partir de programas computacionales utilizados.

A partir de la simplificación de los polígonos de geología brindado por cada país, basada en las características geométricas dominantes, formas de ocurrencia y características de flujo de las aguas Subterrâneas en cada unidad, fueron creados polígonos de hidrolitologías, definidos como grupos de unidades geológicas que almacenan y transmiten aguas Subterrâneas de forma semejante.

La utilización de estas clases de productividad, junto con la adopción de la simbología internacional de colores para mapas hidrogeológicos (figura 05), permite que, a través de un rápido análisis, se consiga visualizar las principales características hidrogeológicas del área.

Este procedimiento permitió el establecimiento de cuatro unidades básicas de mapeo, genéricamente llamadas: granulares, fraturadas, cársticas y no aquíferas (figura 06).

Estas unidades fueron jerarquizadas bajo la óptica de producción de agua, utilizándose para eso una “Tabla de Productividad Aquífera” (tabla 02), basada en el trabajo de Struckmeier & Margat (1995). Están representadas en el mapa por medio de la sigla de la unidad geológica seguida de un número, de 1 a 5, expresando su potencial de producción de agua.

As camadas aflorantes que aparecem no mapa, relacionadas a aquíferos ou a não aquíferos, estão representadas numa determinada cor, de acordo com a legenda internacional. Os aquíferos são diferenciados em aquíferos granulares e aquíferos fraturados. Os *aquíferos granulares* são indicados com a cor azul e os *aquíferos cársticos e fraturados* com a cor verde. Em ambos os casos, a cor (azul ou verde) mais forte escura é reservada para os aquíferos de grande extensão e altamente produtivos. A cor (azul ou verde) menos escura deve ser utilizada para outros aquíferos menos produtivos.

Os não aquíferos são indicados na cor marrom. São dispensados símbolos ou ornamentos para diferenciações litológicas, exceção feita apenas no caso dos calcários, visando diferencia-los dos demais corpos fraturados.

No caso de ocorrência de aquíferos superpostos, foi inserida a sigla do aquífero mais produtivo sob aquela do aflorante. Por aquífero mais produtivo, se entende aquele que *“fornece mais água, de melhor qualidade e em menor profundidade”*.

5. AQUÍFEROS TRANSFRONTEIRIÇOS

Oito Aquíferos ou Sistemas Aquíferos de extensão regional, transfronteiriços foram cartografados na escala ao milionésimo e representados no mapa síntese na escala 1:2.500.000 (figura 07). São eles: Sistema Aquífero Yrenda - Toba - Tarijeño (SAYTT), Sistema Aquífero Pantanal, Sistema Aquífero Água Doce, Sistema Aquífero Caiuá / Bauru-Acaray, Sistema Aquífero Aquidauana – Aquidabán, Sistema Aquífero Serra Geral, Sistema Aquífero Guaraní e Sistema Aquífero Permo-Carbonífero.

5.1. SISTEMA AQUÍFERO YRENDÁ – TOBA – TARIJEÑO (SAYTT)

O Sistema Aquífero Transfronteiriço Yrenda - Toba - Tarijeño (SAYTT) está localizado ao noroeste da Argentina e Paraguai e sudoeste da Bolívia, estendendo-se desde a porção oriental até a região do Grande Chaco.

A população residente na área é de cerca de 400.000 habitantes, que utilizam os recursos hídricos na irrigação e pecuária em geral.

Las capas aflorantes que aparecen en el mapa, relacionadas a Aquíferos o a no Aquíferos, están representadas en un determinado color, de acuerdo con la leyenda internacional. Los Aquíferos son diferenciados en Aquíferos granulares y Aquíferos fraturados. Los *Acuíferos granulares* son indicados con el color azul y los *Acuíferos cársticos y fraturados* con el color verde. En ambos casos, el color (azul o verde) más fuerte (oscuro) está reservado para los Aquíferos de gran extensión y altamente productivos. El color (azul o verde) más claro debe ser utilizado para otros Aquíferos menos productivos

Los no Aquíferos están indicados en color marrón. Fueron dispuestos símbolos u ornamentos para diferenciaciones litológicas, con excepción hecha apenas en el caso de los calcáreos, procurando diferenciarlos de los demás cuerpos fraturados.

En el caso de ocurrencia de Aquíferos superpuestos, fue insertada la sigla del Acuífero más productivo bajo aquella del aflorante. Por Acuífero más productivo, se entiende aquel que *“brinda más agua, de mejor calidad y a menor profundidad”*.

5. ACUÍFEROS TRANSFRONTERIZOS

Ocho Acuíferos o Sistemas Acuíferos de extensión regional, transfronterizos fueron cartografiados en la escala al millón y representados en el mapa síntesis en la escala 1:2.500.000 (figura 07). Son ellos: Sistema Acuífero Yrendá-Toba-Tarijeño (SAYTT), Sistema Acuífero Pantanal, Sistema Acuífero Agua Dulce, Sistema Acuífero Caiuá/Bauru-Acaray, Sistema Acuífero Aquidauana– Aquidabán, Sistema Acuífero Serra Geral, Sistema Acuífero Guaraní y Sistema Acuífero Permo-Carbonífero.

5.1. SISTEMA ACUÍFERO YRENDÁ-TOBA-TARIJEÑO (SAYTT)

El Sistema Acuífero Transfronterizo Yrendá-Toba-Tarijeño (SAYTT) está localizado al noroeste de la Argentina y Paraguay y sudoeste de Bolivia, extendiéndose desde la porción oriental hasta la región del Gran Chaco.

La población residente en el área es de cerca de 400.000 habitantes, que utilizan los recursos hídricos en la irrigación y pecuaria en general

