

**ELABORAÇÃO DO
PLANO ESTADUAL
DE RECURSOS
HÍDRICOS**

PRODUTO 1.2 - PARTE B

**DIAGNÓSTICO DAS
DISPONIBILIDADES HÍDRICAS
SUBTERRÂNEAS**

Revisão Final

2.010

Apoio



Secretaria de Recursos Hídricos
e Ambiente Urbano

Ministério do
Meio Ambiente



cobrape

SUMÁRIO

PARTE B

APRESENTAÇÃO	3
RESUMO EXECUTIVO.....	5
1. AS PRINCIPAIS UNIDADES AQÜÍFERAS DO ESTADO DO PARANÁ	8
1.1. Unidade Aqüífera Pré-Cambriana	12
1.2. Unidade Aqüífera Karst.....	13
1.3. Unidade Aqüífera Paleozóica	14
1.4. Unidade Aqüífera Média-Superior.....	14
1.5. Unidade Aqüífera Paleozóica Superior.....	15
1.6. Unidade Aqüífera Guarani	15
1.7. Unidades Aqüíferas Serra Geral Norte e Sul	16
1.8. Unidade Aqüífera Caiuá	18
1.9. Unidade Aqüífera Guabirotuba.....	18
1.10. Unidade Aqüífera Costeira.....	19
2. ÁREAS DE RECARGA E DESCARGA	21
3. VOLUMES ATUALMENTE EXPLOTADOS.....	25
3.1. Poços Outorgados pela SUDERHSA	34
3.1.1. Unidade Aqüífera Pré-Cambriana	36
3.1.2. Unidade Aqüífera Karst.....	36
3.1.3. Unidade Aqüífera Paleozóica Inferior	36
3.1.4. Unidade Aqüífera Paleozóica Média-Superior	37
3.1.5. Unidade Aqüífera Paleozóica.....	38
3.1.6. Unidade Aqüífera Guarani.....	39
3.1.7. Unidade Aqüífera Serra Geral (Norte e Sul)	40
3.1.8. Unidade Aqüífera Caiuá	40
3.1.9. Unidade Aqüífera Guabirotuba	41
3.1.10. Unidade Aqüífera Costeira.....	41
4. DISPONIBILIDADE HÍDRICA DOS AQÜÍFEROS PARANAENSES	43
5. QUALIDADE DAS ÁGUAS DAS UNIDADES AQÜÍFERAS PARANAENSES.....	50
5.1. Caracterização Hidroquímica das Unidades Aqüíferas	54
5.1.1. Unidade Aqüífera Pré-Cambriana	56
5.1.2. Unidade Aqüífera Karst.....	58
5.1.3. Unidade Aqüífera Paleozóica Inferior	60
5.1.4. Unidade Aqüífera Paleozóica-Média-Superior.....	62
5.1.5. Unidade Aqüífera Paleozóica Superior	64
5.1.6. Unidade Aqüífera Guarani.....	66

5.1.7. Unidade Aqüífera Serra Geral Norte e Sul.....	67
5.1.8. Unidade Aqüífera Caiuá.....	69
5.1.9. Unidade Aqüífera Guabirotuba	71
5.1.10. Unidade Aqüífera Costeira	73
5.2. Qualidade da Água para o Consumo Humano	75
5.2.1. Unidade Aqüífera Pré-Cambriana.....	75
5.2.2. Unidade Aqüífera Karst.....	76
5.2.3. Unidade Aqüífera Paleozóica Inferior	77
5.2.4. Unidade Aqüífera Paleozóica Média-Superior	78
5.2.5. Unidade Aqüífera Paleozóica Superior	79
5.2.6. Unidade Aqüífera Guarani.....	80
5.2.7. Unidade Aqüífera Serra Geral Norte e Sul.....	96
5.2.8. Unidade Aqüífera Caiuá.....	97
5.2.9. Unidade Aqüífera Guabirotuba	98
5.2.10. Unidade Aqüífera Costeira	99
5.3. Qualidade da Água para Irrigação	100
5.3.1. Unidades Aqüíferas Pré-Cambriana e Karst.....	102
5.3.2. Unidade Aqüífera Paleozóica Inferior	103
5.3.3. Unidades Aqüíferas Paleozóica Média-Superior e Superior.....	104
5.3.4. Unidade Aqüífera Guarani.....	106
5.3.5. Unidade Aqüífera Serra Geral Norte e Sul.....	108
5.3.6. Unidade Aqüífera Caiuá.....	109
5.3.7. Unidade Aqüífera Guabirotuba	110
5.3.8. Unidade Aqüífera Costeira	111
5.4. Qualidade da Água Subterrânea para Uso Industrial	112
6. AVALIAÇÃO DA APTIDÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PARANAENSES	115
6.1. Aptidão Potencial das Águas da Unidade Aqüífera Pré-Cambriana	115
6.2. Aptidão das Águas da Unidade Aqüífera Karst.....	115
6.3. Aptidão das Águas da Unidade Aqüífera Paleozóicas Inferior e Média-Superior.....	116
6.4. Aptidão das Águas da Unidade Aqüífera Guarani.....	116
6.5. Aptidão das Águas da Unidade Aqüífera Serra Geral Norte e Sul.....	117
6.6. Aptidão das Águas da Unidade Aqüífera Caiuá	117
6.7. Aptidão das Águas da Unidade Aqüífera Guabirotuba.....	118
6.8. Aptidão das Águas Armazenadas em Sedimentos Aluvionares	118
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	120

ANEXO 1. Localização dos Aqüíferos no Estado do Paraná

ANEXO 2. Disponibilidade Hídrica Subterrânea por Área Estratégica de Gestão (AEG)

APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

O presente relatório, denominado “*Produto 1.2 – Diagnóstico das Disponibilidades Hídricas Subterrâneas*”, integra a *PARTE B* dos produtos previstos para o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Paraná, em execução pelo Instituto de Águas do Paraná (antiga Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – SUDERHSA), no âmbito do Contrato nº 19/2006 – SUDERHSA / COBRAPE.

Este produto é dividido em 04 (quatro) partes:

- **PARTE A**

Diagnóstico das Disponibilidades Hídricas Superficiais

- **PARTE B**

Diagnóstico das Disponibilidades Hídricas Subterrâneas

- **PARTE C**

Volume I - Monitoramento dos Recursos Hídricos Superficiais

Volume II - Monitoramento dos Recursos Hídricos Subterrâneos

Volume III - Nota Técnica da Estimativa de Custos das Redes de Monitoramento Hidrometeorológica Superficial e Subterrânea

- **PARTE D**

Levantamento e Análise de Eventos Críticos

RESUMO EXECUTIVO

RESUMO EXECUTIVO

Este relatório, *Diagnóstico das Disponibilidades Hídricas*, é responsável por apresentar a *Parte B* do *Produto 1.2* que trata das Águas Subterrâneas, divididos em seis itens que abordam diretamente o assunto, contendo referência bibliográfica e um anexo da localização dos aquíferos no Estado do Paraná.

No primeiro item são descritas as **Unidades Aquíferas do Estado do Paraná** e suas principais características como: a composição litológica, localização e amplitude das formações geológicas, precipitações, as vazões médias de produção por poços, as profundidades de perfuração dos poços, considerações, influências e peculiaridades de cada Unidade Aquífera.

No segundo item são abordadas as **Áreas de Recarga e Descarga**, de maneira a entender o balanço hídrico, através das infiltrações das águas nos diferentes tipos de solos ou de afloramentos de fontes naturais, entre outras formas.

O terceiro item comenta sobre os **Volumes Atualmente Explotados**, de acordo com os dados históricos e monitorados das prestadoras de abastecimento público, neste caso, principalmente a SANEPAR e também através dos poços outorgados pela SUDERHSA.

O quarto item apresenta a **Avaliação Preliminar da Disponibilidade Hídrica Subterrânea**, que consiste numa análise preliminar dos dados para avaliação do potencial e das disponibilidades hídricas subterrâneas dos aquíferos paranaenses.

O quinto item descreve a **Qualidade das Águas das Unidades Aquíferas Paranaenses**, de forma a apontar a caracterização hidroquímica das águas dos Unidades Aquíferas, para o consumo humano, para irrigação e para o uso industrial.

E finalmente, o sexto e último, será observada a **Avaliação da Aptidão das Águas Subterrâneas Paranaenses**, de modo que serão apresentadas as recomendações sobre as aptidões de cada aquífero, embasadas nas suas características qualitativas.

De forma a sintetizar as informações contidas no relatório, a seguir será apresentado um quadro resumo, que apresenta algumas das principais características das Unidades Aquíferas do Estado do Paraná, entre elas, as áreas ocupadas pelos mesmos. Estas áreas foram obtidas através do ATIG da SUDERHSA e os resultados obtidos por esta estimativa foram discutidos com os técnicos da SUDERHSA, para que os mesmos estivessem de acordo com o critério utilizado para a elaboração do relatório.

Quadro Resumo das Principais Características das Principais Unidades Aquíferas do Estado do Paraná.