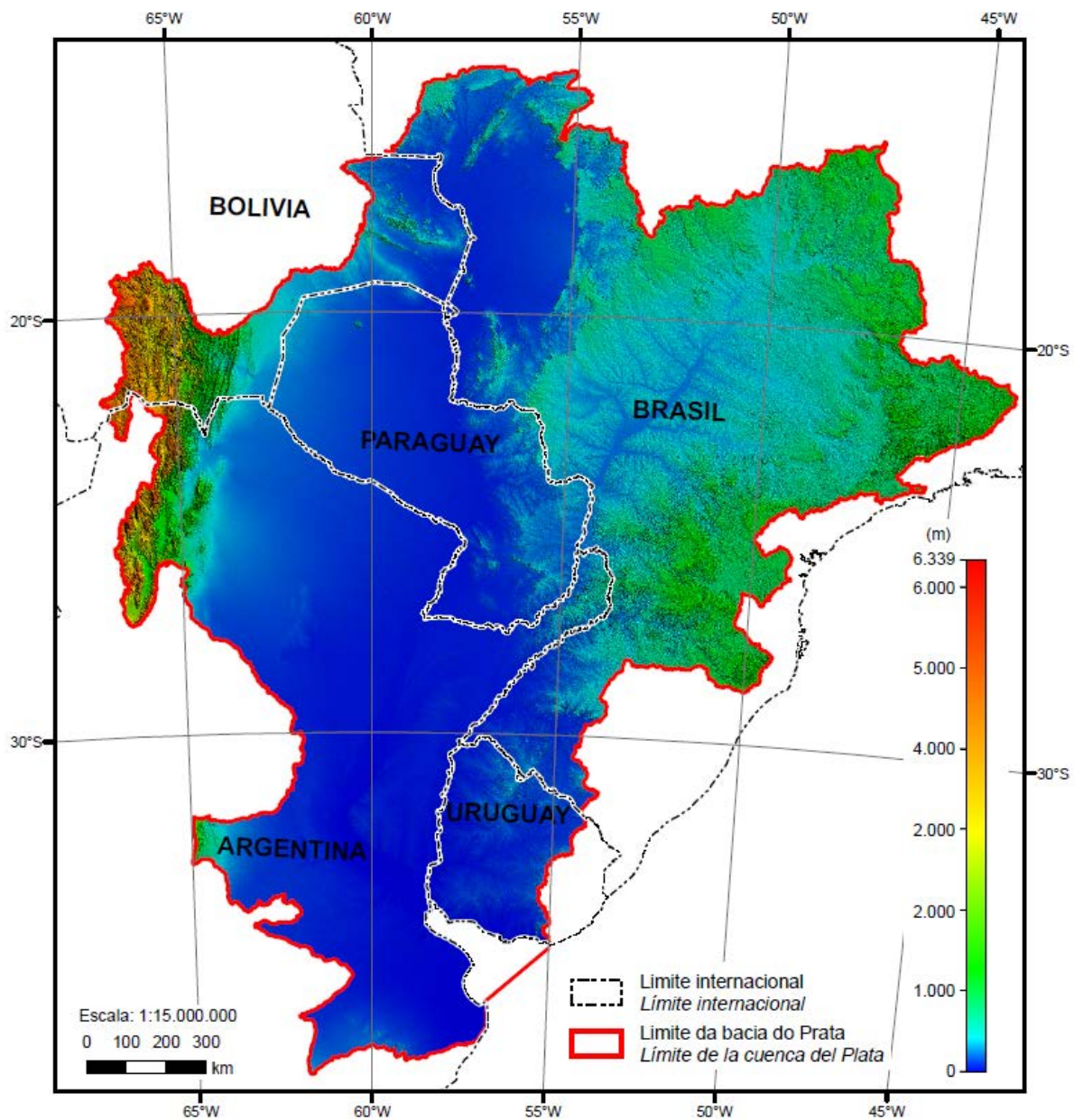


Figura 03 – Hipsometria

Figura 03 – Hipsometría



Figura 04 – Isoietas

Figura 04 – Isoyetas

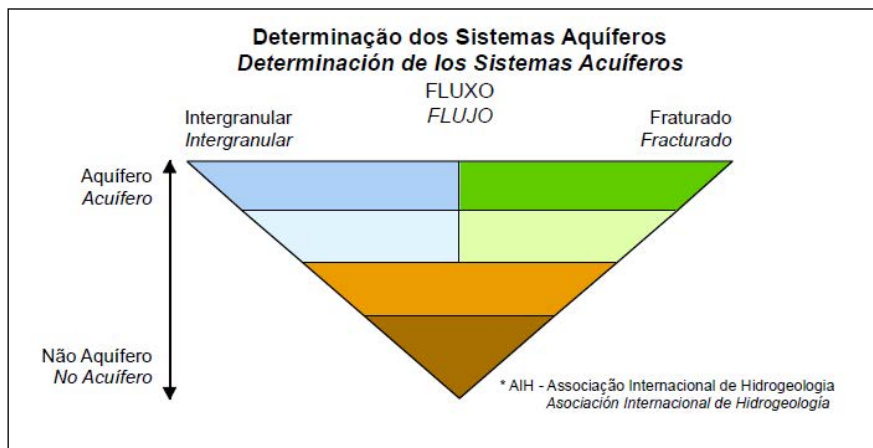


Figura 05 – Determinação dos Sistemas Aquíferos

Figura 05 – Determinación de los Sistemas Acuíferos

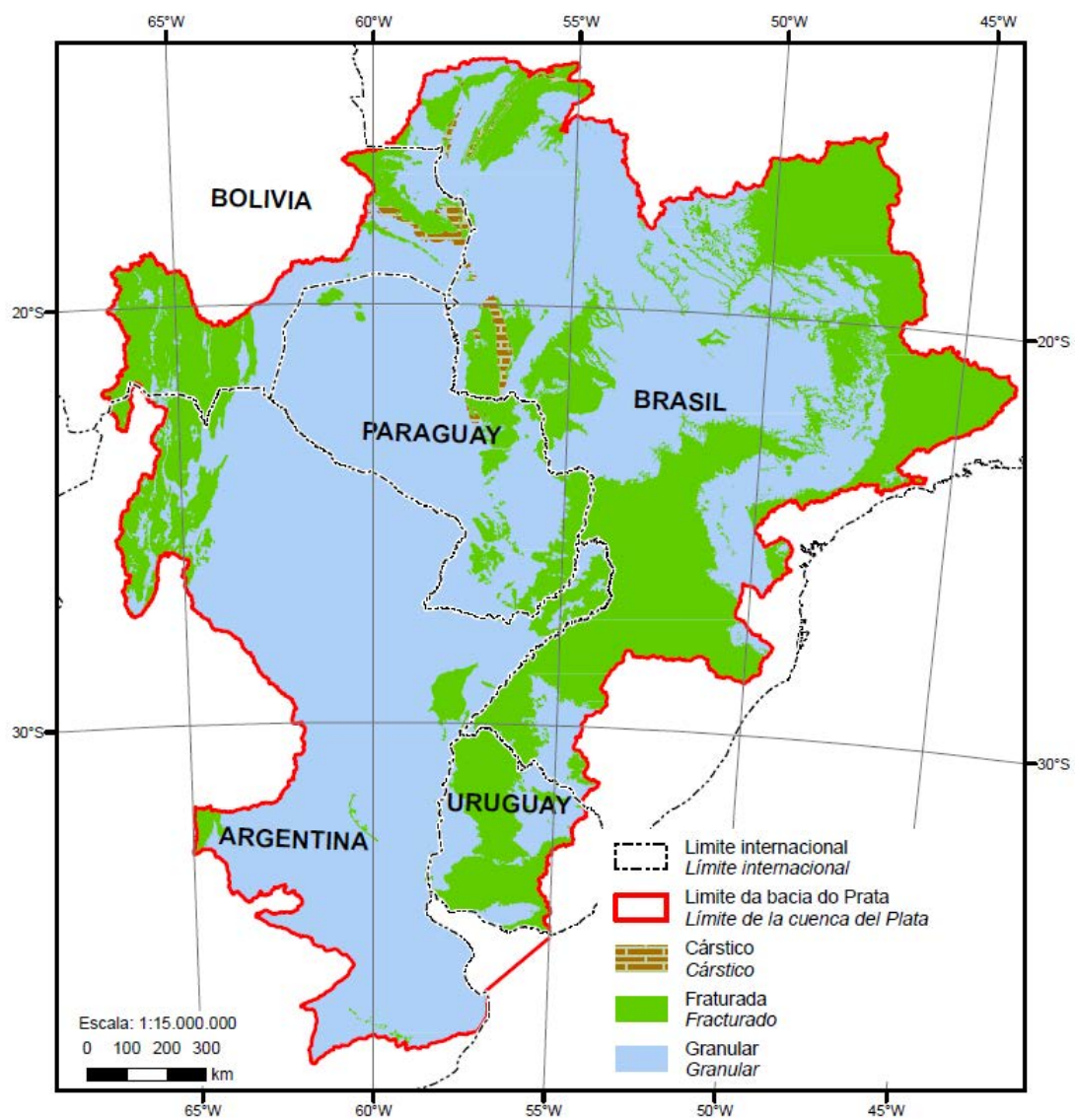


Figura 06 – Unidades Hidrolitológicas da Bacia do Prata

Figura 06 – Unidades Hidrolitológicas de la Cuenca del Plata

Classes Classes	Q/s (m ³ /h/m) *	T (m ² /s)	K (m/s)	Q (m ² /h)	Produtividade ** Productividad
(1)	≥ 4,0	≥ 10 ⁻²	≥ 10 ⁻⁴	≥ 100	Muito Alta: Fornecimento de água de importância regional (abastecimento de cidades e grandes irrigações). Aquíferos que se destacam em âmbito nacional. <i>Muy alta: Suministro de agua importancia regional (abastecimiento de ciudades y gran irrigaciones). Acuíferos que se destacan a nivel nacional.</i>
(2)	2,0 ≤ Q/s < 4,0	10 ⁻³ ≤ T < 10 ⁻²	10 ⁻⁵ ≤ T < 10 ⁻⁴	50 ≤ Q < 100	Alta: Características semelhantes à classe anterior, contudo situando-se dentro da média nacional de bons aquíferos. <i>Alta: Características similares a la clase anterior, todavía se encuentra dentro de la media nacional de buenos acuíferos.</i>
(3)	1,0 ≤ Q/s < 2,0	10 ⁻⁴ ≤ T < 10 ⁻³	10 ⁻⁶ ≤ T < 10 ⁻⁵	25 ≤ Q < 50	Moderada: Fornecimento de água para abastecimentos locais em pequenas comunidades e irrigação em áreas restritas. <i>Moderada: Suministro de agua para el abastecimiento local en las pequeñas comunidades y irrigación en áreas restringidas.</i>
(4)	0,4 ≤ Q/s < 1,0	10 ⁻⁵ ≤ T < 10 ⁻⁴	10 ⁻⁷ ≤ T < 10 ⁻⁶	10 ≤ Q < 25	Geralmente baixa, porém localmente moderada: Fornecimento de água para suprir abastecimentos locais ou consumo privado. <i>Normalmente baja pero localmente moderada: Suministro de agua para satisfacer el abastecimiento local o el consumo privados.</i>
(5)	0,04 ≤ Q/s < 0,4	10 ⁻⁶ ≤ T < 10 ⁻⁵	10 ⁻⁸ ≤ T < 10 ⁻⁷	1 ≤ Q < 10	Geralmente muito baixa, porém localmente baixa: Fornecimentos contínuos dificilmente são garantidos. <i>Normalmente muy baja, pero localmente baja: Suministros continuos dificilmente están garantizados.</i>
(6)	< 0,04	< 10 ⁻⁶	< 10 ⁻⁸	< 1	Pouco Produtiva ou Não Aquífera: Fornecimentos insignificantes de água. Abastecimento restrito ao uso de bombas manuais. <i>Poco Productiva o No Acuífera: Suministros insignificantes de agua. Abastecimiento limitado a uso de bombas manuales.</i>

Modificada de Struckmeir & Margat, 1995

* Valores válidos para teste de bombeamento de 12 horas e rebaixamentos máximos de 25 metros
Valores válidos para ensayo de bombeo de 12 horas y rebajamientos máximos de 25 metros

** Na definição de classe de produtividade para os aquíferos fraturados e cársticos, considerar apenas dados de vazão
En la definición de clase Productividad para acuíferos fracturados y karst, considerar sólo datos de caudal.

Tabela 02 – Proposta para caracterização de classes de aquíferos

Tabla 02 – Propuesta para la caracterización de clases de acuíferos

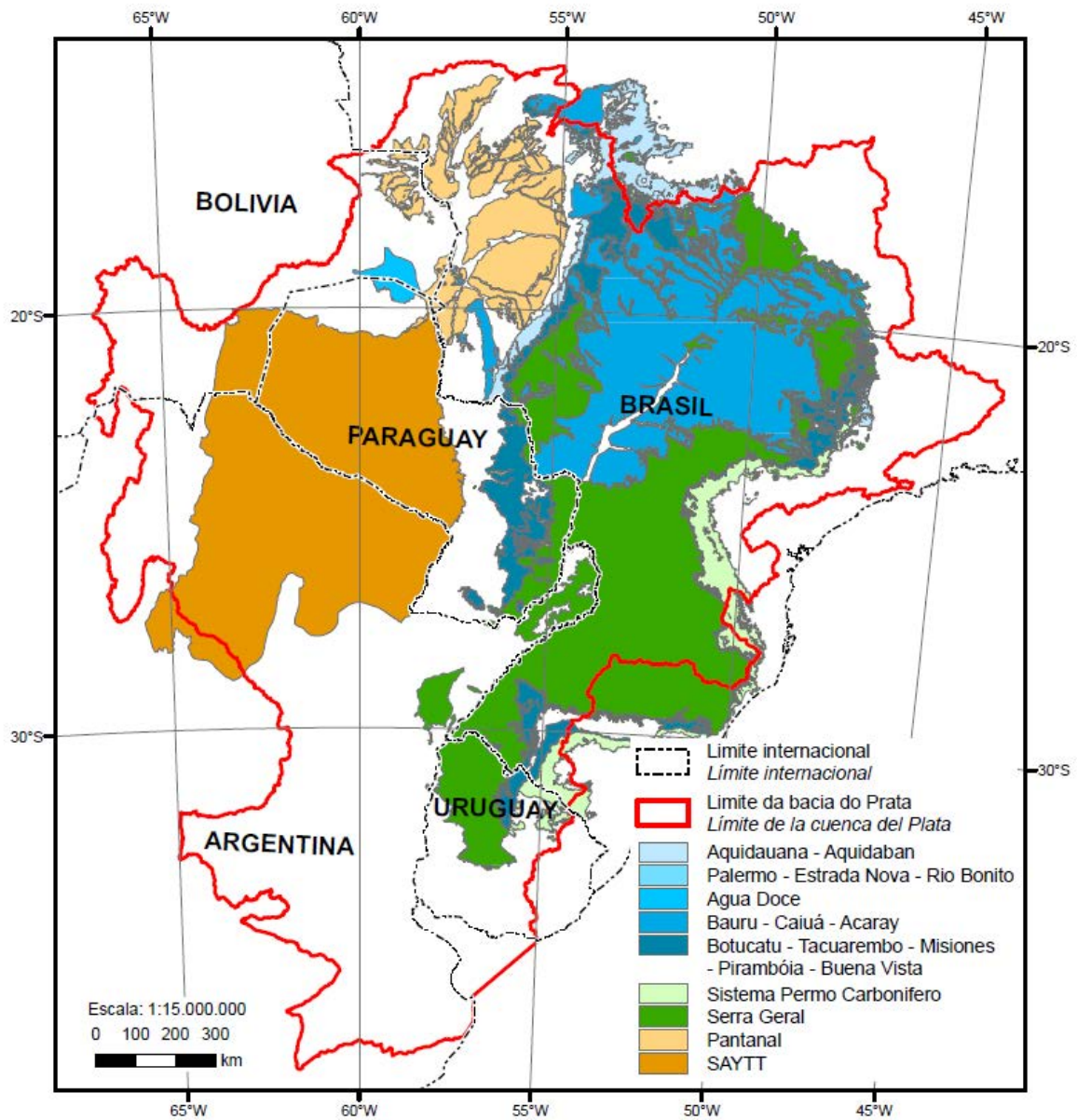


Figura 07 – Aquíferos Transfronteiriços da Bacia do Prata

Figura 07 – Acuíferos Transfronterizos de la Cuenca del Plata

Sua área de ocorrência é de cerca de 1.000.000 km², com clima variando de sub-úmido a semi-árido e tem como principais cursos de água superficial os rio Pilcomayo, Bermejo, San Telmo, Salado, Grande de Tarija e Guadalquivir.

Constitui um Sistema Aquífero livre, multicamadas, composto por sedimentos terciários e quaternários, apresentando ampla movimentação tectônica e originando zonas úmidas influentes na regulação natural do regime das chuvas e no abastecimento hídrico das comunidades locais e das populações indígenas.

Apresenta vazões bastante variadas, desde 1 a 20 m³/h e, do ponto de vista químico, caracteriza-se pela alternância de camadas portadoras de águas doces com outras que exibem altos graus de salinização.

É um sistema de grande importância regional, pela ocorrência em região com grande escassez de água e clima semiárido.

Os três países têm desenvolvido, desde o ano de 2005, uma proposta de projeto para o Global Environment Facility - GEF Programa Bacia do Prata (CIC Projeto / GEF / PNUMA / OEA) , visando aprofundar a compreensão e promover a gestão conjunta focada em problemas de desertificação e adaptação às alterações climáticas.

5.2. SISTEMA AQUÍFERO PANTANAL

O Sistema Aquífero Transfronteiriço Pantanal está localizado na bacia do Rio Paraguai, ocupando áreas do Brasil, da Bolívia e do Paraguai, em uma extensão estimada em aproximadamente 134.000 km² (102.000 km² no Brasil, 14.000 km² na Bolívia e 18.000 km² no Paraguai).

Do ponto de vista fisiográfico ocorre em região com alto índice pluviométrico, com médias entre 1000 - 1500 mm e clima mesotérmico e cotas topográficas variando entre 100 m e 200 m, representando uma extensão ao norte do Chaco paraguaio.

A importância deste sistema Aquífero está ressaltada pela manutenção do ecossistema Pantanal, a maior área úmida do mundo, declarada Patrimônio da Humanidade e integrante da

Su área de ocurrencia es de cerca de 1.000.000 km², con clima variando de subhúmedo a semiárido y tiene como principales cursos de agua superficial los ríos Pilcomayo, Bermejo, San Telmo, Salado, Grande de Tarija y Guadalquivir.

Constituye un Sistema Acuífero libre, multicapa, compuesto por sedimentos terciarios y cuaternarios, consolidados a poco consolidados, predominantemente arenosos, presentando amplia actividad tectónica y originando zonas húmedas influentes en la regulación natural del régimen de lluvias y en el abastecimiento hídrico de las comunidades locales y poblaciones indígenas.

Presenta caudales bastante variados, desde 1 a 20 m³/h y, del punto de vista químico, se caracteriza por la alternancia de capas portadoras de aguas dulces con otras que exhiben altos grados de salinización.

Es un sistema de gran importancia regional, por su ocurrencia en una región con gran escasez de agua y clima semiárido.

Los tres países han desarrollado, desde el año 2005, Una propuesta de proyecto para el Global Environment Facility - GEF Programa Cuenca del Plata (CIC Proyecto / GEF / PNUMA / OEA), procurando profundizar la comprensión y promover la gestión conjunta enfocada en problemas de desertificación y adaptación a las alteraciones climáticas.

5.2. SISTEMA ACUÍFERO PANTANAL

El Sistema Acuífero Transfronterizo Pantanal está localizado en la Cuenca del Rio Paraguay, ocupando áreas del Brasil, de Bolivia y del Paraguay, en una extensión estimada en aproximadamente 134.000 km² (102.000 km² en el Brasil, 14.000 km² en Bolivia y 18.000 km² en el Paraguay).

Del punto de vista fisiográfico ocurre en una región con alto índice pluviométrico, con medias entre 1000 - 1500 mm, clima mesotérmico y cotas topográficas variando entre 100 m y 200 m, representando una extensión al Norte del Chaco Paraguayo.

La importancia de este sistema Acuífero está ressaltada por la mantención del ecossistema Pantanal, la mayor área húmeda del mundo, declarada Patrimonio de la Humanidad e

Convenção Mundial de RAMSAR. Em geral, as águas subterrâneas são de boa qualidade, embora localmente ocorram expressivos índices de carbonatos, ferro, matéria orgânica e águas salobras. Por se tratar de um aquífero livre são muito vulneráveis à poluição, principalmente relacionados com atividades agrícolas (agrotóxicos), e criação de gado.

O sistema aquífero é do tipo multicamadas, constituído de sedimentos Terciários e Quaternários não consolidados a pouco consolidados, predominantemente arenosos.

A direção do fluxo é geralmente em direção ao rio Paraguai com rumo SO do lado brasileiro e SE na Bolívia e Paraguai.

O ecossistema do Pantanal está ameaçado de várias formas, algumas com reflexos diretos nas águas subterrâneas, como por exemplo, o elevado assoreamento dos rios originado pela grande erosão advinda do desmatamento em áreas de planalto que diminui a infiltração e recarga do aquífero.

Suas vazões máximas atingem os 10 m³h, embora as médias sejam sempre em suas áreas de descarga. Subjacente a essas unidades ocorre expressivo número de aquíferos confinados.

Os países, reconhecendo o papel desempenhado pelo aquífero no funcionamento do ecossistema e no controle do tipo e distribuição da biodiversidade, identificaram a necessidade sua gestão sustentável conjunta, com base na compreensão das interações hidráulicas entre as zonas úmidas e o sistema aquífero, e no reconhecimento de sua interdependência.

Além disso, devido à natureza freática do aquífero e sua descarga, que se dá principalmente através da evaporação, o sistema aquífero transfronteiriço Pantanal se constitui em um modelo ideal para avaliar os impactos das mudanças climáticas no meio ambiente.

5.3. SISTEMA AQUÍFERO AGUA DOCE

O Sistema Aquífero Transfronteiriço de água doce é parte de uma bacia hidrogeológica regional, compartilhada por Paraguai e Bolívia e está localizado na porção norte do grande Chaco

integrante de la Convención Mundial de RAMSAR. En general, las aguas Subterráneas son de buena calidad, aunque localmente ocurran significativos índices de carbonatos, hierro, materia orgánica y aguas salobres. Por tratarse de un Acuífero libre son muy vulnerables a la contaminación, principalmente relacionados con actividades agrícolas (agrotóxicos), y cría de ganado.

El sistema acuífero es del tipo multicapa, constituido de sedimentos Terciarios e Cuaternarios no consolidados a poco consolidados predominantemente arenosos.

La dirección del flujo es generalmente en dirección al río Paraguay con rumbo SO del lado brasileiro y SE en Bolivia y Paraguay.

El ecosistema del Pantanal está amenazado de varias formas, algunas con reflejos directos en las aguas Subterráneas, como por ejemplo, la elevada colmatación de los ríos originada por la gran erosión devenida de la deforestación en áreas de meseta que disminuye la infiltración y recarga del acuífero.

Sus caudales máximos alcanzan los 10 m³h, aunque las medias estén siempre en sus áreas de descarga. Subyacente a esas unidades ocurre un expresivo número de Acuíferos confinados.

Los países, reconociendo el papel desempeñado por el Acuífero en el funcionamiento del ecosistema y en el control del tipo y distribución de la biodiversidad, identificaron la necesidad de su gestión Sustentable conjunta, con base en la comprensión de las interacciones hidráulicas entre las zonas húmedas y el sistema acuífero, y en el reconocimiento de su interdependencia.

Además de eso, debido a la naturaleza freática del Acuífero y su descarga, que se da principalmente a través de la evaporación, el sistema Acuífero transfronterizo Pantanal se constituye en un modelo ideal para evaluar los impactos de los cambios climáticos en el medio ambiente.

5.3. SISTEMA ACUÍFERO AGUA DULCE

El Sistema Acuífero Transfronterizo Agua Dulce es parte de una cuenca hidrogeológica regional, compartida por Paraguay y Bolivia y está localizado en la porción Norte del gran Chaco Paraguayo y del Este de Bolivia englobando

Paraguai e do leste da Bolívia englobando diferentes formações aquíferas.

Destacam-se os aquíferos carboníferos e cretáceos, enquanto que as unidades paleozóicas são confinadas e apresentam forte mineralização e termalismo.

Os aquíferos do Sistema água doce são compostas por arenitos cretácicos vermelhos, grosseiros e mal selecionados, juntamente com outras unidades terciárias, finas a médias e friáveis, localmente semiconfinadas, limitadas por camadas de argilas plásticas.

No Paraguai se constitui como um aquífero regional de alto potencial, em grande parte inexplorada, com extensão em torno dos 30.000 km². Dados de poços na área indicam uma vazão de até 18 m³ / h para os aquíferos carboníferos e 36 m³ /h, nos aquíferos cretácicos, com águas de muito boa qualidade.

A área de influência do Sistema Água Doce se subdivide nos climas semiárido a tropical úmido a leste e seco a oeste, com invernos secos e uma temperatura ambiente que varia 18-260 °C. A precipitação anual varia entre 1400 - 1500 mm.

Topograficamente a região é caracterizada como Chaco liso, com algumas ocorrências de colinas e montanhas isoladas. Predomina uma vegetação xerófitas dominada por arbustos baixos e espinhosos.

A população é dispersa e reduzida, dedicada ao cultivo agrícola e criação de gado. Regionalmente é um dos poucos aquíferos de água doce da região, podendo se constituir na solução para o desenvolvimento sustentável na região. É de grande importância para o uso na irrigação e consumo humano.

5.4. SISTEMA AQUÍFERO BAURU/CAIUÁ - ACARAY

O Sistema Aquífero Transfronteiriço Caiuá / Bauru- Acaray está localizado na bacia do Paraná, ocupando uma área de aproximadamente 300.000 km², na região noroeste do Paraguai, principalmente ao norte do Departamento de Canindeyú na fronteira brasileira, próximo aos Estados de São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais.

diferentes formaciones acuíferas.

Se destacan los Acuíferos carboníferos y cretácicos, mientras que las unidades paleozoicas son confinadas y presentan fuerte mineralización y termalismo.

Los Acuíferos del Sistema Agua Dulce son compuestos por areniscas cretácicas rojizas, groseras y mal seleccionadas, juntamente con otras unidades terciarias, finas a medias y friables, localmente semi-confinadas, limitadas por capas de arcillas plásticas.

En Paraguay se constituye como un Acuífero regional de alto potencial, en gran parte inexplorado, con extensión en torno de los 30.000 km². Datos de pozos en el área indican caudales de hasta 18 m³/h para los Acuíferos carboníferos y 36 m³ /h, en los Acuíferos cretácicos, con aguas de muy buena calidad.

El área de influencia del Sistema Agua Dulce se subdivide en los climas semiárido a tropical húmedo al Este y seco al oeste, con inviernos secos y una temperatura ambiente que varía 18-26 °C. La precipitación anual varía entre 1400 - 1500 mm.

Topográficamente la región está caracterizada como Chaco liso, con algunas ocurrencias de colinas y montañas aisladas. Predomina una vegetación xerófitas dominada por arbustos bajos y espinosos.

La población es dispersa y reducida, dedicada al cultivo agrícola y cría de ganado. Regionalmente es uno de los pocos Acuíferos de agua dulce de la región, pudiendo constituirse en la solución para el desarrollo Sustentable en la región. Es de gran importancia para el uso en la irrigación y consumo humano.

5.4. SISTEMA ACUÍFERO BAURÚ/CAIUÁ- ACARAY

El Sistema Acuífero Transfronterizo Caiuá/Baurú- Acaray está localizado en la Cuenca del Paraná, ocupando un área de aproximadamente 300.000 km², en la región noroeste del Paraguay, principalmente al Norte del Departamento de Canindeyú en la frontera brasilera, próximo a los Estados de San Pablo, Paraná, Mato Grosso del Sur, Goiás y Minas Gerais.

O aquífero é do tipo livre com espessura média de 200 metros, composto por arenitos finos e grossos, com alta permeabilidade. Aplicam-se as denominações de Formação Caiuá e Formação Bauru no Brasil e Formação Acaray no Paraguai.

A direção do fluxo predominante é em direção ao Rio Paraná.

O aquífero na Unidade Caiuá tem um alto potencial de exploração com vazões entre 40 e 60 m³/h. Na Unidade Bauru as vazões são moderadas, variando de 10 a 20 m³/h. A água é de boa qualidade, com ocorrência de águas minerais,

É muito explorado nos Estados de São Paulo e Paraná, enquanto que no Estado de Mato Grosso do Sul e Paraguai sua utilização é menor.

As águas são usadas principalmente para o consumo humano e na pecuária, advindo daí problemas de contaminação, através de fertilizantes e agrotóxicos.

O aquífero é de importância hidrogeológica regional de boa qualidade da água e poços de alta produtividade para irrigação, água mineral e uso agro pastoral (no Paraguai).

5.5. SISTEMA ACUÍFERO AQUIDAUANA - AQUIDABÁN

O Sistema Aquífero Transfronteiriço Aquidauana - Aquidabán está localizado na bacia do rio Paraná, com uma área de aproximadamente 27.000 km², dos quais 14.600 km² estão no Brasil e 12.300 km² no Paraguai estendendo-se na direção NE-SW, sendo utilizado no abastecimento humano e animal tanto no Brasil quanto no Paraguai.

O clima regional é quente no verão, com temperatura média de 32 °C e frio e seco no inverno, com média em torno de 21 °C.

A precipitação é cerca de 1000 - 1500 mm concentradas no verão e o relevo é plano a suavemente ondulado, com altitudes entre 400 - 800 m.

O aquífero é do tipo semiconfinado, constituído por sedimentos glácio-marinhos com intensas variações de fácies, apresentando vazões também

El Acuífero es del tipo libre con espesor medio de 200 metros, compuesto por areniscas finas y gruesas, con alta permeabilidad. Se aplican las denominaciones de Formación Caiuá y Formación Baurú en el Brasil y Formación Acaray en el Paraguay.