Aqüífero	Caracterização Geral	Poços Operantes			Qualidade	Média dos Parâmetros																Aptidão			Observações	
		Municípios (unid.)	Poços (unid.)	Volume (m³/ ano)	Tipo de Água	Alcalinidade total	Dureza total	TDS	Silica dissolvida	Bicarbonato	Carbonato	Cloreto	Fluoreto	Fosfato	Sulfato	Nitrato	Nitrito	Cálcio	Magnésio	Sódio	Potássio	Ferro	Consumo Humano	Irrigação		Industrial
Pré-Cambriana	Formação de migmatitos, rochas granitóides e gnáissicas, localiza-se, predominantemente, na Região Metropolitana de Curitiba numa área de aproximadamente 15.555,27 km². A vazão média é de 6,4 m³/h/poço, com vazão produzida de 1,5 m³/s que correspondem a 20% da demanda de Curitiba.	12	55	3.234.746	HCO3-Ca, HCO3-Na, HCO3-Ca-Mg, HCO3-Ca-Na, HCO3-Mg-Ca, HCO3-Na-Ca, HCO3-Na-Mg e HCO3-Cl-Na.	79,80	63,42	126,69	32,05	95,72	0,48	2,73	0,84	0,33	2,48	3,22	0,01	16,33	5,60	10,76	2,00	0,74	Adequada	Adequada	Adequada	Fundamental ao complemento no abastecimento público. Obs: Ótima qualidade para consumo humano.
Karst	Formação de mármores calcíticos e dolomíticos com extensão lateral de 15 km, localiza-se na bacia do Ribeira, ocupando uma área de 4.501,93 km². A vazão média é de 160 m³/h/poço, sendo que todas as cidades localizadas sobre ele são abastecidas com águas subterrâneas.	8	49	16.937.459	HCO3-Ca, HCO3-Mg, HCO3-Ca-Mg, HCO3-Mg-Ca e HCO3-Na-Ca.	169,13	166,71	195,69	12,97	204,74	0,35	2,43	0,11	0,40	1,17	3,40	0,01	36,56	18,75	3,27	1,52	0,18	Adequada	Adequada	Não é adequada para o uso em caldeiras	Representa uma alternativa para o abastecimento de parte da RMC. Na irrigação apresenta alta produtividade. Obs: Ótima qualidade para consumo humano
Paleozóica Inferior	Formação de arenitos, matriz caulinitica siltico-argilosos, localiza-se no Segundo Planalto Paranaense numa área de aproximadamente 7.000,34 km². A vazão média varia de 15 a 20 m³/h/poço. A Formação Ponta Grossa não se constitui aqüífero porque não apresenta condutividade hidráulica. Apenas coincidem com aqüífero Furnas, como camadas confinantes.	35	89	5.559.668	HCO3-Ca, HCO3-Mg, HCO3-Na, HCO3-Ca-Mg, HCO3-Ca-Na, HCO3-Na-Ca, SO4-Ca, SO4-Na e Cl-Na.	57,57	84,25	169,00	21,58	67,80	1,21	2,44	0,19	0,22	70,51	1,38	0,02	26,94	4,13	23,75	1,75	0,33	Adequada	Adequada	Adequada	As vazões mais elevadas (86 m3/h) foram obtidas nos poços de Arapoti e Ibiti.
Paleozóica Média-Superior	Formação de arenitos intercalados com diamictitos, argilitos e folhelhos várnicos, localiza-se no Segundo Planalto Paranaense. A vazão média varia de 1 a 6 m³/h/poço, para Itararé e 14 m³/h/poço para Rio Bonito. Abrange uma área de aproximadamente 19.533 km².				HCO3-Ca, HCO3-Mg, HCO3-Na, HCO3-Ca-Mg, HCO3-Ca-Na, HCO3-Na-Ca, HCO3-Na-Mg e SO4-Na.	81,30	54,59	137,80	24,06	95,86	1,83	1,92	0,22	0,26	22,26	0,71	0,01	15,66	3,87	23,31	1,41	0,43	Adequada	Adequada com restrição	Adequada	Os teores elevados de sulfatos nas águas do aqüífero Rio Bonito restringem o uso para o consumo humano.
Paleozóica Superior	Formação de siltitos e argilitos, localiza-se no Segundo Planalto do Paraná. As vazões não ultrapassam 5 m3/h/poço. Abrange uma área de 17.117,06 km².				HCO3-Ca, HCO3-Na, HCO3-Ca-Mg, HCO3-Ca-Na, HCO3-Mg-Ca, HCO3-Na-Ca e HCO3-Na-Mg.	169,79	50,94	233,38	28,41	179,76	11,61	2,96	0,72	0,41	8,62	2,36	0,03	13,79	4,07	61,94	4,07	0,30	Adequada	Adequada com restrição	Adequada com restrição (volume de produção)	Não são classificadas como aqüíferos.
Guarani	Formação de estratos eólicos e flúvio-lacustres. No Estado do Paraná, localiza-se no Terceiro Planalto Paranaense, com uma área de aproximadamente 103.930,92 km². As vazões variam de 540 e 780 m³/h/poço. Encontra-se sotoposto aos derrames de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral.	14	39	4.460.764	HCO3-Ca, HCO3-Na, HCO3-Ca-Mg e SO4-Na.	sem parâmetro	sem parâmetro	269,00	21,20	30,30	sem parâmetro	40,10	0,70	sem parâmetro	29,10	sem parâmetro	sem parâmetro	2,00	0,20	99,70	0,80	0,70	Adequada	Zonas de baixo e médio confinamento: adequada Zona de alto: não adequada.	Adequada	Turismo termal; Secagem e armazenamento de grãos; Calefação central; Evisceração e escaldagem de aves.
Serra Geral Norte	Formação de lavas basálticas. Localiza-se no Terceiro Planalto com uma área de 61.095,33 km². A média das vazões dos poços correspondente por Bacia é de 25 m³/h para a do Piquiri, 35 m³ /h para as do Paraná, 21 m³/h para a do Ivaí, 27 m³/h para a do Pirapó e as do Paranapanema e 14 m³/h para as do Tibagi e Cinzas.	154	421	64.757.371	HCO3-Ca, HCO3-Na, HCO3-Ca-Mg, HCO3-Ca-Na e HCO3-Mg-Ca e Cl-SO4-Na.	79,85	52,10	121,14	39,09	90,11	2,56	2,04	0,18	0,17	1,69	4,10	0,03	14,76	3,75	15,95	0,87	1,62	Adequada	Adequada com restrição	Adequada	Baixo custo da captação (profundidades inferiores a 200 m e as vazões médias variam de 5 a 30 m3/h). Obs: Ótima qualidade para o consumo humano.
Serra Geral Sul	Formação de lavas basálticas. Localiza-se no Terceiro Planalto com uma área de 40.864,30 km². A média das vazões dos poços é de 5 m³/h para a Bacia do Iguaçu.				HCO3-Ca, HCO3-Na, HCO3-Ca-Mg, HCO3-Ca-Na, SO4-Ca, SO4-Na, Cl-Mg, Cl-Na e Cl-Ca-Mg.	66,67	349,32	1010,53	21,11	80,89	0,21	469,56	0,35	1,07	68,46	14,18	61,70	81,57	34,79	159,13	23,04	2,40	Adequada	Muita restrição para a irrigação.	Adequada	Possível fonte de abastecimento da cidade de Paranaguá.
Costeira	Formação de sedimentos de origem marinha e eólica, cordões arenosos e sedimentos argilo-arenosos. Localiza-se na bacia Litorânea. A vazão média é de 12,5 m³/h/poço. As ocorrências de águas subterrâneas no litoral se referem às cavas para extração de areia, que podem ser aproveitadas para o consumo humano. Abrange uma área de aproximadamente 1.904,33 km².																									
Caiuá	Formação de arenitos finos a médios com um teor de até 30% de matriz siltico-argilosa e com cimento limonítico e carbonático, intercalados por camadas de siltitos e argilitos. Localiza-se na região noroeste do Estado com área de aproximada de 28.447,96 km². A vazão média é de 20 m³/h/poço sendo que 80% da população que vive sobre este aqüífero é abastecida com águas deste reservatório subterrâneo.	46	147	13.109.636	HCO3-Ca, HCO3-Mg, HCO3-Na, HCO3-Ca-Mg, HCO3-Ca-Na, HCO3-Na-Ca, HCO3-Na-Mg, SO4-Na e Cl-Na.	57,97	53,75	195,49	36,92	67,51	1,68	26,90	2,53	0,31	54,96	6,25	10,83	14,14	4,48	54,13	2,50	0,23	Adequada	Adequada com restrição	Adequada	Susceptibilidade à contaminação por agroquímicos e erosão do solo. Obs: Ótima qualidade para o consumo humano.
Guabirotuba	Formação de areias arcossianas intercaladas com argilitos e siltitos. Localiza-se na Região Metropolitana de Curitiba com área de aproximadamente 867,33 km². A vazão média é de 5 m³/h/poço. Estima-se capacidade para produzir até 2.160 m³ necessário para abastecer pelo menos 172.800 pessoas.	1	5	706.064	HCO3-Ca, HCO3-Mg, HCO3-Na, HCO3-Ca-Mg, HCO3-Ca-Na, HCO3-Mg-Ca, HCO3-Na-Ca e HCO3-Na-Mg.	101,53	84,87	156,74	38,49	122,54	0,64	4,63	0,35	0,59	4,45	3,65	0,02	22,13	7,24	13,86	2,18	0,70	Adequada	Adequada	Adequada com restrição (volume de produção)	Pode apresentar alto teores de fluretos, restringindo o consumo humano.

1. AS PRINCIPAIS UNIDADES AQÜÍFERAS DO ESTADO DO PARANÁ

1. AS PRINCIPAIS UNIDADES AQÜÍFERAS DO ESTADO DO PARANÁ

O presente item é responsável pela análise das águas subterrâneas do Estado do Paraná. Os dados apresentados estão baseados nas vazões dos poços utilizados nos sistemas de abastecimento público, tanto de cidades como de pequenas vilas rurais espalhadas pelo território do Paraná, todas as informações baseadas no banco de dados da SANEPAR e da SUDERHSA, e nos teores dos elementos químicos presentes nas águas coletadas nos poços tubulares profundos.

A utilização das denominações Unidades Aqüíferas Pré-Cambriana, Karst, Paleozóica Inferior, Paleozóica Média-Superior, Paleozóica Superior, Guarani, Serra Geral Norte e Sul, Caiuá, Guabirotuba e Costeira são em razão da consagração destes termos na comunidade hidrogeológica do Paraná.

As áreas de ocorrências das Unidades Aqüíferas do Estado do Paraná estão apresentadas no *Mapa 1.1*. Em seguida é apresentado o *Mapa 1.2*, que apresenta o cruzamento entre as Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UHGRH), as Bacias Hidrográficas do Estado do Paraná e as Unidades Aqüíferas. O *Quadro 1.1* apresenta de forma discretizada a relação das Unidades Aqüíferas com as UHGRH's e as Bacias Hidrográficas. As áreas de ocorrência de cada unidade aqüífera e seus respectivos tipos litológicos, estão apresentadas no *Anexo 1*.

LEGENDA

LOCALIZAÇÃO DAS UNIDADES AQUÍFERAS

Fonte: ADAPTADO MINEROPAR - 2007

- Pré - Cambriana
- Karst
- Paleozóica Inferior
- Paleozóica Médio
- Paleozóica Superior
- Guarani
- Serra Geral Norte
- Serra Geral Sul
- Caiuá
- Guabirotuba
- Aluvionar
- Costeiro

CONVENÇÕES:

	HIDROGRAFIA	SRH - MMA, PROJETO GUARANI 2006
	RODOVIAS FEDERAIS	SRH - MMA, PROJETO GUARANI 2006
	LIMITE MUNICIPAL	SEMA - 2004
	LIMITE ESTADUAL	IBGE - CARTA INTERNACIONAL AO MILIONÉSIMO - 1999
	LIMITE INTERNACIONAL	IBGE - CARTA INTERNACIONAL AO MILIONÉSIMO - 1999
	SEDES URBANAS DAS PRINCIPAIS CIDADES	SEMA - 2004

ESCALA: 1 : 2.500.000

DATA: ABRIL DE 2010 - REV. FINAL DATUM: SAD69

LEGENDA

LOCALIZAÇÃO DAS UNIDADES
AQUÍFERAS

Fonte: ADAPTADO MINEROPAR- 2007

- Pré - Cambriana
- Karst
- Paleozóica Inferior
- Paleozóica Médio
- Paleozóica Superior
- Guarani
- Serra Geral Norte
- Serra Geral Sul
- Caiuá
- Guabirotuba
- Aluvionar
- Costeiro

CONVENÇÕES:

	HIDROGRAFIA	SRH - MMA, PROJETO GUARANI 2006
	RODOVIAS FEDERAIS	SRH - MMA, PROJETO GUARANI 2006
	LIMITE MUNICIPAL	SEMA - 2004
	LIMITE ESTADUAL	IBGE - CARTA INTERNACIONAL AO MILIONÉSIMO - 1999
	LIMITE INTERNACIONAL	IBGE - CARTA INTERNACIONAL AO MILIONÉSIMO - 1999
	LIMITE DE BACIAS	SUDERHSA - 2007
	UNIDADES HIDROGRÁFICAS	SUDERHSA - 2007
	SEDES URBANAS DAS PRINCIPAIS CIDADES	SEMA - 2004

ESCALA: 1 : 2.500.000

DATA: ABRIL DE 2010 - REV. FINAL DATUM: SAD69

**CRUZAMENTO UHGRH,
BACIAS E UNIDADES
AQUÍFERAS**

MAPA

1.2

PRODUTO

1.2-B

PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS

Quadro 1.1. Relação das Unidades Aquíferas com as UHGRH's e Bacias Hidrográficas.