La dirección de flujo predominante es en dirección al Río Paraná.

El Acuífero en la Unidad Caiuá tiene un alto potencial de explotación con caudales entre 40 y 60 m³/h. En la Unidad Baurú los caudales son moderados, variando de 10 a 20 m³/h. El agua es de buena calidad con ocurrencia de aguas minerales.

Es muy explotado en los Estados de San Pablo y Paraná, mientras que en el Estado de Mato Grosso del Sur y Paraguay su utilización es menor.

Las aguas son usadas principalmente para el consumo humano y en la pecuaria, proviniendo de ahí problemas de contaminación, a través de fertilizantes y agrotóxicos.

El Acuífero es de importancia hidrogeológica regional, de buena calidad de agua y pozos de alta productividad para irrigación, agua mineral y uso agro-pastoril (en Paraguay).

5.5. SISTEMA ACUÍFERO AQUIDAUANA- AQUIDABÁN

El Sistema Acuífero transfronterizo Aquidauana- Aquidabán está localizado en la Cuenca del río Paraná, con un área de aproximadamente 27.000 km², de los cuales 14.600 km² están en el Brasil y 12.300 km² en el Paraguay extendiéndose en dirección NE-SW, siendo utilizado en el abastecimiento humano y animal tanto en Brasil como en Paraguay.

El clima regional es caliente en el verano, con temperatura media de 32 °C y frio y seco en el invierno, con media en torno de 21 °C.

La precipitación está cerca de 1000 - 1500 mm concentradas en el verano y el relieve es plano a Suavemente ondulado, con altitudes entre 400 - 800 m.

El Acuífero es del tipo semi-confinado, constituido por sedimentos glácio-marinos con intensas variaciones de facies, presentando

bastante dispersas, com valores médios oscilando entre 10-20 m³/h/poço.

Do ponto de vista químico, também apresenta águas com características bastante variáveis.

Sua utilização em curto prazo tem se tornado essencial para o abastecimento humano e para permitir o desenvolvimento econômico da região, de características agrícola e pecuária. Parte de sua área de ocorrência situa-se na área de proteção do Pantanal.

5.6. SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL (SASG)

O Sistema Aquífero Transfronteiriço Serra Geral abrange todo o planalto paranaense e a região fronteira do Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai, ocupando uma área de cerca de 540.000 km².

Apesar de pouco se conhecer sobre suas condições de recarga é amplamente explorado nesses quatro países, para o abastecimento humano, uso industrial e irrigação.

Constitui um sistema aquífero do tipo livre a semiconfinado, fraturado e constituído por derrames de lavas basálticas das formações Alto Paraná (PY), Serra Geral (BR) e Arapey (AR e UY).

Devido às suas características de aquífero fraturado, apresenta vazões muito variáveis, valores entre 10 e 100 m³/h.

Suas águas são bicarbonato de cálcio e de sódio, apresentando eventualmente altos teores de sal.

O clima da região é úmido a semiúmido, com precipitação média anual entre 1.200 e 1.500 mm.

A exploração deste aquífero para abastecimento humano e industrial é alta, e tem grande potencial turístico, além de ser importante para a conservação do ecossistema dependente e também também para garantir o fluxo de base dos rios da região, sendo inferida uma conexão hidráulica entre ele e o Aquífero Guaraní.

caudales también bastante dispersos, con valores medios oscilando entre 10-20 m³/h/pozo

Del punto de vista químico, también presenta aguas con características bastante variables.

Su utilización en corto plazo se ha tornado esencial para el abastecimiento humano y para permitir el desarrollo económico de la región, de características agrícola y pecuaria. Parte de su área de ocurrencia se sitúa en el área de protección del Pantanal.

5.6. SISTEMA ACUÍFERO SERRA GERAL (SASG)

El Sistema Acuífero Serra Geral abarca todo el planalto paranaense y la región fronteriza de Brasil, Argentina, Paraguay y Uruguay. Ocupando un área de cerca de 540.000 km².

Apesar de conocerse poco sobre sus condiciones de recarga es ampliamente explotado en esos cuatro países, para el abastecimiento humano, uso industrial y riego.

Constituye un sistema Acuífero de tipo libre a semi-confinado, fraturado y constituido por derrames de lavas basálticas de las formaciones Alto Paraná (PY), Serra Geral (BR) y Arapey (AR y UY).

Debido a sus características de Acuífero fraturado, presenta caudales muy variables, con valores entre 10 y 100 m³/h.

Sus aguas son bicarbonatadas cálcicas y sódicas, presentando eventualmente altos tenores de sal.

El clima de la región es húmedo a semi-húmedo, con precipitación media anual entre 1.200 y 1.500 mm.

La explotación de este Acuífero para abastecimiento público e industrial es alta y tiene gran potencial turístico, además de ser importante para la conservación del ecossistema dependiente y también para garantizar el flujo de base de los ríos de la región, siendo inferida una conexión hidráulica entre él y el Acuífero Guaraní.

5.7. SISTEMA AQUÍFERO GUARANI (SAG)

O Sistema Aquífero Guarani está localizado em grande parte da Bacia do Rio da Prata, se estendendo da Bacia Sedimentar Paraná para a área do Chaco Paranaense.

Ocupa uma área de aproximadamente 1.088.000 km² ocorrendo em quatro países: Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai.

O clima regional em sua área de ocorrência é caracterizado como úmido a subúmido, com chuvas que vão de 1200 a 1.500 milímetros / ano.

Suas águas tem ampla utilização no abastecimento humano, industrial e no turismo, haja vista suas propriedades térmicas nos locais onde este aquífero é confinado pelos basaltos Serra Geral.

O sistema aquífero é formado por arenitos eólicos do período Jurássico das formações Botucatu (Brasil), Tacuarembó (Argentina), Tacuarembó/Rivera (Uruguai), e Misiones (Paraguai) e pelos arenitos flúvio – lacustres do Triássico, das formações Pirambóia/ Rosário do Sul (Brasil).

As zonas de afloramento ocorrem em duas faixas situadas a oeste e leste da área de ocorrência e correspondem a aproximadamente 10% da área total do aquífero, sendo confinado nos 90% restantes.

A espessura média é de 250 m, enquanto que as vazões variam entre 60 a 200 m³ / h em áreas próximas as zonas de afloramentos e de 200 a 400 m³ /h nas áreas confinadas.

As águas são bicarbonatadas de cálcio e magnésio próximo das áreas de afloramento e sódicas nas zonas mais profundas. O pH é alcalino e os valores de resíduo seco variam de 200 a 600 mg/l. a temperatura varia de 18 a 63^o, dependendo da profundidade de ocorrência do aquífero.

Este sistema aquífero é de grande importância a nível regional e transnacional, representando um recurso fundamental para o desenvolvimento socioeconômico e no funcionamento e manutenção dos ecossistemas associados, tendo sido objeto de um projeto específico, financiado

5.7. SISTEMA ACUÍFERO GUARANÍ (SAG)

El Sistema Acuífero Guaraní está localizado en gran parte de la Cuenca del Río de la Plata, extendiéndose de la Cuenca Sedimentaria del Paraná hacia el área de la cuenca Chaco Paranaense.

Ocupa un área de aproximadamente 1.088.000 km² ocurriendo en cuatro países: Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay.

El clima regional en su área de ocurrencia está caracterizado como húmedo a sub-húmedo, con lluvias que van de 1200 a 1.500 mm/año.

Sus aguas tienen amplia utilización en el abastecimiento humano, industrial y en el turismo, como consecuencia de sus propiedades térmicas en los lugares donde este Acuífero está confinado por los basaltos de Serra Geral.

El Sistema Acuífero está formado por areniscas eólicas del período Jurásico de las formaciones Botucatu (Brasil), Tacuarembó (Argentina), Tacuarembó/Rivera (Uruguay), y Misiones (Paraguay) y por las areniscas fluvio-lacustres del Triásico, de las formaciones Pirambóia/Rosário do Sul (Brasil).

Las zonas de afloramiento ocurren en dos fajas situadas al Oeste y Este del área de ocurrencia y corresponden a aproximadamente 10% del área total del acuífero, siendo confinado en el 90% restante.

El espesor medio es de 250 m, mientras que los caudales varían entre 60 a 200 m³/h en áreas próximas a las zonas de afloramientos y de 200 a 400 m³/h en las áreas confinadas.

Las aguas son bicarbonatadas cálcico-magnesianas próximo a las áreas de afloramiento y sódicas en zonas más profundas. El pH es alcalino, y los valores de residuo seco varían de 200 a 600 mg/l. La temperatura varía de 18 a 63 °C, dependiendo de la profundidad de ocurrencia del acuífero.

Este sistema acuífero es de gran importancia a nivel regional y transnacional, representando un recurso fundamental para el desarrollo socioeconómico y en el funcionamiento y mantenimiento de los ecosistemas asociados, habiendo sido objeto de un proyecto específico

pelo Banco Mundial e desenvolvido pela OEA e os quatro países no período 2003 – 2008.

5.8. SISTEMA AQUÍFERO PERMO-CARBONÍFERO

O Sistema Aquífero Transfronteiriço Permo - Carbonífero está localizado na bacia hidrográfica do rio Uruguai, com uma área de 41.000. Km², sendo 20.000 km² no Uruguai e 21.000 km² no Brasil. Aflora na porção sul do Brasil e nordeste do Uruguai, entre as latitudes 52 ° e 56 ° W e 30 ° a 34 ° S, continuando em superfície na parte oriental dessas áreas.

A região é conhecida como Depressão Central Gaúcha, constituindo uma área sem grandes variações altimétricas, os picos mais altos localizados a cerca de 200 m, com relevo conhecidas como coxilhas.

O clima é temperado úmido, com chuvas ao longo de todo o ano, precipitações médias de 1.500 mm / ano e temperatura variando entre 22°C e 3°C.

O aquífero é poroso, não consolidado a consolidado e de baixa produtividade. Estão incluída a unidade Tres Islas no Uruguai, constituindo-se de arenitos finos a médios com níveis de areia grossa e cascalho, exibindo forte cimentação argilosa no Brasil.

Apesar dos dados de poços existentes e as características litológicas das unidades indiquem baixas potencialidades hidrogeológicas, esta unidade pode representar importante papel no abastecimento doméstico das pequenas populações dispersas na zona fronteira.

6. PRINCIPAIS AQUÍFEROS SEGUNDO AS SUBBACIAS HIDROGRÁFICAS

Na Bacia do **Alto Paraguai** as principais unidades hidrogeológicas são representadas pelos aquíferos Parecis (JKp), Furnas (D1f) e Botucatu (J3K1bt).

O aquífero Parecis ocorre de forma aflorante no extremo norte da área, com produtividade *muito alta*, sendo enquadrada na classe 1 de acordo com a metodologia adotada neste trabalho.

financiado pelo Banco Mundial e desenvolvido pela OEA e os quatro países no período 2003 – 2008.

5.8. SISTEMA ACUÍFERO PERMO-CARBONÍFERO

El Sistema Acuífero transfronterizo Permo-Carbonífero está localizado en la Cuenca hidrográfica del río Uruguay, con un área de 41.000 km², estando 20.000 km² en el Uruguay y 21.000 km² en el Brasil. Aflora en la porción Sur del Brasil y nordeste del Uruguay, entre las latitudes 52 ° y 56 ° W y 30 ° a 34 ° S, continuando en superficie en la parte oriental de esas áreas.

La región es conocida como Depresión Central Gaúcha, constituyendo un área sin grandes variaciones altimétricas, con los picos más altos localizados a cerca de 200 m, con relieve conocido como coxilhas.

El clima es templado húmedo, con lluvias a lo largo de todo el año, precipitaciones medias de 1.500 mm/año y temperatura variando entre 22 °C y 3 °C.

El Acuífero es poroso, no consolidado a consolidado y de baja productividad. Está incluida la unidad Tres Islas en el Uruguay, constituida por areniscas finas a medias con niveles de arena gruesa y grava, exhibiendo fuerte cementación arcillosa en el Brasil.

A pesar que los datos de pozos existentes y las características litológicas de las unidades indiquen bajas potencialidades hidrogeológicas, esta unidad puede representar un importante papel en el abastecimiento doméstico de las pequeñas poblaciones dispersas en la zona fronteriza.

6. PRINCIPALES ACUÍFEROS POR CUENCAS HIDROGRÁFICAS

En la Cuenca del **Alto Paraguay** las principales unidades hidrogeológicas están representadas por los Acuíferos Parecis (JKp), Furnas (D1f) y Botucatu (J3K1bt).

El Acuífero Parecis ocurre de forma aflorante en el extremo Norte del área, con productividad *muy alta*, siendo encuadrado en la clase 1 de acuerdo con la metodología adoptada en este trabajo.

Os aquíferos Furnas e Botucatu ocorrem tanto de forma aflorante quanto confinada, com produtividades variando entre *alta e moderada* (classes 2 e 3 - Furnas e 3 - Botucatu).

As unidades Tarijeño (Qt) e Yrendá (Qy), componentes do Sistema Aquífero SAYTTE e os depósitos da Formação Pantanal (Qp) representam os aquíferos transfronteiriços da subbacia, as duas primeiras ocupando espaços da Bolívia e Paraguai e a última adentrando áreas da Argentina, Bolívia e Paraguai. Todos apresentam produtividade *muito baixa, porém localmente baixa* (classe 5) de acordo com os dados disponíveis.

Aquíferos fraturados e cársticos ocorrem indistintamente, todos com baixas produtividades hidrogeológicas (*geralmente baixas, porém localmente muito baixas a pouco produtivas ou não aquíferas* – classe 5 e 6). Localmente destaca-se, a nordeste da bacia, o aquífero fraturado Cuiabá que participa do abastecimento da cidade de mesmo nome e de indústrias da região.

Nas Sub-bacias do **Médio e Baixo Paraguai** destacam-se, em termos de produtividade e área de ocorrência, extensos depósitos eólicos quaternários (Qp2 e Qe2), enquadrados nas classes de produtividade 2 e 3 (*alta a moderada*), além de manchas aluvionares de classe 5 (*geralmente baixa, porém localmente muito baixa*); a porção W-NW da subbacia é quase que totalmente preenchida por aquíferos fraturados de muito baixas produtividades (classe 5).

Na região nordeste, ocorrem rochas sedimentares constituintes do aquífero Misiones (Jm), constituinte do Sistema Aquífero Guaraní (SAG), composto por arenitos eólicos, enquadrado na classe de produtividade 3 (*moderada*), além do Aquífero fraturado Caacupe (Sc), constituído por arenitos silurianos com conglomerados basais, enquadrados na classe 4, de produtividade *baixa, porém localmente moderada*.

Nas Bacias do **Alto e Médio Paraná** rochas ígneas e metamórficas que ocorrem em suas porções norte e nordeste, dão origem a aquíferos fraturados das classes 5 (principalmente) e 4, de forma localizada. No restante da bacia predominam os sedimentos e lavas basálticas da Bacia do Paraná.

Los Acuíferos Furnas y Botucatu ocurren tanto de forma aflorante como confinada, con productividades variando entre *alta y moderada* (clases 2 y 3 - Furnas y 3 - Botucatu).

Las unidades Tarijeño (Qt) e Yrendá (Qy), componentes del Sistema Acuífero SAYTT y los depósitos de la Formación Pantanal (Qp) representan los Acuíferos transfronterizos de la sub-Cuenca. Las dos primeras ocupando territorios de Bolivia y Paraguay y la última penetrando en áreas de Argentina, Bolivia y Paraguay. Todos presentan productividad *muy baja, aunque localmente baja* (clase 5) de acuerdo con los datos disponibles.

Acuíferos fraturados y cársticos ocurren indistintamente, todos con bajas productividades hidrogeológicas (*generalmente bajas, aunque localmente muy bajas a poco productivas o no aquíferas* – clase 5 y 6). Localmente se destaca, al nordeste de la Cuenca, el acuífero fraturado Cuiabá que participa del abastecimiento de la ciudad de mismo nombre y de industrias de la región.

En las Sub-Cuencas del **Medio y Bajo Paraguay** se destacan, en términos de productividad y área de ocurrencia, extensos depósitos eólicos cuaternarios (Qp2 y Qe2), encuadrados en las clases de productividad 2 y 3 (*alta a moderada*), además de manchas aluvionares de clase 5 (*generalmente baja, aunque localmente muy baja*); la porción W-NW de la sub-Cuenca es casi totalmente ocupada por Acuíferos fraturados de muy bajas productividades (clase 5).

En la región nordeste, ocurren rocas sedimentarias constituyentes del Acuífero Misiones (Jm), componente del Sistema Acuífero Guaraní (SAG), compuesto por areniscas eólicas, encuadrado en la clase de productividad 3 (*moderada*), además del Acuífero fraturado Caacupe (Sc), constituído por areniscas silúricas con conglomerados basales, encuadrados en la clase 4, de productividad *baja, aunque localmente moderada*.

En las Cuencas del **Alto y Medio Paraná** rocas ígneas y metamórficas que ocurren en sus porciones Norte y nordeste, dan origen a acuíferos fraturados de las clases 5 (principalmente) y 4, de forma localizada. En el resto de la Cuenca predominan los sedimentos y lavas basálticas de la Cuenca del Paraná.

Destacam-se os aquíferos porosos Botucatu (J3K1bt) e Pirambóia (P3T1p), constituintes do SAG, variando entre as classes 1 e 3 (*muito alta, alta e moderada*), Bauru (K2b), da classe 4 (*geralmente baixa, porém localmente moderada*) e o aquífero fraturado Serra Geral (K1_delta_sg), com produtividades variando entre as classes 3 e 5 (*moderada, geralmente baixa, porém localmente moderada e geralmente baixa, porém localmente muito baixa*).

Na Bacia do **Baixo Paraná** predominam os depósitos recentes que constituem aquíferos de produtividades variando entre as classes 1 e 3 (*muito alta, alta e moderada*), representados pelas unidades Q1e, Qp e Q2e. Rochas fraturadas ocorrem nos extremos NE (granitos, gnaisses e migmatitos) e NW (basaltos tholeíticos), com produtividades variando entre as classes 4 e 5. Na porção central da bacia as unidades formadoras do SAG ocorrem extensamente, sempre de forma confinada e enquadradas na classe de produtividade 1 (*muito alta*).

O Sistema Aquífero Guaraní apresenta uma área estimada de 840.000 km² no Brasil, dos quais, cerca de 90 % encontram-se cobertos pelos basaltos da Formação Serra Geral, o que cria condições de confinamento e artesianismo. A sua espessura média é de 250 m. A profundidade e produtividade dos poços são extremamente variáveis. Nos locais confinados, o aquífero chega a ser explotado por poços com mais de 600 m de profundidade, que captam águas com elevada temperatura (30 a 45° C).

No **Alto Uruguai** existe predomínio das rochas vulcânicas que originam os aquíferos fraturados do sistema aquífero Serra Geral. Nessa região o sistema aquífero Guaraní ocorre predominantemente confinado por essas unidades.

Uma das unidades constituintes deste Sistema Aquífero, o aquífero Botucatu (J3K1bt) ocorre, por condicionantes topográficos na forma de não aquífero nesta região.

Aquíferos porosos do paleozóico enquadrados entre as classes 4 e 6 também ocorrem na área, representados pelas unidades Passa Dois (P2T1pd), Rio Bonito (P1rb) e Itararé (C2P1i).

Na porção argentina da subbacia, expressivos depósitos eólicos e lacustres pleistocênicos (Q1e) constituem aquíferos de muito alta produtividade

Se destacan los Acuíferos porosos Botucatu (J3K1bt) y Pirambóia (P3T1p), constituyentes del SAG, variando entre las clases 1 y 3 (*muy alta, alta y moderada*), Bauru (K2b), de la clase 4 (*generalmente baja, aunque localmente moderada*) y el acuífero fraturado Serra Geral (K1_delta_sg), con productividades variando entre las clases 3 y 5 (*moderada, generalmente baja, aunque localmente moderada y generalmente baja, aunque localmente muy baja*).

En la Cuenca del **Bajo Paraná** predominan los depósitos recientes que constituyen Acuíferos de productividades variando entre las clases 1 y 3 (*muy alta, alta y moderada*), representados por las unidades Q1e, Qp y Q2e. Rocas fraturadas ocurren en los extremos NE (granitos, gneisses y migmatitas) y NW (basaltos tholeíticos), con productividades variando entre las clases 4 y 5. En la porción central de la Cuenca las unidades formadoras del SAG ocurren extensamente, siempre de forma confinada y encuadradas en la clase de productividad 1 (*muy alta*).

El Sistema Acuífero Guaraní presenta un área estimada de 840.000 km² en el Brasil, de los cuales, cerca de 90 % se encuentran cubiertos por los basaltos de la Formación Serra Geral, el que crea condiciones de confinamiento y artesianismo. Su espesor medio es de 250 m. La profundidad y productividad de los pozos son extremadamente variables. En los lugares confinados, el acuífero llega a ser explotado por pozos con más de 600 m de profundidad, que captan aguas con elevada temperatura (30 a 45 °C).

En el **Alto Uruguay** existe predominio de rocas volcánicas que originan los Acuíferos fraturados del sistema acuífero Serra Geral. En esa región el sistema acuífero Guaraní ocurre predominantemente confinado por esas unidades.

Una de las unidades constituyentes de este Sistema Acuífero, el Acuífero Botucatu (J3K1bt) ocurre, por condicionantes topográficos en la forma de no Acuífero en esta región.

Acuíferos porosos del paleozoico encuadrados entre las clases 4 y 6 también ocurren en la área, representados por las unidades Passa Dois (P2T1pd), Rio Bonito (P1rb) e Itararé (C2P1i).

En la porción argentina de la sub-Cuenca, importantes depósitos eólicos y lacustres pleistocénicos (Q1e) constituyen Acuíferos de

(classe 1), constituindo-se em importante reserva hídrica.

Na Bacia do **Baixo Uruguai** continuam a predominar as rochas basálticas do aquífero Serra Geral (Brasil), chamado de aquífero Arapey em território uruguaio, não aflorando no lado argentino da subbacia. Em termos de produtividade situam-se na classe 5 (*geralmente baixa, porém localmente muito baixa*).

O SAG aparece na área ora de forma aflorante, representado pelas formações Botucatu e Pirambóia do lado brasileiro e ora na forma confinada, ocupando toda a região centro-norte da área. Suas produtividades variam entre 1 (muito alta) e 5 (geralmente baixa, porém localmente muito baixa).

Unidades não aquíferas ocorrem de forma expressiva no Uruguai, representadas pelas unidades Fray Bentos (Tfb), Libertad (Ql) e Grupo Melo (PIgm).

O Sistema Aquífero fraturado Serra Geral possui espessura média de 150 m e ocupa, principalmente, a porção sul da região hidrográfica. O sistema aquífero Bauru-Caiuá possui espessura média de 200 m e recobre o Serra Geral, ocupa toda a porção central da região hidrográfica com uma área estimada em 315.000 km².

O Paleozóico é representado pelos aquíferos do Grupo Passa Dois (Brasil) e Guichon-Mercedes, no Uruguai, ambos da classe 5 em termos de produtividade.

Finalmente, na Bacia do Prata, formada após a confluência dos rios Paraná e Uruguai, os aquíferos são representados pelos depósitos eólicos (Qe1) e eólicos-lacustres (Qe2), enquadrados respectivamente nas classes 1 (*muito alta*) e 2 (*alta*) em termos de produtividade. Não ocorrem mais unidades componentes do SAG nem as rochas vulcânicas do Sistema Serra Geral.

7. USO ATUAL DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NA BACIA DO PRATA

O natural desenvolvimento das populações urbana e rural, associado ao forte incremento das atividades agrícolas e industriais, tem incrementado bastante o uso dos recursos

muy alta productividad (clase 1), constituyéndose en importante reserva hídrica.