Unidade Aquífera	UHGRH	Bacia Hidrográfica
Pré-Cambriana	Alto Iguaçu/Ribeira	Iguaçu
		Ribeira
	Alto Tibagi	Tibagi
	Cinzas/Itararé/Paranapanema 1 e 2	Cinzas
		Itararé
	Litorânea	Litorânea
Karst	Alto Iguaçu/Ribeira	Iguaçu
		Ribeira
	Alto Tibagi	Tibagi
	Cinzas/Itararé/Paranapanema 1 e 2	Itararé
Paleozóica Inferior	Alto Iguaçu/Ribeira	Iguaçu
		Ribeira
	Alto Tibagi	Tibagi
	Cinzas/Itararé/Paranapanema 1 e 2	Cinzas
		Itararé
Paleozóica Média-Superior	Alto Iguaçu/Ribeira	Iguaçu
	Médio Iguaçu	Iguaçu
	Alto Ivaí	Ivaí
	Alto Tibagi	Tibagi
	Cinzas/Itararé/Paranapanema 1 e 2	Cinzas
		Itararé
Paleozóica Superior	Alto Iguaçu/Ribeira	Iguaçu
		Ribeira
	Médio Iguaçu	Iguaçu
	Alto Ivaí	Ivaí
	Alto Tibagi	Tibagi
	Baixo Tibagi	Tibagi
	Cinzas/Itararé/Paranapanema 1 e 2	Cinzas
		Itararé
		Paranapanema 1
Guarani	Alto Ivaí	Ivaí
	Baixo Iguaçu	Iguaçu
	Baixo Ivaí/Paraná 1	Ivaí
		Paraná 1
	Baixo Tibagi	Tibagi
	Cinzas/Itararé/Paranapanema 1 e 2	Cinzas
		Itararé
		Paranapanema 1
		Paranapanema 2
	Médio Iguaçu	Iguaçu
	Paraná 3	Paraná 3
	Piquiri/Paraná 2	Paraná 2
		Piquiri

Unidade Aquífera	UHGRH	Bacia Hidrográfica
Guarani	Pirapó/Paranapanema 3 e 4	Paranapanema 3
		Paranapanema 4
		Pirapó
Serra Geral Norte	Alto Ivaí	Ivaí
	Baixo Tibagi	Tibagi
	Cinzas/Itararé/Paranapanema 1 e 2	Cinzas
		Itararé
		Paranapanema 1
	Paraná 3	Paraná 3
	Piquiri/Paraná 2	Piquiri
Serra Geral Sul	Pirapó/Paranapanema 3 e 4	Paranapanema 3
		Pirapó
Serra Geral Sul	Baixo Iguaçu	Iguaçu
	Médio Iguaçu	Iguaçu
Caiuá	Alto Ivaí	Ivaí
	Baixo Ivaí/Paraná 1	Ivaí
		Paraná 1
	Baixo Tibagi	Tibagi
	Paraná 3	Paraná 3
	Piquiri/Paraná 2	Paraná 2
		Piquiri
Guabirotuba	Alto Iguaçu/Ribeira	Paranapanema 3
		Paranapanema 4
		Pirapó
Guabirotuba	Alto Iguaçu/Ribeira	Alto Iguaçu
		Ribeira
Costeiro	Litorânea	Litorânea

1.1. Unidade Aquífera Pré-Cambriana

Os migmatitos, bem como as rochas granitóides e gnáissicas, representam a unidade aquífera Pré-Cambriana ocorrente predominante na Região Metropolitana de Curitiba (RMC). Estas rochas ocupam uma área de 15.555,27 km², no Primeiro Planalto Paranaense, numa faixa que abrange o município de Curitiba, parte dos municípios de Agudos do Sul, Araucária, Almirante Tamandaré, Balsa Nova, Campina Grande do Sul, Campo do Tenente, Campo Largo, Campo Magro, Castro, Cerro Azul, Colombo, Contenda, Fazenda Rio Grande, Lapa, Mandirituba, Piên, Piraquara, Quatro Barras, Quitandinha, São José dos Pinhais, Sengés, Tijucas do Sul e Tunas do Paraná.

A taxa média anual de chuvas na região é em torno de 1.500 mm. A infiltração e a percolação das águas se fazem, em geral, através de geoestruturas, tais como diáclases e falhas geológicas. O manto de alteração das rochas e os sedimentos quaternários, estes últimos com espessuras que atingem até 80 m na bacia de

Curitiba, encontram-se saturados com água e funcionam como reguladores da recarga dos aquíferos durante todo o ano. As estruturas através das quais circulam as águas distribuem-se, preferencialmente, entre 60 e 150 m de profundidade. Salamuni (1981) menciona a existência de fraturamentos de interesse hidrogeológico localizados a 335 m de profundidade. A vazão média deste aquífero é da ordem de 6,5 m³/h. Em termos de bacia hidrográfica, essas rochas predominam na região da bacia do Alto Iguaçu. Esta produção, que é utilizada fundamentalmente por condomínios e postos de serviços, corresponde a 20% da demanda de água do Sistema Integrado de Abastecimento da Região Metropolitana de Curitiba.

1.2. Unidade Aquífera Karst

A unidade aquífero Karst, localizado no Primeiro Planalto Paranaense, está representado por mármores calcíticos e dolomíticos que ocorrem segundo faixas contínuas de extensão lateral de 15 km, associados a filitos e quartzitos numa seqüência diferencialmente dobrada da Formação Capiu (Bigarella, 1948). A área ocupada por esta unidade aquífera no Estado do Paraná é de 4.501,93 km². As estruturas carstificadas desenvolvidas nas rochas carbonáticas distribuem-se, preferencialmente, até os 150 m de profundidade, sendo que a predominância delas ocorre entre 40 e 60 m de profundidade. A vazão média desta unidade aquífera é da ordem de 49,8 m³/h.

É importante frisar que todas as cidades localizadas sobre a unidade aquífera Karst são abastecidas com águas subterrâneas. As estruturas aquíferas, encontradas na Formação Capiu, distribuem-se numa área superior a região onde estão situadas as cidades de Colombo e Almirante Tamandaré. Este aquífero representa uma das principais alternativas de abastecimento da RMC.

A questão da sua exploração, por sua vez, exige cuidados especiais por conta da vulnerabilidade com relação ao uso de defensivos agrícolas na região (ainda não existem registros sobre este tipo de produto), bem como pela sensibilidade em termos de problemas geotécnicos (solapamentos do terreno, geração artificial de dolinas) quando são efetuados bombeamentos em poços tubulares.

Tendo em vista ampliar o conhecimento acerca do aquífero, foi desenvolvido o “Plano de Zoneamento do Uso e Ocupação do Solo da Região do Karst da Região Metropolitana de Curitiba (RMC)”, contratado pela COMEC – Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba, no âmbito do Projeto de Qualidade das Águas e Controle da Poluição Hídrica PQA – Fase II, com recursos do PROSAM – Programa de Saneamento Ambiental do Paraná.

A área deste estudo contemplou um polígono com cerca de 1.000 km², abrangendo, total ou parcialmente, os municípios de Campo Magro, Campo Largo, Almirante Tamandaré, Itaperuçu, Rio Branco do Sul, Colombo e Bocaiúva do Sul.

O principal objetivo da elaboração deste zoneamento para a área do aquífero consistiu em disciplinar o uso e a ocupação do solo desta região de forma a compatibilizar a

ocupação existente, o uso da água para fins de abastecimento público e a fragilidade da base física do aquífero.

Destaque-se que as águas provenientes do aquífero Karst, em termos de vazão de base, são as águas que mantêm toda a drenagem da região da bacia do Ribeira sob a condição de rios perenes. Uma parcela dessas águas escoam do norte para o sul, em direção às rochas da bacia do Alto Iguaçu, especialmente na região abrangida pelas bacias do rio Verde, Barigüi e Passaúna.

O nível dinâmico estabilizado dos poços em exploração deve ser mantido sempre acima do topo da cavidade saturada em água; quando o nível permanece abaixo dessas profundidades ocorre uma redução de pressão dentro da cavidade do terreno e a consequência é o solapamento da superfície do terreno.

Em razão dessa situação, não se pode estabelecer um nível dinâmico de exploração dos poços de forma generalizada; cada caso deve ser analisado individualmente, inclusive levando-se em conta a interferência entre poços, quando os bombeamentos são feitos de forma simultânea.

1.3. Unidade Aquífera Paleozóica Inferior

A Unidade Aquífera Paleozóica Inferior cobre, no Estado do Paraná, uma superfície de 7.000,34 km² do Segundo Planalto Paranaense, numa faixa que compreende uma extensão desde Campo Largo-Porto Amazonas até o rio Itararé. A formação Furnas, com uma espessura da ordem de 300 m, é constituída de arenitos com granulação média a grosseira e matriz caulínica; secundariamente, ocorrem arenitos conglomeráticos, arenitos finos e siltico-argilosos (Schneider *et al.*, 1974). Esses arenitos encontram-se tão consolidados que a ocorrência da água subterrânea está associada mais às estruturas tectônicas do que propriamente à sua porosidade primária. O índice de precipitação na região é de 1.300 mm/ano e a vazão média dos poços é da ordem de 11,2 m³/h.

A Formação Ponta Grossa não se constitui aquífero porque as características das rochas, predominantemente folhelhos que apresentam baixa condutividade hidráulica. Essas rochas ocorrem interdigitadas com os arenitos do aquífero Furnas e, quase sempre, funcionam como camadas confinantes do aquífero Furnas. A área de ocorrência da Formação Ponta Grossa, praticamente, coincide com as áreas de ocorrência do aquífero Furnas. A vazão média dos poços da unidade aquífera é de 4,2 m³/h.

1.4. Unidade Aquífera Paleozóica Média-Superior

A unidade aquífera Paleozóica Média-Superior é formada pelos aquíferos Rio Bonito e Itararé e está localizada no Segundo Planalto Paranaense, ocupando uma área de 19.533,30 km², com índice pluviométrico variando de 1.300 a 1.400 mm/ano.

É constituída principalmente pelas litologias que constituem o aquífero Itararé que são representadas por camadas de arenitos que se encontram intercaladas com diamictitos, argilitos e folhelhos várvidos. A espessura média do pacote sedimentar é de aproximadamente 800 m e a das camadas aquíferas varia entre 5 e 20 m. Uma das características marcantes do aquífero é a variação lateral, tanto dos arenitos como dos sedimentos pelíticos. A vazão média dos poços é de 9,6 m³/h.

O aquífero Rio Bonito é representado por arenitos de granulação fina a média, às vezes conglomeráticos, que ocorrem intercalados com folhelhos, siltitos, argilitos e leitos de carvão. A espessura total dos sedimentos atinge 140 m. Na região de ocorrência dessas rochas, igualmente distribuídas no Segundo Planalto Paranaense, o índice pluviométrico alcança 1.400 mm/ano. A vazão média dos poços gira em torno de 17,5 m³/h.