En la Cuenca del **Bajo Uruguay** continúan predominando las rocas basálticas del Acuífero Serra Geral (Brasil), llamado Acuífero Arapey en territorio Uruguayo, no aflorando en el lado argentino de la sub-Cuenca. En términos de productividad se sitúa en la clase 5 (*generalmente baja, aunque localmente muy baja*).

El SAG aparece en el área ya de forma aflorante, representado por las formaciones Botucatu y Pirambóia del lado brasileiro y ya en la forma confinada, ocupando toda la región centro-norte del área. Sus productividades varían entre 1 (muy alta) y 5 (generalmente baja, aunque localmente muy baja).

Unidades no aquíferas ocurren de forma expresiva en el Uruguay, representadas por las unidades Fray Bentos (Tfb), Libertad (Ql) y Grupo Melo (PIgm).

El Sistema Acuífero fracturado Serra Geral posee espesor medio de 150 m y ocupa, principalmente, la porción Sur de la región hidrográfica. El sistema acuífero Bauru-Caiuá posee espesor medio de 200 m y recubre el Serra Geral, ocupa toda la porción central de la región hidrográfica con un área estimada en 315.000 km².

El Paleozoico está representado por los Acuíferos del Grupo Passa Dois (Brasil) y Guichón-Mercedes, en el Uruguay, ambos de la clase 5 en términos de productividad

Finalmente, en la Cuenca del Plata, formada luego de la confluencia de los ríos Paraná y Uruguay, los Acuíferos están representados por los depósitos eólicos (Qe1) y eólicos-lacustres (Qe2), encuadrados respectivamente en las clases 1 (*muy alta*) y 2 (*alta*) en términos de productividad. No ocurren más unidades componentes del SAG ni las rocas volcánicas del Sistema Serra Geral.

7. USO ACTUAL DEL AGUA SUBTERRÂNEA EN LA CUENCA DEL PLATA

El natural desarrollo de las poblaciones urbana y rural, asociado al fuerte incremento de las actividades agrícolas e industriales, han incrementado bastante el uso de los recursos

hídricos, particularmente aqueles de origem subterrânea.

Este crescimento, como era de se esperar, além de parâmetros demográficos obedece a características intrínsecas dos aquíferos, como a ocorrência de unidades potencialmente produtivas, e a qualidade das águas subterrâneas.

A potabilidade das águas subterrâneas na bacia foi analisada, quanto à salinidade, levando em conta os valores das condutividades elétricas das amostras analisadas, visto que representam uma aproximação do teor total de sais dissolvidos.

As concentrações desses sais, expressas em $\mu\text{S}/\text{cm}$ foram dispostas em intervalos regulares distribuídos por toda a área da bacia, e apresentam os seguintes resultados:

0 – 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – Registrados apenas nas regiões dos extremos norte e nordeste do território brasileiro.

100 – 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – Predominando amplamente em toda a Bacia, principalmente na Sub-Bacia do Paraná, no Brasil, e porções menores nos demais países;

500 – 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – Este intervalo ocorre como faixas alinhadas de direção norte-sul, separando a Bacia do Paraná daquelas situadas mais a oeste da região, estendendo-se também por parte do território boliviano, a área do Pantanal brasileiro e regiões leste e oeste da Argentina;

1000 – 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – Este intervalo de concentração, que marca o início da ocorrência de águas com qualidade não adequadas à saúde humana dispõe-se no Chaco argentino e paraguaio, além da porção central e sul da Argentina;

> 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – A área de ocorrência deste intervalo de águas bastante salinizadas restringe-se a região do Chaco Paraguai e Argentino, correspondente a fração da área de ocorrência do aquífero SAYTT.

Na figura 08 se mostra a distribuição geográfica de ocorrência destes intervalos.

Como decorrência desta conjunção de fatores (aspectos demográficos x ocorrência de unidades

hídricos, particularmente aquellos de origen subterráneo.

Este crecimiento, como era de esperar, además de parámetros demográficos obedece a características intrínsecas de los Acuíferos, como la ocurrencia de unidades potencialmente productivas, y la calidad de las aguas Subterráneas.

La potabilidad de las aguas Subterráneas en la Cuenca fue analizada, en cuanto a la salinidad, teniendo en cuenta los valores de las conductividades eléctricas de las muestras analizadas, visto que representan una aproximación del tenor total de sales disueltas.

Las concentraciones de esas sales, expresadas en $\mu\text{S}/\text{cm}$ fueron dispuestas en intervalos regulares distribuidos por toda el área de la Cuenca, y presentan los siguientes resultados:

0 – 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – Registrados sólo en las regiones extremas Norte y Noreste del territorio brasileño.

100 – 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – Predominando ampliamente en toda la Cuenca, principalmente en la Sub-Cuenca del Paraná, en Brasil, y porciones más pequeñas en otros países;

500 – 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – Este intervalo ocurre como fajas alineadas de dirección Norte-Sur, separando la Cuenca del Paraná de aquellas situadas más al Oeste de la región, extendiéndose también por parte del territorio boliviano, el área del Pantanal brasileiro y regiones Este y Oeste de la Argentina;

1000 – 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – Este intervalo de concentración, que marca el inicio de la ocurrencia de aguas con calidad no adecuada a la salud humana se dispone en el Chaco argentino y Paraguayo, además de la porción central y sur de Argentina;

> 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – el área de ocurrencia de este intervalo de aguas bastante salinizadas se restringe a una región del Chaco Paraguayo y Argentino, correspondiente a la fracción del área de ocurrencia del Acuífero SAYTT.

En la figura 08 se muestra la distribución geográfica de ocurrencia de estos intervalos.

Como consecuencia de esta conjunción de factores (aspectos demográficos x ocurrencia de unidades

aquíferas x qualidade química das águas), as perfurações de poços distribuem-se de forma bastante compartimentada na bacia, conforme pode ser visto na figura 02.

Na bacia do Baixo Paraná observa-se a menor densidade de poços da área, com apenas 1,5 poços/10 km², correspondendo à baixa densidade demográfica e a exuberância hídrica superficial da área da Mesopotâmia Argentina.

Em seguida, com apenas 1,8 poços/10 km², vem a Bacia do Prata após a confluência dos rio Paraná e Uruguai, também com baixa densidade demográfica e boa ocorrência de águas de superfície.

Na Bacia do Alto Paraná, embora ocorram apenas 3,7 poços/10 km², este valor é decorrente de sua grande área de ocorrência, abrangendo parte do Centro-Oeste do Brasil, de pequena densidade populacional e muito rica em águas de superfície. Contudo, nesta área situa-se também o Estado de São Paulo, certamente o maior consumidor de águas subterrâneas do Brasil.

As Bacias 1 e 3 da figura 09, Alto e Baixo Paraguai, localizam-se na Amazônia brasileira, e áreas do Grande Chaco da América do Sul, englobando porções da Bolívia, Paraguai e Argentina. Mostram densidades de poços variando entre 2,4 e 4,5 poços/10 km². Além da baixa densidade populacional esta região ainda sofre com a ocorrência de áreas de maior salinização, o que inibe o incremento das perfurações no local.

As bacias do Alto e Baixo Uruguai mostram os valores mais elevados de densidade, exibindo números oscilando entre 18 e 70 poços/10 km². Embora a exploração de águas subterrâneas seja aí muito desenvolvida, tal fato reflete com certeza também, e talvez principalmente, a pequena área dessas sub-Bacias.

Na Argentina, as principais zonas com maior utilização de águas subterrâneas para abastecimento humano situam-se nas proximidades de Buenos Aires, enquanto que seu uso na pecuária é generalizado em todo o país, com exceção de alguns setores próximos à Cordilheira dos Andes.

acuíferas x calidad química de las aguas), las perforaciones de pozos se distribuyen de forma bastante compartimentada en la Cuenca, tal como puede ser visto en la figura 02.

En la Cuenca del Bajo Paraná se observa la menor densidad de pozos del área, con apenas 1,5 pozos/10 km², correspondiendo a la baja densidad demográfica y la exuberancia hídrica superficial del área de la Mesopotamia Argentina.

En seguida, con apenas 1,8 pozos/10 km², viene la Cuenca del Plata luego de la confluencia de los ríos Paraná y Uruguay, también con buena ocurrencia de aguas de superficie.

En la Cuenca del Alto Paraná, aunque existan apenas 3,7 pozos/10 km², este valor es consecuencia de su gran área de ocurrencia, abarcando parte del Centro-Oeste del Brasil, de pequeña densidad poblacional y muy rica en aguas de superficie. Con todo, en esta área se sitúa también el Estado de San Pablo, ciertamente el mayor consumidor de aguas Subterráneas del Brasil.

Las Cuencas 1 y 3 de la figura 09, Alto y Bajo Paraguay, se localizan en la Amazonia brasilera, y áreas del Gran Chaco de América del Sur, englobando porciones de Bolivia, Paraguay y Argentina. Muestran densidades de pozos variando entre 2,4 y 4,5 pozos/10 km². Además de la baja densidad poblacional esta región todavía sufre con la ocurrencia de áreas de mayor salinización, lo que inhibe el incremento de las perforaciones en el lugar.

Las Cuencas del Alto y Bajo Uruguay muestran los valores más elevados de densidad, exhibiendo números oscilando entre 18 y 70 pozos/10 km². Aunque la explotación de aguas Subterráneas sea ahí muy desarrollada, tal hecho refleja con certeza también, y tal vez principalmente, la pequeña área de esas sub-Cuencas.

En Argentina, las principales zonas con mayor utilización de aguas Subterráneas para abastecimiento humano se sitúan en las proximidades de Buenos Aires, mientras que su uso en la pecuaria está generalizado en todo el país, con excepción de algunos sectores próximos a la Cordillera de los Andes.