Este aquífero, a exemplo do que foi obtido em poços perfurados pela SANEPAR (Ivaí, Siqueira Campos, Prudentópolis), apresenta águas com temperaturas que variam entre e 25 °C e 36 °C, sendo que a temperatura mais elevada foi constada num poço cuja profundidade atingiu 765 m.

1.5. Unidade Aquífera Paleozóica Superior

As unidades geológicas representadas pelas formações Irati, Serra Alta, Palermo, Terezina e Rio do Rasto, do Paleozóico Superior, não são classificadas como aquíferos. Todas elas ocorrem no Segundo Planalto do Paraná. A área ocupada por esta unidade aquífera é de 17.117,06 km². As vazões médias dos aquíferos que compõem a Unidade Aquífera Paleozóica Superior são: Irati (4,6 m³/h), Serra Alta (5,4 m³/h), Terezina (6,8 m³/h), Palermo (4,1 m³/h) e Rio do Rasto (6,4 m³/h).

1.6. Unidade Aquífera Guarani

O Aquífero Botucatu, também denominado Aquífero Gigante do Mercosul (Araújo *et al.*, 1995) ou Aquífero Guarani, é referido como sendo o conjunto de estratos eólicos e flúvio-lacustres que se encontram sotopostos aos basaltos da Formação Serra Geral. No Estado do Paraná, a maior parte do aquífero encontra-se confinada e distribuída numa área de 103.930,92 km², abrangendo toda a extensão do Terceiro Planalto Paranaense. As vazões médias dos poços perfurados na unidade aquífera é da ordem de 74,2 m³/h.

Por consequência do Arco de Ponta Grossa, verifica-se a presença de um enxame de diabásios com direção NW e ortogonalmente a essas rochas é comum uma estruturação sobre a forma de fraturamentos e falhamentos geológicos. Essa junção de estruturas e de intrusões de rochas básicas e intermediárias mostra que o Guarani é, na verdade, constituído por uma série de reservatórios, ora com os arenitos em contato lateral com os basaltos da Formação Serra Geral, ora com os argilitos da Formação Rio do Rasto. Não existe, portanto, uma situação generalizada que possibilite uma conexão hidráulica entre um reservatório em relação ao

circunvizinho. Percebe-se, inclusive, que cada reservatório possui uma potenciometria própria, assim como características hidroquímicas distintas de cada reservatório.

As áreas de descarga são representadas pelas grandes drenagens da região do Terceiro Planalto do Paraná, nos rios Iguaçu, Paraná, Ivaí e Piquiri. Nessas regiões é possível encontrar fontes de águas quentes às margens desses rios. As áreas de recarga são representadas pelas zonas de afloramento, que correspondem a 1.971,29 km² e através do aquífero Serra Geral, nas áreas onde a potenciometria do aquífero Guarani permite um fluxo descendente.

As estruturas geológicas do Arco de Ponta Grossa resultaram em grandes estruturas abertas através das quais as águas do Guarani, ascendentes por pressão, recarregam o aquífero Serra Geral com águas ricas em sulfatos, cloretos e sólidos totais elevados. Nessas zonas existe uma conectividade entre estes dois aquíferos. Sugere-se, nestas condições, que os poços a serem perfurados no aquífero Guarani sejam completados de forma a evitar a mistura das águas do aquífero inferior em relação ao aquífero superior (Serra Geral).

O Aquífero Guarani, em termos da distribuição das grandes bacias hidrográficas do Paraná, no Terceiro Planalto Paranaense, encontra-se sotoposto aos derrames de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral.

1.7. Unidades Aquíferas Serra Geral Norte e Sul

Aquífero Serra Geral é a denominação utilizada para referir-se à seqüência de derrames de lavas basálticas que ocorre no Terceiro Planalto Paranaense. A área de afloramento dessas rochas, em território paranaense, corresponde a 101.959,63 km² e as espessuras máximas atingem até 1.500 m (Araújo *et al.*, 1995). Nesta região, o índice pluviométrico varia entre 1.200 a 1.300 mm/ano.

Em função das características geomorfológicas e hidrogeológicas, a unidade aquífera Serra Geral pode ser subdividida em Serra Geral Norte (área de 61.095,33 km²) e Serra Geral Sul (área de 40.864,30 km²). A unidade Serra Geral Sul corresponde a área da bacia do rio Iguaçu, no Terceiro Planalto, e a Serra Geral Norte, nas áreas onde ocorrem as demais bacias do Terceiro Planalto, incluindo as bacias dos rios Ivaí, Itararé, Piquiri, Paraná 3, Pirapó, Tibagi, Cinzas e Paranapanema 1, 2 e 3.

Os basaltos da bacia do rio Iguaçu apresentam a menor produtividade. A média das vazões corresponde a 7,5 m³/h. As entradas de água, embora assinaladas até a profundidade de 170 m, ocorrem mais freqüentemente entre 30 e 110 m, sendo que a média está situada aos 80 m de profundidade.

Na bacia do rio Piquiri, a vazão média é de 10,1 m³/h. A profundidade média das entradas de água é de 70 m e o intervalo mais comum de ocorrência é dos 30 aos 90 m. Elas também se fazem presentes entre 90 e 150 m, só que de forma menos comum.

Nas bacias do rio Paraná 1, 2 e 3, encontram-se vazões médias da ordem de 33,0, 16,3 e 11,0 m³/h, respectivamente. As entradas de água, nesta bacia, decrescem em frequência com o aumento da profundidade. Ainda que essas contribuições ocorram até os 170 m de profundidade, aproximadamente 90% delas, concentram-se até a faixa dos 90 aos 110 m.

Na bacia do rio Ivaí, a vazão média é de 9,8 m³/h. As entradas de água estão associadas com os sistemas de descontinuidades geológicas e com a presença de zonas vesiculares. Embora estejam registradas entradas de água até a profundidade de 150 m, é no intervalo entre 30 e 90 m que se encontra o maior percentual das ocorrências (80%). A profundidade média das entradas de água é de 70 m. Quanto mais profundo os níveis produtores, a partir dos 90 m, menores as correspondentes vazões.

As bacias dos rios Pirapó, Paranapanema 1, 2, 3 e 4, apresentam vazões médias de 8,0, 16,7, 14,2, 18,8 e 19,8 m³/h, respectivamente. Os níveis de contribuições foram encontrados até os 130 m, sendo que a maior frequência corresponde ao intervalo entre 30 e 70 m de profundidade. A tendência central apresenta o valor de 60 m. A correlação delas com as vazões, mostra, em especial, que é justamente no intervalo da absoluta maioria das entradas de água que são encontradas as maiores produções.

Nas bacias dos rios Tibagi e Cinzas, as vazões médias são de 13,9 e 17,2 m³/h, respectivamente. A profundidade média de ocorrência das entradas de água é de 70 m. Correlacionando-as com as vazões produzidas, observa-se que em profundidades superiores a 90 m, a capacidade de produção fica restrita a 20 m³/h/poço.

Em cada uma das bacias hidrográficas mencionadas, as direções preferenciais dos alinhamentos estruturais através das quais águas subterrâneas circulam são, na maioria das vezes, para NW-SE e NE-SW, e os mergulhos são praticamente verticais. Tais feições, usadas como critérios principais na escolha dos locais à perfurações, coincidem, quase sempre, com as drenagens de 2ª e 3ª ordem, de extensão superior a 300 m. Uma zona aquífera dos basaltos, portanto, é virtualmente delimitada por uma estreita faixa limítrofe ao eixo principal do alinhamento estrutural.

Destaque-se, também, que o manto de alteração dessas rochas, nessa região, pode atingir, em média, 30 m. Esses pacotes de rochas alteradas encontram-se sempre saturadas em água, o que permite a regularização da recarga dos basaltos. A grande diferenciação sobre a espessura do manto de alteração (regulador de recarga), da morfologia do terreno e do comportamento hidrogeológico está entre a bacia do rio Iguaçu e às demais bacias descritas.

No que concerne ao significado da capacidade específica (vazão dividida pelo rebaixamento da água no interior do poço), os valores são bastante similares quando se trata das bacias hidrográficas situadas sobre a unidade aquífera Serra Geral Norte.

No caso da Serra Geral Sul, os valores são inferiores aos observados na Serra Geral Norte.

1.8. Unidade Aquífera Caiuá

O aquífero Caiuá é representado, predominantemente, por arenitos finos a médios com um teor de até 30% de matriz siltico-argilosa e com cimento limonítico e carbonático, intercalados por camadas de siltitos e argilitos (Almeida *et al.*, 1980). Esta unidade ocorre na região noroeste do Estado do Paraná onde ocupa uma área de 28.447,96 km². As espessuras máximas destes sedimentos variam entre 250 e 270 m (Schneider *et al.*, 1974).

A profundidade dos poços perfurados nesse aquífero é, em geral, limitada a 150 m, sendo a vazão média dos poços perfurados na ordem de 6,6 m³/h. A produtividade desses poços é bastante variável em razão das características construtivas de cada unidade de captação. Quanto maior a espessura das camadas produtoras (arenitos) e a correta instalação dos filtros frente a estas camadas, maior será a produção do poço e menores serão as perdas de cargas (rebaixamentos do nível da água no interior do poço). É importante destacar a importância do Caiuá para a região em termos de abastecimento público, uma vez que cerca de 80% da população que vive sobre este aquífero é abastecida com águas deste reservatório subterrâneo.

Em alguns locais, o aquífero Caiuá se apresenta como semi-confinado, com coeficiente de armazenamento da ordem de 10-3, e em outros, como aquífero livre, com porosidade eficaz da ordem de 10 a 20%. Em qualquer situação, o limite do Caiuá, ao norte, é feito pelo rio Paranapanema, e sua extensão corresponde a região de solos arenosos onde o rio Ivaí adentra até o rio Paraná. O limite sul localiza-se, exatamente, no ponto de descarga do rio Piquiri no rio Paraná.

1.9. Unidade Aquífera Guabirota

O aquífero Guabirota é representado por lentes de areias arcossianas que ocorrem intercaladas nos sedimentos pelíticos da bacia sedimentar de Curitiba (argilitos e siltitos). Este pacote sedimentar, cuja espessura máxima atinge 80 m, ocupa uma área de 867,33 km² na Região Metropolitana de Curitiba (RMC). Os sedimentos da Formação Guabirota foram depositados num ambiente de leques aluvionares coalescentes, bem como num sistema de drenagem entrelaçado ao lado de extensas playas (Becker, 1982). A maior extensão de suas rochas estão localizadas na bacia do Alto Iguaçu e uma pequena parcela na bacia do Ribeira, até as imediações da cidade de Bocaiúva do Sul.

A vazão média dos poços perfurados na parte central da bacia de Curitiba, na qual a distribuição das lentes de arcósis é significativamente irregular, é da ordem de 9,0 m³/h. Na região nordeste da cidade de Curitiba, especificamente na área de abrangência da bacia hidrográfica do Iraí, os arenitos arcossianos ocorrem próximos do contato com o embasamento cristalino sob a forma de camadas contínuas, com

espessuras que variam de 4 a 15 m. O índice pluviométrico da RMC é da ordem de 1.500 mm/ano.

1.10. Unidade Aquífera Costeira

O aquífero Costeiro ocupa uma área de 1.904,33 km², sendo constituído por sedimentos de origem marinha e eólica, por uma sucessão de cordões arenosos dispostos, paralelamente, à linha de costa, formando dunas irregulares com direções NE-SW. Na costa atual das baías e estuários, é comum a ocorrência de áreas planas formadas por sedimentos argilo-arenosos correspondentes a antigos manguezais, baixios ou outros depósitos de ambiente subaquático. Também são freqüentes os leques aluviais formados pelos afluentes que descem das serras. Na parte inferior, mais próximo das baías, as planícies são mais amplas, atingindo larguras superiores a um quilômetro. Os terraços são menos freqüentes e a maior parte da planície é de inundação. Tanto nas planícies aluviais quanto nas planícies de cordões litorâneos, ocorrem elevações diversas, sustentadas por rochas do embasamento cristalino.

No limite entre as áreas emersas e submersas, existem unidades de transição sujeitas às variações diárias do nível do mar. Nas áreas onde a dinâmica litorânea é mais enérgica, como as costas de mar aberto e aquelas localizadas próximas das entradas das baías, ocorrem as praias com sedimentos arenosos desprovidos de vegetação. Nas costas mais protegidas, como as que orlam baías e estuários, a baixa energia ambiental propicia a deposição de sedimentos médios e finos e de matéria orgânica.

Os aquíferos freáticos são representados pelos cordões arenosos e pelas dunas irregulares, cuja zona saturada varia entre 10 e 30 m de espessura. O índice pluviométrico médio anual é igual a 2.500 mm. A vazão média dos poços perfurados é da ordem de 8,7 m³/h.

Uma situação interessante de ocorrência de águas subterrâneas no litoral paranaense se referem às cavas para extração de areia com as águas provenientes de aquíferos freáticos. Numa cava (localizada no Imbocuí) cujo comprimento corresponde a 1.280 m, largura variando de 100 a 220 m, com profundidade de 9 m, encontra-se armazenada em torno de 750.000 m³ de água doce. Essas águas podem ser aproveitadas para o consumo humano, bem como para outras finalidades.

1.11. Unidade Aquífera Aluvionar

Os sedimentos aluvionares que merecem destaque sob o ponto de vista hidrogeológico são representados pelas camadas de areias e de cascalhos existentes na calha do rio Iguaçu. Os sedimentos aluvionares do rio Pequeno, afluente do Iguaçu, possuem até 5 m de espessura e armazenam um volume de água estimado em 4.000.000 m³ (Rocha, 1996). São aquíferos extremamente vulneráveis à contaminação pelas águas que escoam no rio Iguaçu, nos períodos de chuvas, bem como podem se tornar influentes, o que significa receber parcela das águas do rio como recarga para o lençol freático.

2. ÁREAS DE RECARGA E DESCARGA

2. ÁREAS DE RECARGA E DESCARGA

Com relação às regiões do território paranaense, sabe-se que a precipitação, ao cair no solo, não é inferior a 1.200 mm/ano. Portanto, considerando o ciclo hidrológico, têm-se as seguintes características.

- (i) escoam na superfície do terreno;
- (ii) retornam à atmosfera por meio dos processos de evapotranspiração; e,
- (iii) infiltram-se recarregando os aquíferos, e, na seqüência, os próprios rios, constituindo a “vazão de base”.

No sistema hídrico, a condição de perenização dos rios se dá quando, na falta de precipitação, o rio é alimentado pela “vazão de base”, ou seja, a vazão cedida pelo aquífero ao rio. Se o rio não é perene, caso de vários rios do nordeste do Brasil, é porque não há cessão da água do aquífero, o que causa a seca total do rio nos períodos de estiagens. Por conta do equilíbrio deste sistema, é importante que sejam conhecidas as condições de recarga dos aquíferos, pois o desequilíbrio na sua exploração afeta a vazão dos corpos hídricos superficiais.

Embora os aquíferos, obviamente, não respeitem a divisão das bacias hidrográficas, por conta da formação deste sistema hídrico a bacia hidrográfica acaba constituindo a unidade territorial de avaliação. No entanto, é importante lembrar que, em grande parte dos casos, a recarga dos aquíferos que alimentam os rios de uma bacia pode estar sendo feita em outra bacia, especialmente nos casos de recarga direta.

Quando a recarga ocorre de forma direta, como é o caso de aquíferos confinados por camadas impermeáveis, a recarga ocorre onde a rocha aflora na superfície do terreno (caso do aquífero Guarani, nas bordas da bacia hidrogeológica sedimentar do Paraná). Nessas situações, as águas escoam para o interior do aquífero numa velocidade extremamente lenta, por mais elevada que seja a condutividade hidráulica. Neste tipo de aquífero, por conta da baixa velocidade de entrada de água, é mais importante conhecer o balanço hídrico, de forma a extrair a água do subsolo num regime que não ultrapasse a taxa de recarga.

Em qualquer situação, o movimento da água, seja ascendente ou descendente, depende das características hidráulicas entre o aquífero superior e inferior. O movimento sempre é na direção da maior para a menor carga potenciométrica, independente da inclinação da camada aquífera.

No entanto, a grande parte da água que recarrega os aquíferos o fazem através de processos difusos. Este tipo de processo, o da recarga difusa, é característico para todos os aquíferos paranaenses, sejam do tipo fissural, granular ou por dissolução química.

Os processos de descarga de alguns aquíferos possuem características peculiares. É o caso, por exemplo, do aquífero Guarani que descarrega suas águas no aquífero Serra Geral ou na superfície do terreno, sob a forma de fonte natural (águas quentes) e na própria drenagem do terceiro Planalto do Paraná. Este processo é causado pela elevada pressão a que está submetido o aquífero Guarani, o qual se encontra sotoposto a um pacote rochoso de origem vulcânica cuja espessura ultrapassa, em algumas regiões, os 1.000 m.

Um outro caso que merece destaque especial é a unidade aquífera Karst. Uma forma de recarga importante em aquíferos cársticos dá-se por meio de estruturas denominadas sumidouros. São condutos através das quais as águas dos rios se infiltram e atingem os aquíferos de forma direta, sem qualquer possibilidade de filtragem. Esses pontos, portanto, representam “caminhos” para a contaminação das estruturas aquíferas a partir das águas contaminadas da drenagem superficial. Essas estruturas são, relativamente, comuns às margens dos próprios rios que escoam sobre as rochas carbonatadas. A título de exemplo, a SUDERHSA, em meados da década de 90, executou um teste de bombeamento numa área próxima dos poços de Almirante Tamandaré; a Uranina (colorante verde) lançada no rio Barigüi à montante dos poços tubulares, após 5 a 10 minutos de bombeamento foi extraída no bombeamento de um poço não utilizado pela SANEPAR. Em razão desta experiência, torna-se evidente que estes tipos de estruturas, os sumidouros, podem ocorrer em vários pontos da drenagem das margens direita do rio Iguaçu e que escoam sobre as rochas que possuem carstificação no subsolo.

Ainda no caso da unidade aquífera Karst, as inúmeras fontes naturais na região da Formação Capiuru, na bacia dos rios Iguaçu e Ribeira, que são utilizadas para o envasamento e comercialização (águas Ouro Fino, Timbú), são provenientes das estruturas existentes nas rochas carbonatadas existentes no subsolo. As fontes, nesses casos, são pontos de descarga do aquífero Karst, juntamente com a parcela das águas cedidas pelo freático (manto de alteração); essas águas originam a drenagem da região, em especial durante os períodos de estiagens. Nestes pontos a recarga pode ocorrer de forma direta e, portanto, faz-se necessário que existam poços nas proximidades das fontes, ambos em contato, de forma que o bombeamento provoque inversões nas direções de fluxos.

Todos os demais aquíferos descarregam suas águas sob a forma de fontes freáticas. Não fosse isto, não teríamos a condição de perenização dos rios paranaenses. As vazões dos rios, mesmo das grandes drenagens durante os períodos de estiagens, são provenientes dos aquíferos. É assim que ocorre no rio Ivaí, seja no trecho dos aquíferos Serra Geral e Caiuá, bem como em todos os demais rios do território paranaense. As vazões mínimas desses rios, sem as parcelas das chuvas, são, portanto, provenientes principalmente dos aquíferos freáticos cujas águas encontram-se armazenadas no manto de alteração das rochas. Este manto de alteração funciona, via de regra, como regulador das águas que preenchem as zonas aquíferas de maior profundidade.

Não existem, atualmente, estudos específicos voltados à determinação das áreas efetivas de recarga dos aquíferos paranaenses, até por conta das suas próprias características peculiares, ou seja, pelo fato de serem aquíferos de recarga difusa. Esta avaliação das áreas de recarga, bem como o próprio cálculo do balanço hídrico, não pode ser feito de forma expedita, necessita de um aprofundamento localizado, muitas vezes estudando áreas menores e mais confinadas. Na maior parte dos casos, só se passa a uma análise mais detalhada quando um determinado aquífero passa a dar sinais de superexploração.

Por conta das limitações do Plano Estadual de Recursos Hídricos, efeito de seu objetivo geral, ou seja, de permitir uma visão global dos recursos hídricos estaduais, não cabe avançar neste terreno, uma vez que estudos desta monta exigem orçamentos específicos e um volume de trabalho aplicado em escala micro-local. Fica, desta forma, a recomendação para que, nos Planos de Bacia Hidrográfica, sejam previstos recursos, técnicos e orçamentários, para efetuar estudos específicos em aquíferos onde a situação esteja apresentando sinais de comprometimento do balanço hídrico. Destaca-se, no Estado do Paraná, que hoje a unidade aquífera Karst, em termos da relação exploração *versus* sustentabilidade, é o mais vulnerável.

3. VOLUMES ATUALMENTE EXPLOTADOS

3. VOLUMES ATUALMENTE EXPLOTADOS

Estabelecer o volume exato da água que é extraída dos aquíferos paranaenses é, indubitavelmente, uma tarefa impraticável. A realidade de fiscalização da instituição de gerenciamento dos recursos hídricos do Estado associada com as informações dos usuários privados (condomínios, indústrias), no que tange à vazão outorgada em relação à vazão real extraída ou bombeada diariamente, não possibilita este tipo de cálculo.

Alguma exceção pode ser feita com os poços outorgados para SANEPAR, pela SUDERHSA; pois nestes casos existem registros das vazões extraídas e do tempo diário de bombeamento. Entretanto, este Volume Total Anual deve ser analisado com precauções, pois não considera as demandas, por exemplo, de poços particulares. Isso ocorre pela inexistência de outorgas para inúmeros poços no Estado do Paraná, o que acaba subestimando o volume total de água atualmente explotado.

A partir das informações de poços outorgados para a SANEPAR, os Quadros 3.1 e 3.2 apresentam o volume total de água subterrânea extraída, no ano de 2008.

Quadro 3.1. Unidades Aquíferas, Número de Poços e Volume Total Anual.