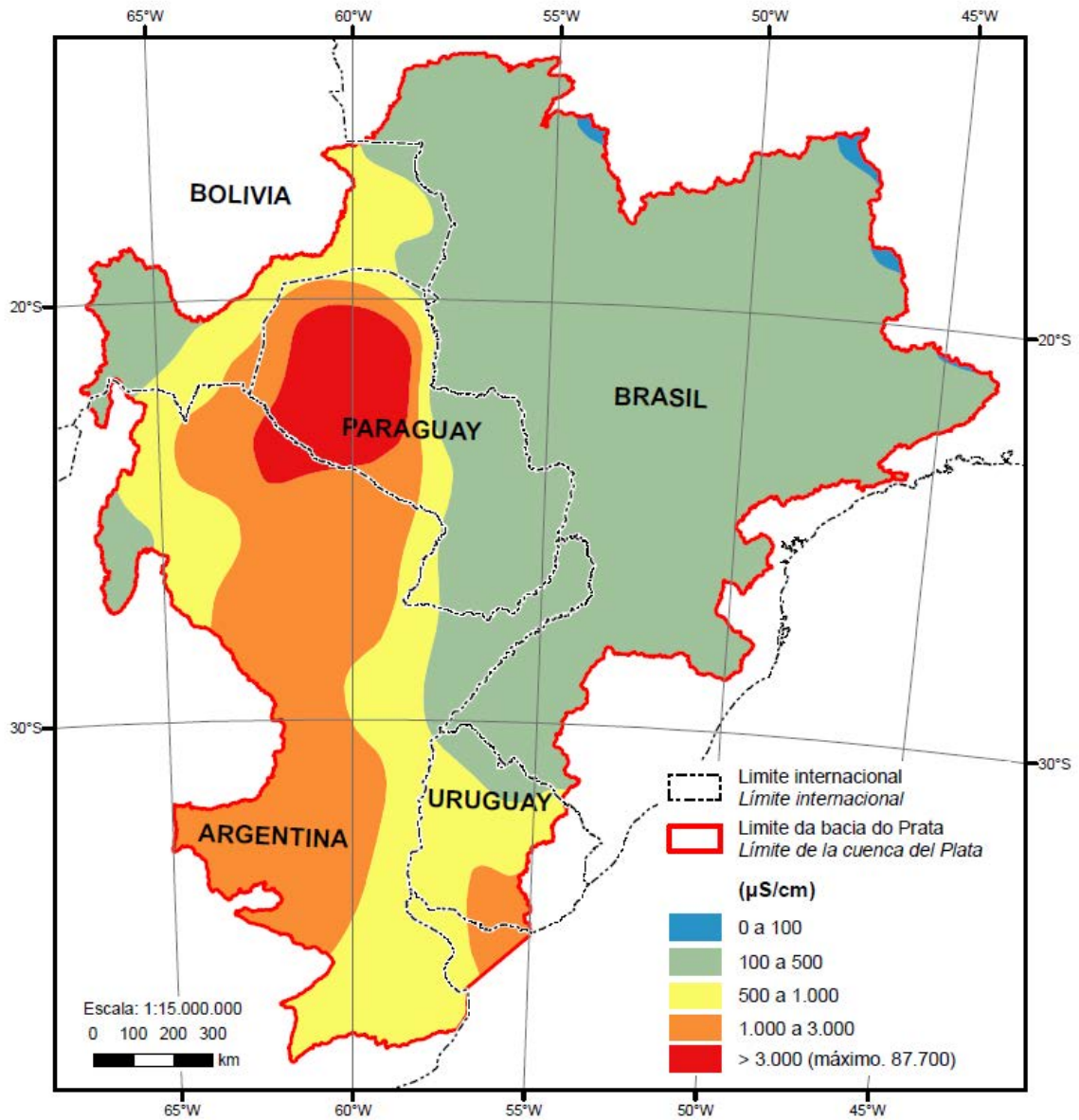


Figura 08 – Distribuição de salinidades das águas subterrâneas

Figura 08 – Distribución de salinidades de las aguas subterráneas

Na Bolívia, o principal uso das águas subterrâneas está no abastecimento público, agricultura e indústria.

No Brasil esse recurso tem importância fundamental no abastecimento humano e uso industrial em toda a região Sudeste e Sul. Esta região representa a zona onde ocorre a maior exploração de águas subterrâneas em toda a Bacia do Prata.

Também no Paraguai a água subterrânea tem amplo uso, para abastecimento humano e industrial, nas circunvizinhanças da capital Assunção. Em outras regiões tem uso principalmente para a pecuária e abastecimento público de localidades dispersas.

No Uruguai, a utilização de água subterrânea para abastecimento humano é relativamente baixa, uma vez que Montevidéu, que contém mais da metade da população do país, utiliza água de superfície no seu abastecimento e apenas 20% do volume total da água fornecida às populações do interior provém de águas subterrâneas.

A figura 09 mostra uma estimativa do volume total anual explorado de água subterrânea na bacia, tomando como base nas seguintes premissas básicas:

- Abastecimento humano público (Companhias de Saneamento): 20 horas/dia;
- Abastecimento humano privado (Condomínios, etc.): 8 horas/dia;
- Abastecimento industrial: 8 horas/dia;
- Abastecimento rural: 8 horas/dia.

A partir desses intervalos, o consumo total foi calculado através da fórmula:

$$V_{\text{Total}} = V_{\text{publ.}} + V_{\text{priv.}} + V_{\text{Ind.}} + V_{\text{rural}}$$

sendo cada consumo individual calculado através da fórmula

$$V = Q \text{ (m}^3\text{/h)} \cdot t \text{ (horas)}. \text{ 365}$$

En Bolivia, el principal uso de las aguas Subterráneas está en el abastecimiento público, agricultura e industria.

En Brasil ese recurso tiene importancia fundamental en el abastecimiento humano y uso industrial en toda la región Sudeste y Sur. Esta región representa la zona donde ocurre la mayor explotación de aguas Subterráneas en toda la Cuenca del Plata.

También en el Paraguay el agua subterránea tiene amplio uso, para abastecimiento humano e industrial, en los alrededores de la capital Asunción. En otras regiones tiene uso principalmente para la pecuaria y abastecimiento público de localidades dispersas.

En Uruguay, la utilización de agua subterránea para abastecimiento humano es relativamente baja, ya que Montevideo, que contiene más de la mitad de la población del país, utiliza agua superficial en su abastecimiento y apenas 20% del volumen total del agua utilizada para abastecimiento público es suministrada a las poblaciones del interior.

La figura 09 muestra una estimativa del volumen total anual explotado de agua subterránea en la Cuenca, tomando como base las siguientes premissas básicas:

- Abastecimiento humano público (Compañías de Saneamiento): 20 horas/día;
- Abastecimiento humano privado (Condominios, etc.): 8 horas/día;
- Abastecimiento industrial: 8 horas/día;
- Abastecimiento rural: 8 horas/día.

A partir de esos intervalos, el consumo total fue calculado a través de la fórmula:

$$V_{\text{Total}} = V_{\text{publ.}} + V_{\text{priv.}} + V_{\text{Ind.}} + V_{\text{rural}}$$

Siendo cada consumo individual calculado a través de la fórmula

$$V = Q \text{ (m}^3\text{/h)} \cdot t \text{ (horas)}. \text{ 365}$$

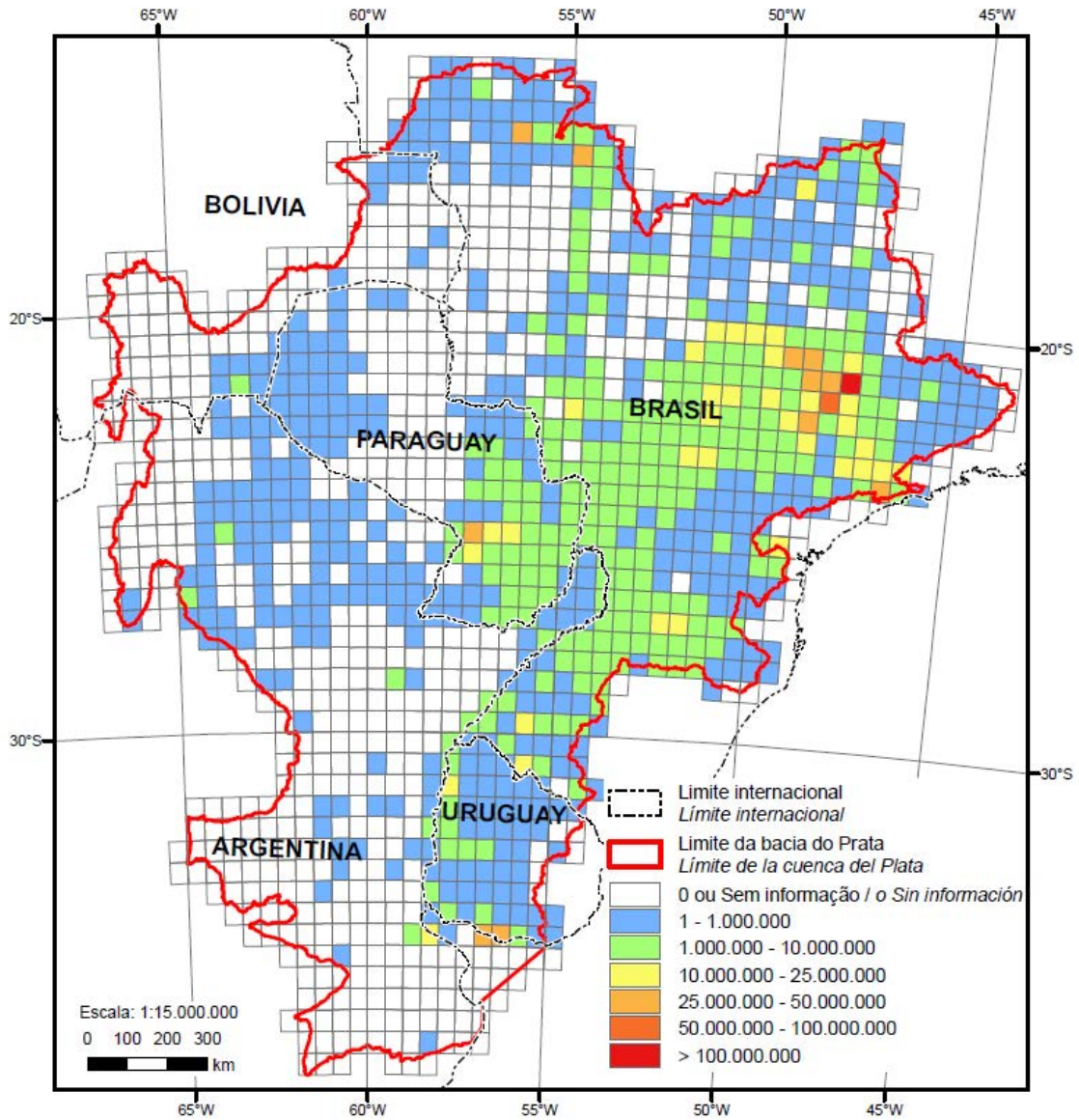


Figura 09 – Volumes Anuais Explorados de Águas Subterrâneas

Figura 09 – Volúmenes Anuales Explotados de Aguas Subterráneas

8. VULNERABILIDADE NATURAL DOS AQUÍFEROS À POLUIÇÃO

Foi esboçado um mapa de vulnerabilidade das águas subterrâneas, que representa o grau de **suscetibilidade** dos aquíferos serem afetados por uma carga poluidora.

O método utilizado foi baseado no trabalho realizado por DAEE-UNESP (2013) para o Estado de São Paulo, que apresenta uma modificação do método proposto por Foster & Hirata (1988), onde são atribuídos valores quantificando os parâmetros físicos como condição do aquífero, tipo litológico e profundidade do nível d'água.

A parametrização da litologia considerou o grau de consolidação, caráter litológico, grau de fraturamento e capacidade relativa de atenuação, ou seja, o conteúdo de argila.

A profundidade do nível d'água é estimada com base na superfície potenciométrica calculada para área, subtraída da superfície do modelo digital de terreno.

Para as três classes de parâmetros foram definidos índices proporcionalmente menores, quanto mais protegido, mais maciço, maior teor de argila e mais profundo o nível d'água. É considerado o nível do lençol freático para os aquíferos livres ou o teto para aquíferos confinados. A tabela 03 apresenta o índice de vulnerabilidade natural dos aquíferos, de acordo com o do DAEE-UNESP (2013).

A suscetibilidade à contaminação para a Bacia do Prata foi calculada para as porções aflorantes e livres dos aquíferos, considerando uma única superfície freática para toda a bacia. A superfície potenciométrica foi calculada a partir da interpolação das drenagens extraídas do MDT, assumindo que essas sejam as cotas aflorantes dos aquíferos. Devido à limitação técnica a melhor resolução alcançada para a interpolação foi 300 m.

A profundidade do nível d'água representa a subtração entre a superfície potenciométrica calculada e o próprio MDT.

O mapa geológico foi classificado de acordo com os índices apresentados na tabela 3 e

8. VULNERABILIDAD NATURAL DE LOS ACUÍFEROS A LA CONTAMINACIÓN

Fue esbozado un mapa de vulnerabilidad de las aguas Subterráneas, que representa el grado de **susceptibilidad** de los Acuíferos ser afectados por una carga contaminadora.

El método utilizado fue basado en el trabajo realizado por DAEE-UNESP (2013) para el Estado de San Pablo, que presenta una modificación del método propuesto por Foster & Hirata (1988), donde son atribuidos valores cuantificando los parámetros físicos como condición del acuífero, tipo litológico y profundidad del nivel de agua.

La parametrización de la litología consideró el grado de consolidación, carácter litológico, grado de fracturación y capacidad relativa de atenuación, o sea, el contenido de arcilla.