Unidade Aquífera	Nº de Poços Outorgados	Nº de Poços em Operação	Nº de Municípios	Nº de Localidades	Volume Anual Captado (m ³)	% do Volume Anual	População Abastecida (*)
Pré-Cambriana	123	72	19	48	4.303.906	3,6	68.823
Karst	70	38	9	19	14.411.694	12,0	207.707
Paleozóica Inferior	18 (Furnas)	13	5	6	1.704.399	1,4	25.297
Paleozóica Média-Superior	72 (Itararé) 17 (Rio Bonito)	52	24	33	4.099.583	3,4	60.964
Paleozóica Superior	56 (Paleozóico)	40	23	39	1.759.053	1,4	22.451
Guarani	61	40	16	22	6.964.636	5,8	114.507
Serra Geral Norte	617	469	174	281	72.274.337	60,0	1.099.650
Serra Geral Sul							
Caiuá	172	148	48	80	14.923.947	12,4	196.950
Guabirubá	6	-	-	-	-	-	-
Costeira	3	-	-	-	-	-	-
TOTAL	1.215	872	292 (**)	528	120.441.555	100,0	1.796.349

FONTE: SANEPAR / USHG, dados consolidados de 2008.

NOTA: (*) População potencialmente abastecida, considerando a média de 150 L/hab/dia e 30% de perdas no Sistema de Distribuição.

(**) Existem municípios abastecidos por poços em mais de uma Unidade Aquífera.

Quadro 3.2. Municípios e Utilização de Poços no Abastecimento Público no Estado do Paraná.

Municípios	Unidade Aquífera	Poços	Localidades	Volume Total	%
Alto Paraíso	Caiuá	2	2	128.609	0,11%
Alto Paraná	Caiuá	6	2	663.673	0,55%
Alto Piquiri	Caiuá	2	1	200.230	0,17%
Altônia	Caiuá	8	3	884.021	0,73%
Amaporã	Caiuá	1	1	204.917	0,17%
Atalaia	Caiuá	1	1	4.479	0,00%
Brasilândia do Sul	Caiuá	1	1	134.885	0,11%
Cafetal do Sul	Caiuá	3	2	163.651	0,14%
Cianorte	Caiuá	6	1	738.135	0,61%
Cidade Gaúcha	Caiuá	7	1	602.528	0,50%
Cruzeiro do Oeste	Caiuá	6	1	1.011.809	0,84%
Douradina	Caiuá	6	3	377.527	0,31%
Esperança Nova	Caiuá	1	1	74.073	0,06%
Florai	Caiuá	1	1	16.834	0,01%
Francisco Alves	Caiuá	7	3	266.821	0,22%
Guairaça	Caiuá	2	1	260.841	0,22%
Icaraima	Caiuá	4	3	403.187	0,33%
Inajá	Caiuá	1	1	159.263	0,13%
Iporã	Caiuá	2	2	52.241	0,04%
Itaúna do Sul	Caiuá	2	1	186.947	0,16%
Ivaté	Caiuá	3	2	353.856	0,29%
Loanda	Caiuá	4	1	1.289.544	1,07%
Maria Helena	Caiuá	3	2	240.625	0,20%
Marilena	Caiuá	2	1	277.230	0,23%
Moreira Sales	Caiuá	4	2	491.877	0,41%
Nova Aliança do Ivaí	Caiuá	1	1	73.827	0,06%
Nova Esperança	Caiuá	2	1	439.887	0,37%
Nova Olímpia	Caiuá	3	1	297.420	0,25%
Paranacity	Caiuá	4	2	554.855	0,46%
Paranavaí	Caiuá	8	7	391.034	0,32%
Perobal	Caiuá	3	2	206.786	0,17%
Pérola	Caiuá	3	1	500.109	0,42%
Planaltina do Paraná	Caiuá	1	1	153.647	0,13%
Porto Rico	Caiuá	2	1	144.563	0,12%
Querência do Norte	Caiuá	3	2	442.779	0,37%
Rondon	Caiuá	2	1	182.396	0,15%
Santa Cruz do Monte Castelo	Caiuá	4	1	358.341	0,30%
Santa Fé	Caiuá	1	1	100.021	0,08%

Municípios	Unidade Aquífera	Poços	Localidades	Volume Total	%
Santo Antônio do Caiuá	Caiuá	2	1	134.809	0,11%
São João do Caiuá	Caiuá	2	1	304.992	0,25%
São Jorge do Patrocínio	Caiuá	2	1	209.999	0,17%
São Manoel do Paraná	Caiuá	1	1	94.289	0,08%
São Pedro do Paraná	Caiuá	2	2	122.206	0,10%
Tapira	Caiuá	3	2	259.057	0,22%
Tuneiras do Oeste	Caiuá	2	1	243.848	0,20%
Umuarama	Caiuá	5	5	192.867	0,16%
Uniflor	Caiuá	2	1	104.102	0,09%
Xambrê	Caiuá	5	3	224.310	0,19%
Barra do Jacaré	Guarani	1	1	49.518	0,04%
Cambará	Guarani	3	1	1.519.000	1,26%
Cruz Machado	Guarani	2	2	270.188	0,22%
Cruzmaltina	Guarani	2	1	39.339	0,03%
Grandes Rios	Guarani	5	3	196.410	0,16%
Inácio Martins	Guarani	2	1	276.056	0,23%
Jacarezinho	Guarani	3	2	278.405	0,23%
Londrina	Guarani	2	2	118.423	0,10%
Mauá da Serra	Guarani	2	1	409.267	0,34%
Novo Itacolomi	Guarani	1	1	87.092	0,07%
Porto Vitória	Guarani	1	1	102.441	0,09%
Ribeirão do Pinhal	Guarani	3	2	680.076	0,56%
Santa Amélia	Guarani	1	1	130.477	0,11%
Santo Antônio da Platina	Guarani	10	1	2.366.161	1,96%
São Sebastião do Amoreira	Guarani	1	1	94.323	0,08%
Tamarana	Guarani	1	1	347.460	0,29%
Adrianópolis	Karst	1	1	28.153	0,02%
Almirante Tamandaré	Karst	12	3	5.031.791	4,18%
Bocaiúva do Sul	Karst	2	2	999.901	0,83%
Campo Largo	Karst	5	2	2.058.074	1,71%
Campo Magro	Karst	3	3	285.155	0,24%
Castro	Karst	3	2	89.330	0,07%
Colombo	Karst	9	4	4.982.027	4,14%
Itaperuçu	Karst	2	1	900.848	0,75%
Tunas do Paraná	Karst	1	1	36.415	0,03%
Arapoti	Paleozóica Inferior	6	1	367.795	0,31%
Balsa Nova	Paleozóica Inferior	3	2	56.508	0,05%
Carambeí	Paleozóica Inferior	2	1	554.980	0,46%
Porto Amazonas	Paleozóica Inferior	1	1	262.380	0,22%

Municípios	Unidade Aquífera	Poços	Localidades	Volume Total	%
Tibagi	Paleozóica Inferior	1	1	462.736	0,38%
Arapoti	Paleozóica Média-Superior	2	2	45.381	0,04%
Campo do Tenente	Paleozóica Média-Superior	2	2	71.054	0,06%
Curiúva	Paleozóica Média-Superior	1	1	6.267	0,01%
Figueira	Paleozóica Média-Superior	3	1	266.370	0,22%
Jaboti	Paleozóica Média-Superior	1	1	18.325	0,02%
Japira	Paleozóica Média-Superior	2	1	170.726	0,14%
Lapa	Paleozóica Média-Superior	5	4	817.568	0,68%
Palmeira	Paleozóica Média-Superior	2	2	192.135	0,16%
Paula Freitas	Paleozóica Média-Superior	2	1	121.107	0,10%
Pinhalão	Paleozóica Média-Superior	3	2	254.071	0,21%
Ponta Grossa	Paleozóica Média-Superior	2	2	82.702	0,07%
Rio Negro	Paleozóica Média-Superior	1	1	27.994	0,02%
Salto do Itararé	Paleozóica Média-Superior	3	1	195.036	0,16%
Santana do Itararé	Paleozóica Média-Superior	4	1	183.692	0,15%
São João do Triunfo	Paleozóica Média-Superior	3	1	196.261	0,16%
Sengés	Paleozóica Média-Superior	5	2	248.357	0,21%
Tibagi	Paleozóica Média-Superior	1	1	46.102	0,04%
Ventania	Paleozóica Média-Superior	1	1	43.698	0,04%
Antônio Olinto	Paleozóica Média-Superior	1	1	68.461	0,06%
Curiúva	Paleozóica Média-Superior	2	1	153.256	0,13%
Fernandes Pinheiro	Paleozóica Média-Superior	1	1	75.492	0,06%
Ibaiti	Paleozóica Média-Superior	2	1	89.404	0,07%
Irati	Paleozóica Média-Superior	1	1	542.308	0,45%
Ivaí	Paleozóica Média-Superior	2	1	183.816	0,15%
Antônio Olinto	Paleozóica Superior	1	1	10.047	0,01%
Fernandes Pinheiro	Paleozóica Superior	1	1	23.046	0,02%
Guamiranga	Paleozóica Superior	3	2	99.747	0,08%
Guapirama	Paleozóica Superior	1	1	72.842	0,06%
Ibaiti	Paleozóica Superior	1	1	82.943	0,07%
Imbituva	Paleozóica Superior	2	2	81.582	0,07%

Municípios	Unidade Aquífera	Poços	Localidades	Volume Total	%
Ipiranga	Paleozóica Superior	2	1	261.054	0,22%
Irati	Paleozóica Superior	4	4	290.269	0,24%
Ivaí	Paleozóica Superior	1	1	19.960	0,02%
Joaquim Távora	Paleozóica Superior	2	3	16.909	0,01%
Jundiaí do Sul	Paleozóica Superior	1	1	44.469	0,04%
Ortigueira	Paleozóica Superior	3	3	44.268	0,04%
Palmeira	Paleozóica Superior	3	3	59.572	0,05%
Paula Freitas	Paleozóica Superior	1	1	8.620	0,01%
Paulo Frontin	Paleozóica Superior	2	2	2.013	0,00%
Ponta Grossa	Paleozóica Superior	1	1	18.986	0,02%
Reserva	Paleozóica Superior	2	2	48.163	0,04%
Rio Branco Do Ivaí	Paleozóica Superior	1	1	25.733	0,02%
Rio Negro	Paleozóica Superior	1	1	47.129	0,04%
Rosário do Ivaí	Paleozóica Superior	1	1	9.774	0,01%
Teixeira Soares	Paleozóica Superior	2	2	220.939	0,18%
Tibagi	Paleozóica Superior	2	2	50.963	0,04%
Ventania	Paleozóica Superior	2	2	220.025	0,18%
Adrianópolis	Pré-Cambriana	1	1	25.353	0,02%
Agudos do Sul	Pré-Cambriana	4	2	176.452	0,15%
Araucária	Pré-Cambriana	3	3	52.192	0,04%
Balsa Nova	Pré-Cambriana	5	3	193.395	0,16%
Campina Grande do Sul	Pré-Cambriana	5	5	362.933	0,30%
Campo Largo	Pré-Cambriana	3	2	197.226	0,16%
Campo Magro	Pré-Cambriana	5	4	243.547	0,20%
Castro	Pré-Cambriana	1	1	54.463	0,05%
Colombo	Pré-Cambriana	2	2	104.727	0,09%
Contenda	Pré-Cambriana	6	2	465.237	0,39%
Lapa	Pré-Cambriana	1	1	25.113	0,02%
Mandirituba	Pré-Cambriana	3	3	353.421	0,29%
Piên	Pré-Cambriana	7	5	270.913	0,22%
Quatro Barras	Pré-Cambriana	1	1	34.820	0,03%
Quitandinha	Pré-Cambriana	3	2	267.095	0,22%
São José dos Pinhais	Pré-Cambriana	7	4	592.301	0,49%
Sengés	Pré-Cambriana	3	2	478.351	0,40%
Tijucas do Sul	Pré-Cambriana	8	4	252.219	0,21%

Municípios	Unidade Aquífera	Poços	Localidades	Volume Total	%
Tunas do Paraná	Pré-Cambriana	4	1	154.148	0,13%
Altamira do Paraná	Serra Geral	1	1	117.247	0,10%
Alto Piquiri	Serra Geral	2	1	92.641	0,08%
Ampére	Serra Geral	1	1	106.385	0,09%
Anahy	Serra Geral	1	1	113.092	0,09%
Apucarana	Serra Geral	5	2	1.630.379	1,35%
Arapongas	Serra Geral	1	1	21.122	0,02%
Arapuã	Serra Geral	1	1	75.808	0,06%
Araruna	Serra Geral	5	3	572.042	0,47%
Ariranha do Ivaí	Serra Geral	1	1	48.560	0,04%
Assis Chateaubriand	Serra Geral	8	7	381.122	0,32%
Astorga	Serra Geral	8	4	1.114.116	0,93%
Atalaia	Serra Geral	1	1	220.800	0,18%
Barbosa Ferraz	Serra Geral	6	4	759.371	0,63%
Barra do Jacaré	Serra Geral	1	1	109.529	0,09%
Bela Vista do Caroba	Serra Geral	1	1	69.605	0,06%
Bela Vista do Paraíso	Serra Geral	2	2	159.191	0,13%
Boa Esperança	Serra Geral	2	2	246.445	0,20%
Bom Jesus do Sul	Serra Geral	2	1	40.736	0,03%
Bom Sucesso	Serra Geral	4	1	300.086	0,25%
Braganey	Serra Geral	1	1	219.120	0,18%
Cafeara	Serra Geral	1	1	106.359	0,09%
Cafelândia	Serra Geral	5	2	828.917	0,69%
Cafezal do Sul	Serra Geral	1	1	14.288	0,01%
Cambé	Serra Geral	5	1	1.086.653	0,90%
Cambira	Serra Geral	4	1	298.761	0,25%
Campina da Lagoa	Serra Geral	6	4	273.083	0,23%
Campina do Simão	Serra Geral	1	1	71.110	0,06%
Campo Bonito	Serra Geral	2	1	97.121	0,08%
Campo Mourão	Serra Geral	5	1	1.896.072	1,57%
Candói	Serra Geral	1	1	25.646	0,02%
Cantagalo	Serra Geral	3	1	401.639	0,33%
Capanema	Serra Geral	2	2	25.412	0,02%
Capitão Leônidas Marques	Serra Geral	3	1	644.214	0,53%
Cascavel	Serra Geral	12	4	5.056.150	4,20%
Centenário do Sul	Serra Geral	2	2	709.315	0,59%
Céu Azul	Serra Geral	2	1	628.951	0,52%
Cianorte	Serra Geral	1	1	83.989	0,07%
Civelândia	Serra Geral	3	1	728.980	0,61%
Corbélia	Serra Geral	6	3	778.627	0,65%

Municípios	Unidade Aquífera	Poços	Localidades	Volume Total	%
Cornélio Procopio	Serra Geral	3	2	80.566	0,07%
Coronel Domingos Soares	Serra Geral	1	1	85.529	0,07%
Corumbataí Do Sul	Serra Geral	1	1	167.277	0,14%
Cruzeiro do Iguaçu	Serra Geral	1	1	59.684	0,05%
Cruzeiro do Sul	Serra Geral	2	1	158.027	0,13%
Cruzmaltina	Serra Geral	1	1	34.495	0,03%
Diamante do Norte	Serra Geral	2	1	293.837	0,24%
Diamante do Oeste	Serra Geral	1	1	184.101	0,15%
Diamante do Sul	Serra Geral	1	1	50.484	0,04%
Dois Vizinhos	Serra Geral	2	1	162.089	0,13%
Doutor Camargo	Serra Geral	2	1	388.339	0,32%
Enéas Marques	Serra Geral	1	1	111.383	0,09%
Engenheiro Beltrão	Serra Geral	6	4	835.282	0,69%
Farol	Serra Geral	1	1	116.883	0,10%
Fênix	Serra Geral	2	1	346.302	0,29%
Florai	Serra Geral	3	1	283.501	0,24%
Floresta	Serra Geral	1	1	452.443	0,38%
Florestópolis	Serra Geral	3	1	556.711	0,46%
Formosa do Oeste	Serra Geral	2	1	402.307	0,33%
Francisco Beltrão	Serra Geral	1	1	20.850	0,02%
Goioerê	Serra Geral	4	2	1.773.016	1,47%
Goioxim	Serra Geral	1	1	77.206	0,06%
Grandes Rios	Serra Geral	1	1	54.460	0,05%
Guaira	Serra Geral	13	3	1.933.913	1,61%
Guaporema	Serra Geral	1	1	93.719	0,08%
Guaraci	Serra Geral	2	2	249.059	0,21%
Guaraniaçu	Serra Geral	3	2	117.573	0,10%
Guarapuava	Serra Geral	8	4	412.596	0,34%
Honório Serpa	Serra Geral	1	1	93.350	0,08%
Ibema	Serra Geral	2	1	227.805	0,19%
Iguatu	Serra Geral	1	1	83.935	0,07%
Inácio Martins	Serra Geral	1	1	11.369	0,01%
Indianópolis	Serra Geral	2	1	187.477	0,16%
Iracema do Oeste	Serra Geral	1	1	115.637	0,10%
Iretama	Serra Geral	4	2	338.607	0,28%
Itaguajé	Serra Geral	2	1	220.514	0,18%
Itaipulândia	Serra Geral	2	2	337.154	0,28%
Itambé	Serra Geral	1	1	445.362	0,37%
Itapejara do Oeste	Serra Geral	2	1	57.638	0,05%
Ivaiporã	Serra Geral	2	2	80.087	0,07%

Municípios	Unidade Aquífera	Poços	Localidades	Volume Total	%
Ivatuba	Serra Geral	1	1	158.880	0,13%
Jandaia do Sul	Serra Geral	2	2	117.634	0,10%
Janiópolis	Serra Geral	3	1	299.163	0,25%
Jardim Alegre	Serra Geral	5	1	447.959	0,37%
Jesuítas	Serra Geral	3	2	383.741	0,32%
Jundiaí do Sul	Serra Geral	1	1	12.234	0,01%
Juranda	Serra Geral	3	3	365.252	0,30%
Laranjal	Serra Geral	1	1	73.681	0,06%
Laranjeiras do Sul	Serra Geral	2	1	37.274	0,03%
Leópolis	Serra Geral	2	2	215.792	0,18%
Lidianópolis	Serra Geral	4	2	165.113	0,14%
Lindoeste	Serra Geral	1	1	68.673	0,06%
Londrina	Serra Geral	20	12	3.535.135	2,94%
Luiziana	Serra Geral	1	1	232.727	0,19%
Lunardelli	Serra Geral	2	2	53.861	0,04%
Lupionópolis	Serra Geral	1	1	268.662	0,22%
Mamborê	Serra Geral	3	2	651.256	0,54%
Mandaguaçu	Serra Geral	4	3	1.125.859	0,93%
Mandaguari	Serra Geral	2	1	440.664	0,37%
Manfrinópolis	Serra Geral	1	1	31.578	0,03%
Mangueirinha	Serra Geral	2	2	419.474	0,35%
Manoel Ribas	Serra Geral	2	1	397.759	0,33%
Marilândia Do Sul	Serra Geral	4	1	311.969	0,26%
Maringá	Serra Geral	14	4	3.640.398	3,02%
Mariópolis	Serra Geral	1	1	262.789	0,22%
Maripá	Serra Geral	3	3	261.807	0,22%
Matelândia	Serra Geral	5	2	798.588	0,66%
Mato Rico	Serra Geral	1	1	54.110	0,04%
Mirador	Serra Geral	1	1	90.515	0,08%
Missal	Serra Geral	1	1	21.878	0,02%
Nova América da Colina	Serra Geral	1	1	130.459	0,11%
Nova Aurora	Serra Geral	3	3	623.595	0,52%
Nova Cantu	Serra Geral	3	3	244.824	0,20%
Nova Esperança do Sudoeste	Serra Geral	1	1	103.931	0,09%
Nova Londrina	Serra Geral	4	1	1.232.286	1,02%
Nova Prata do Iguaçu	Serra Geral	2	2	105.919	0,09%
Nova Santa Rosa	Serra Geral	2	1	293.210	0,24%
Nova Tebas	Serra Geral	9	3	159.489	0,13%
Ourizona	Serra Geral	1	1	194.452	0,16%
Ouro Verde do Oeste	Serra Geral	1	1	231.561	0,19%

Municípios	Unidade Aquífera	Poços	Localidades	Volume Total	%
Paiçandu	Serra Geral	6	2	2.156.652	1,79%
Palotina	Serra Geral	6	2	1.296.378	1,08%
Paraíso do Norte	Serra Geral	1	1	361.910	0,30%
Paranavaí	Serra Geral	1	1	23.371	0,02%
Pato Branco	Serra Geral	1	1	32.955	0,03%
Pérola do Oeste	Serra Geral	2	2	241.193	0,20%
Pinhal do São Bento	Serra Geral	1	1	43.890	0,04%
Planalto	Serra Geral	1	1	31.189	0,03%
Porecatu	Serra Geral	4	1	974.932	0,81%
Pranchita	Serra Geral	2	1	120.220	0,10%
Primeiro de Maio	Serra Geral	3	2	743.473	0,62%
Quarto Centenário	Serra Geral	4	2	185.345	0,15%
Quedas do Iguaçu	Serra Geral	1	1	156.004	0,13%
Quinta do Sol	Serra Geral	1	1	311.370	0,26%
Rancho Alegre	Serra Geral	1	1	263.807	0,22%
Rancho Alegre do Oeste	Serra Geral	2	1	132.123	0,11%
Realeza	Serra Geral	2	2	14.046	0,01%
Renascença	Serra Geral	2	2	166.018	0,14%
Reserva do Iguaçu	Serra Geral	2	1	61.990	0,05%
Rio Bom	Serra Geral	3	2	131.821	0,11%
Rolândia	Serra Geral	6	3	449.732	0,37%
Roncador	Serra Geral	2	2	394.077	0,33%
Rondon	Serra Geral	1	1	205.196	0,17%
Sabáudia	Serra Geral	1	1	263.660	0,22%
Salgado Filho	Serra Geral	4	1	118.213	0,10%
Santa Amélia	Serra Geral	2	1	110.928	0,09%
Santa Fé	Serra Geral	2	1	419.932	0,35%
Santa Helena	Serra Geral	3	2	799.074	0,66%
Santa Inês	Serra Geral	1	1	83.873	0,07%
Santa Lúcia	Serra Geral	1	1	143.712	0,12%
Santa Maria do Oeste	Serra Geral	1	1	139.533	0,12%
Santa Mariana	Serra Geral	3	3	111.024	0,09%
Santa Tereza do Oeste	Serra Geral	2	2	392.704	0,33%
Santa Terezinha de Itaipu	Serra Geral	6	1	659.948	0,55%
Santo Antônio do Sudoeste	Serra Geral	1	1	640.294	0,53%
Santo Inácio	Serra Geral	1	1	298.570	0,25%
São Carlos do Ivaí	Serra Geral	1	1	427.162	0,35%
São João do Ivaí	Serra Geral	3	3	139.303	0,12%
São Jorge do Oeste	Serra Geral	2	1	252.784	0,21%
São Miguel do Iguaçu	Serra Geral	6	3	1.280.301	1,06%

Municípios	Unidade Aquífera	Poços	Localidades	Volume Total	%
São Pedro do Iguaçu	Serra Geral	2	2	291.944	0,24%
São Pedro do Ivaí	Serra Geral	4	2	280.067	0,23%
São Sebastião do Amoreira	Serra Geral	2	1	92.189	0,08%
São Tomé	Serra Geral	1	1	266.262	0,22%
Serranópolis do Iguaçu	Serra Geral	3	2	175.190	0,15%
Tamboara	Serra Geral	3	1	248.325	0,21%
Terra Boa	Serra Geral	3	2	864.783	0,72%
Terra Roxa	Serra Geral	2	2	894.996	0,74%
Toledo	Serra Geral	12	4	3.637.949	3,02%
Três Barras do Paraná	Serra Geral	2	2	25.575	0,02%
Turvo	Serra Geral	1	1	174.145	0,14%
Ubiratã	Serra Geral	1	1	48.053	0,04%
Uraí	Serra Geral	1	1	146.320	0,12%
Verê	Serra Geral	3	2	179.186	0,15%
Vitorino	Serra Geral	1	1	53.244	0,04%
TOTAL	-	872	528	120.441.555	100,00%

FONTE: SIA-SANEPAR / USHG, Dados consolidados de 2008.