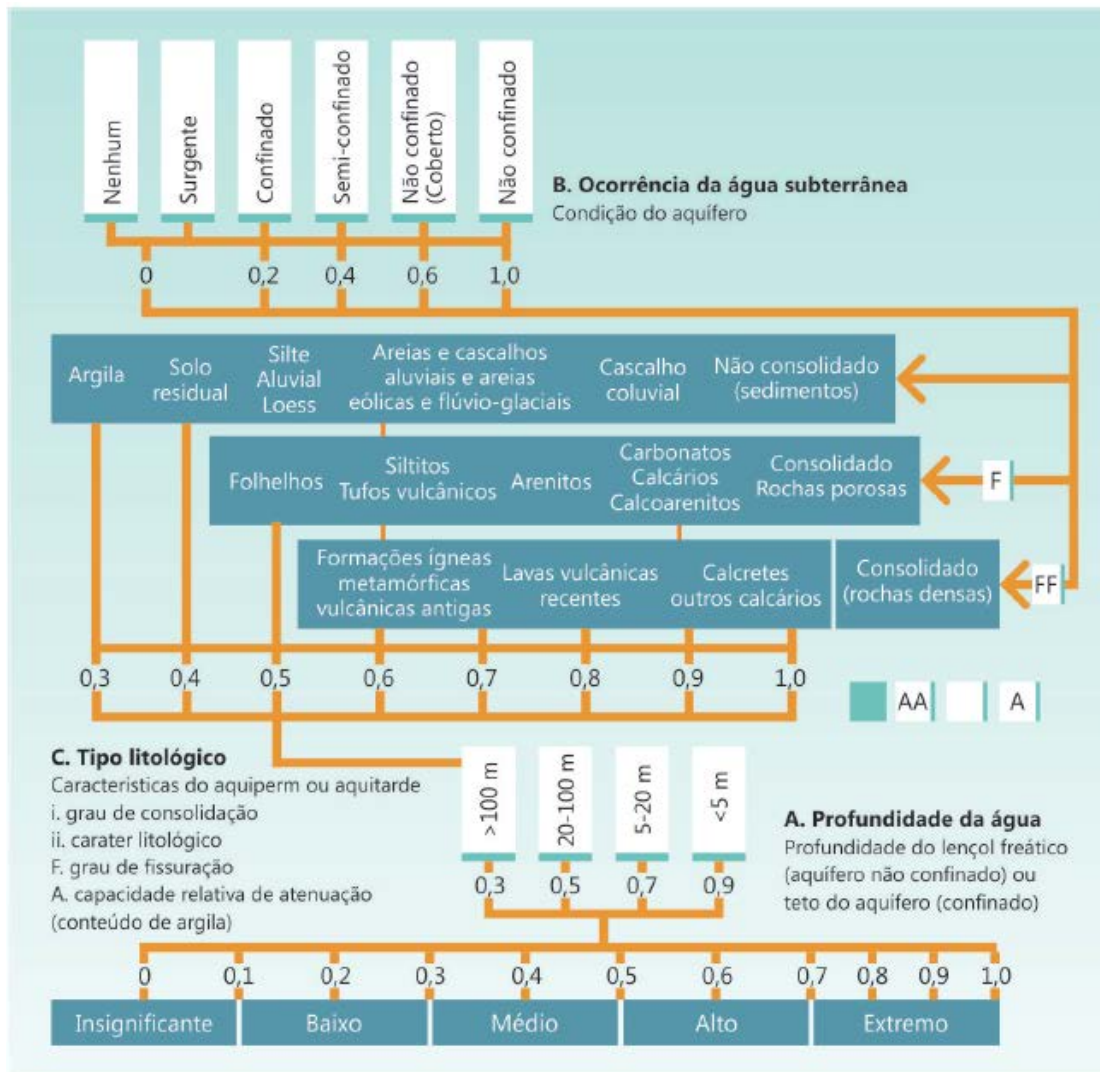
La profundidad del nivel de agua es estimada con base en la superficie potenciométrica calculada para el área, sustraída de la superficie del modelo digital de terreno.

Para las tres clases de parámetros fueron definidos índices proporcionalmente menores, cuanto más protegido, más macizo, mayor tenor de arcilla y más profundo el nivel de agua. Está considerado el nivel de la napa freática para los Acuíferos libres o el techo para Acuíferos confinados. La tabla 03 presenta el índice de vulnerabilidad natural de los Acuíferos, de acuerdo con el del DAEE-UNESP (2013).

La susceptibilidad a la contaminación para la Cuenca del Plata fue calculada para las porciones aflorantes y libres de los Acuíferos, considerando una única superficie freática para toda la Cuenca. La superficie potenciométrica fue calculada a partir de la interpolación de los drenajes extraídos del MDT, asumiendo que esas sean las cotas aflorantes de los Acuíferos. Debido a la limitación técnica la mejor resolución alcanzada para la interpolación fue 300 m.

La profundidad del nivel de agua representa la sustracción entre la superficie potenciométrica calculada y el propio MDT.

El mapa geológico fue clasificado de acuerdo con los índices presentados en la tabla 3 y



Classes de Profundidade de NA (metros)	
< 2	
2 - 5	
5 - 10	
10 - 20	
> 20	

Tabela 03 – Índice de vulnerabilidade natural dos aquíferos (DAEE, 2013)

Tabla 03 – Índice de vulnerabilidad natural de los acuíferos (DAEE, 2013)

multiplicados pelos índices atribuídos à profundidade do nível d'água. O resultado mostra que as regiões mais baixas ou com drenagem mais densa, como o Chaco, Pantanal e as drenagens principais apresentam vulnerabilidades altas a extrema. O compartimento representado pela Bacia Sedimentar do Paraná tem vulnerabilidade média à baixa em relação as demais e porções

multiplicados por los índices atribuidos a la profundidad del nivel de agua. El resultado muestra que las regiones más bajas o con drenaje más denso, como el Chaco, Pantanal y los drenajes principales presentan vulnerabilidades altas a extrema. El compartimento representado por la Cuenca Sedimentaria del Paraná tiene vulnerabilidad media a baja en relación a las

elevadas como os Andes bolivianos apresentam baixo índice de vulnerabilidade.

Como resultado destas simulações, é apresentado na figura 10, o “Mapa de Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos à Poluição”.

demás y porciones elevadas como los Andes bolivianos presentan Bajo índice de vulnerabilidad.

Como resultado de estas simulaciones, se presenta en la figura 10, el “Mapa de Vulnerabilidad Natural de los Acuíferos a la Contaminación”.

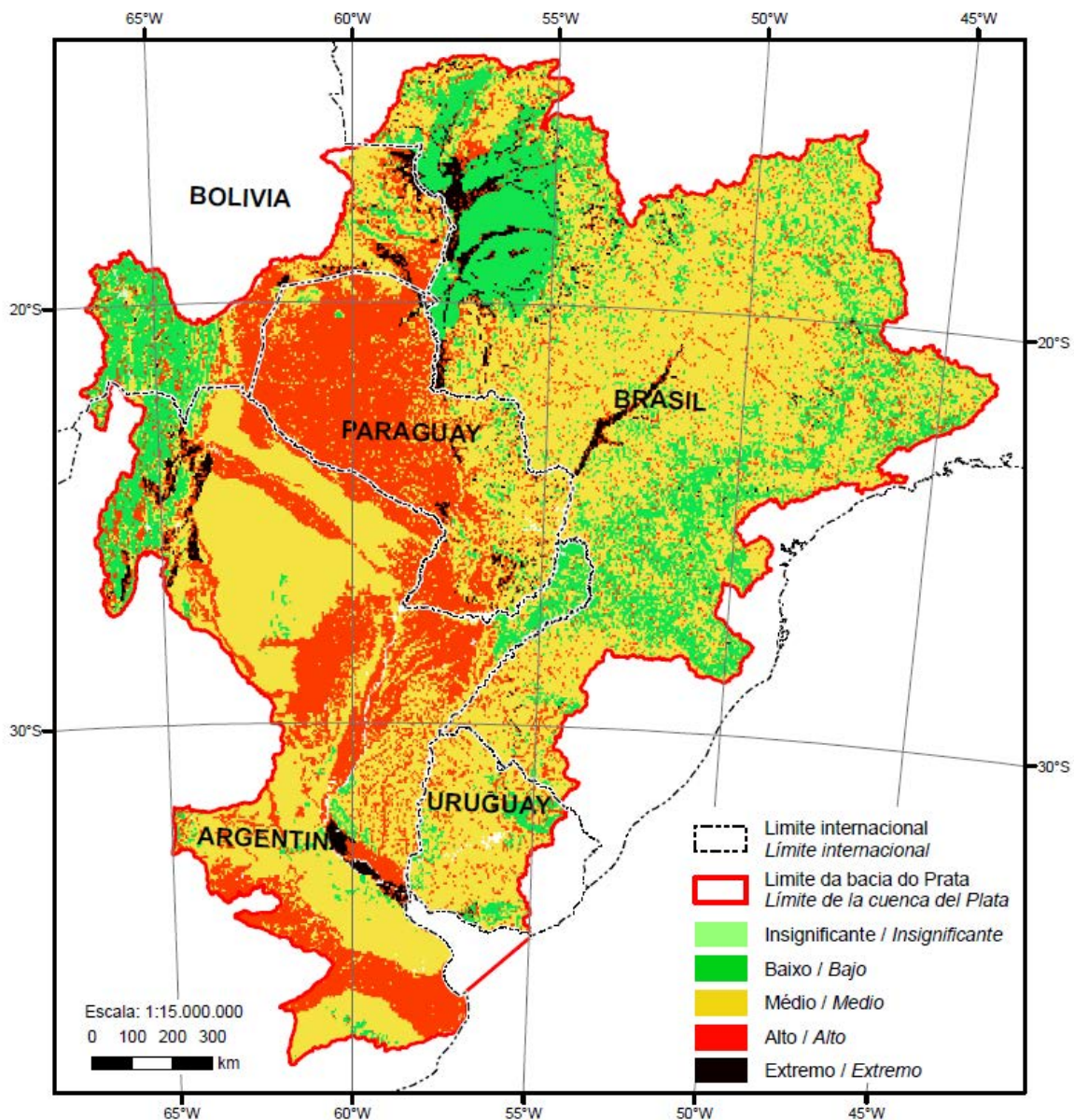


Figura 10 – Vulnerabilidade Natural das Águas Subterrâneas da Bacia do Prata

Figura 10 – Vulnerabilidad Natural de las Aguas Subterráneas de la Cuenca del Plata

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS / REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CIC - COMITÊ INTERGOVERNAMENTAL COORDENADOR DOS PAÍSES DA BACIA DO PRATA, 2014. **Programa para a Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos da Bacia do Prata, Considerando os Efeitos Decorrentes da Variabilidade e Mudança no Clima**. Disponível em: www.cicplata.org. Acessado em 12/09/2014.

DAEE/UNESP/GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2013. **Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. Diretrizes de Utilização e Proteção**. São Paulo. 44 p.

DINIZ, J. A. Oliveira, 2012. **Proposta metodológica para elaboração de mapas hidrogeológicos**. Recife: CPRM, 2012. (Publicação Interna).

DINIZ, J.A.O. & MONTEIRO, A.B. & SILVA, R. C. da & DE PAULA, T.L.F., 2014. **Manual de Cartografia Hidrogeológica**. CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. 119p.

FOSTER, S. S. D. & HIRATA, R. C. A., 1998. **Groundwater Quality Protection: a guide for water service companies, municipal authorities and environment agencies**. Washington, D. C., World Bank, 114 p.

STRUCKMEIER, W. F.; MARGAT, J, 1995. **Hydrogeological maps: a guide and a standard legend**. Hannover: International Association of Hydrogeologists, 177 p. (International Contributions to Hydrogeology, 17).

TUCCI, CARLOS, E.M. 2004. **Visão dos Recursos Hídricos da Bacia do Prata. Visão Regional. Vol. 1**.GEF/CIC/PNUMA/OEA. Buenos Ayres. 219p.

UNESCO. 1983. **International legend for hydrogeological maps**. Paris: UNESCO. 51p.

UNESCO/DNPM/CPRM, 1996. **Mapa Hidrogeológico da América do Sul. Texto Explicativo**. Brasília, 218 p.

UNESCO, 2007. **Sistemas Aquíferos Transfronteirizos en las Américas – Evaluación Preliminar**, Serie ISARM Américas N^o 1.