3.1. Poços Outorgados pela SUDERHSA

Ainda com ênfase na questão dos volumes atualmente explotados, neste item são avaliados os poços outorgados pela SUDERHSA, com fonte nas informações obtidas a partir do Banco de Dados de Outorgas, base agosto de 2006. Estão incluídas as unidades de captação em operação pela SANEPAR, juntamente com informações sobre a localização de cada aquífero e suas respectivas vazões outorgadas, em relação às bacias hidrográficas do Paraná. O resumo das informações é apresentado no *Quadro 3.3*, e o detalhamento individual de cada unidade aquífera é feito na seqüência.

Quadro 3.3. Resumo dos Poços Outorgados pela SUDERHSA.

Bacia Hidrográfica	Vazões (m3/h)	Pré-Cambriana	Karst	Paleozóica Inferior		Paleozóica Média-Superior		Paleozóica Superior					Guarani	Serra Geral	Caiuá	Guabirotuba	Costeira
				Furnas	Ponta Grossa	Itararé	Rio Bonito	Irati	Serra Alta	Palermo	Terezina	Rio do Rasto					
Cinzas	Máxima	5	-	8	92	35	29	-	4	15	-	14	200	200	-	-	-
	Média	5	-	6,2	18,4	9,8	7	-	4	7,9	-	14	61,4	17,2	-	-	-
Iguaçu	Máxima	144	180	-	70	70	50	8,5	9	7,8	5	18	164	250	-	65	-
	Média	6,4	58,3	-	9,1	12,1	15,1	4,5	6,9	4	3,5	6,7	43,7	7,3	-	9	-
Itararé	Máxima	66	-	-	120	30	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Média	21,8	-	-	17	11,9	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ivaí	Máxima	-	-	-	-	4,2	40	20	7	19	13	9	135	185	88	-	-
	Média	-	-	-	-	3,4	21,5	6,3	3,5	7,5	5,5	4,6	49,1	9,8	6,6	-	-
Litorânea	Máxima	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30
	Média	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,7
Paraná 1	Máxima	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	61	80	-	-
	Média	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33	15,8	-	-
Paraná 2	Máxima	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27,5	46,5	-	-
	Média	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16,3	10,7	-	-
Paraná 3	Máxima	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	190	-	-	-
	Média	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	11	-	-	-
Paranapanema 1	Máxima	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	120	150	-	-	-
	Média	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	27,1	16,7	-	-	-
Paranapanema 2	Máxima	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50	-	-	-
	Média	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14,2	-	-	-
Paranapanema 3	Máxima	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	132	20	-	-
	Média	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18,8	8,9	-	-
Paranapanema 4	Máxima	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	80	90	-	-
	Média	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19,8	11,8	-	-
Piquiri	Máxima	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	130	80	-	-
	Média	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	10,1	4,2	-	-
Pirapó	Máxima	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	96	-	-
	Média	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	8,1	-	-
Ribeira	Máxima	150	220	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Média	9,5	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tibagi	Máxima	18,4	12	8	73	40	110	5	12,7	4,4	12	20	1.080,00	172	-	-	-
	Média	4,3	5,1	3,3	9,8	8,6	22,6	3,6	12,7	4,4	4,1	5,7	280	13,9	-	-	-

3.1.1. Unidade Aquífera Pré-Cambriana

Esta unidade ocorre nas bacias hidrográficas dos rios Cinzas, Iguaçu, Itararé, Ribeira e Tibagi. Estão cadastrados no Banco de Dados de Outorgas da SUDERHSA 902 poços tubulares, dos quais 123 são outorgados para a SANEPAR.

Quadro 3.4. Poços Outorgados pela SUDERHSA.

Bacias Hidrográficas	Vazão Máxima (m ³ /h)	Vazão média. (m ³ /h)	Número de Poços
Cinzas	5,0	5,0	2
Iguaçu	144,0	6,4	773
Itararé	66,0	21,8	5
Ribeira	150,0	9,5	59
Tibagi	18,4	4,3	63
MÉD. TOTAL (m³/h)	-	6,5	902

A título de exemplo comparativo, na cidade de São Paulo, onde as condições hidrogeológicas são similares às condições da bacia de Curitiba, a produção de poços “particulares” já atinge cerca de 9 m³/s. Este valor é inclusive superior a demanda total da cidade de Curitiba.

3.1.2. Unidade Aquífera Karst

Esta unidade ocorre nas bacias hidrográficas dos rios Iguaçu, Ribeira e Tibagi. No Banco de Dados de Outorgas da SUDERHSA estão cadastrados 108 poços tubulares, dos quais 70 são outorgados para a SANEPAR.

Quadro 3.5. Poços Outorgados pela SUDERHSA.

Bacias Hidrográficas	Vazão Máxima (m ³ /h)	Vazão média. (m ³ /h)	Número de Poços
Iguaçu	180,0	58,3	53
Ribeira	220,0	43,0	52
Tibagi	12,0	5,1	3
MÉD. TOTAL (m³/h)	-	49,8	108

3.1.3. Unidade Aquífera Paleozóica Inferior

Nesta unidade, a Formação Ponta Grossa, não se constitui num aquífero propriamente dito e ocorre nas bacias hidrográficas dos rios Cinzas e Tibagi. No Banco de Dados de Outorgas da SUDERHSA estão cadastrados apenas 19 poços tubulares.

Quadro 3.6. Poços Outorgados pela SUDERHSA (Ponta Grossa).

Bacias Hidrográficas	Vazão Máxima (m³/h)	Vazão média. (m³/h)	Número de Poços
Cinzas	8,0	6,2	6
Tibagi	8,0	3,3	13
MÉD.TOTAL (m³/h)	-	4,2	19

O aquífero Furnas ocorre nas bacias hidrográficas dos rios Cinzas, Itararé, e Tibagi. Cadastrados no Banco de Dados de Outorgas da SUDERHSA existem 210 poços tubulares, dos quais 18 são outorgados para a SANEPAR.

Quadro 3.7. Poços Outorgados pela SUDERHSA (Furnas).

Bacias Hidrográficas	Vazão Máxima (m³/h)	Vazão média. (m³/h)	Número de Poços
Cinzas	92,0	18,4	14
Iguaçu	70,0	9,1	22
Itararé	120,0	17,0	28
Tibagi	73,0	9,8	146
MÉD.TOTAL (m³/h)	-	11,2	210

3.1.4. Unidade Aquífera Paleozóica Média-Superior

O aquífero Itararé ocorre nas bacias hidrográficas dos rios Cinzas, Iguaçu, Itararé, Ivaí, e Tibagi. No Banco de Dados de Outorgas da SUDERHSA estão cadastrados 183 poços tubulares, dos quais 72 são outorgados para a SANEPAR.

Quadro 3.8. Poços Outorgados pela SUDERHSA (Itararé).

Bacias Hidrográficas	Vazão Máxima (m³/h)	Vazão média. (m³/h)	Número de Poços
Cinzas	35,0	9,8	25
Iguaçu	70,0	12,1	38
Itararé	30,0	11,9	18
Ivaí	4,2	3,4	6
Tibagi	40,0	8,6	96
MÉD. TOTAL (m³/h)	-	9,6	183

O aquífero Rio Bonito ocorre nas bacias hidrográficas dos rios Cinzas, Iguaçu, Itararé, Ivaí, e Tibagi. Cadastrados no Banco de Dados de Outorgas da SUDERHSA existem 63 poços tubulares, dos quais 17 são outorgados para a SANEPAR.

Quadro 3.9. Poços Outorgados pela SUDERHSA (Rio Bonito).

Bacias Hidrográficas	Vazão Máxima (m ³ /h)	Vazão média. (m ³ /h)	Número de Poços
Cinzas	29,0	7,0	14
Iguaçu	50,0	15,1	12,0
Itararé	10,0	10,0	1
Ivaí	40,0	21,5	7
Tibagi	110,0	22,6	29
MÉD. TOTAL (m³/h)	-	17,5	63

3.1.5. Unidade Aquífera Paleozóica Superior

Em termos hidrogeológicos, essas unidades geológicas não apresentam nenhuma característica. Não existem sequer registros da proveniência das entradas de água nos poços que seccionaram as litologias de cada uma delas. Os dados referentes a unidade estão sendo citados para seguir os dados registrados no Banco de Dados da SUDERHSA. Sobre esta questão, é recomendável que as informações pertinentes às vazões obtidas, bem como sobre a qualidade da água, sejam reavaliadas.

A Formação Irati ocorre nas bacias hidrográficas dos rios Iguaçu, Ivaí, e Tibagi. Estão cadastrados no Banco de Dados de Outorgas da SUDERHSA 18 poços tubulares, dos quais 7 são outorgados para a SANEPAR.

Quadro 3.10. Poços Outorgados pela SUDERHSA (Irati).

Bacias Hidrográficas	Vazão Máxima (m ³ /h)	Vazão média. (m ³ /h)	Número de Poços
Iguaçu	8,5	4,5	5
Ivaí	20,0	6,3	5
Tibagi	5,0	3,6	8
MÉD. TOTAL (m³/h)	-	4,6	18

A Formação Serra Alta ocorre nas bacias hidrográficas dos rios Cinzas, Iguaçu, Ivaí, e Tibagi. No Banco de Dados de Outorgas da SUDERHSA estão cadastrados 9 poços tubulares, dos quais 4 são outorgados para a SANEPAR.

Quadro 3.11. Poços Outorgados pela SUDERHSA (Serra Alta).

Bacias Hidrográficas	Vazão Máxima (m ³ /h)	Vazão média. (m ³ /h)	Número de Poços
Cinzas	4,0	4,0	2
Iguaçu	9,0	6,9	2
Ivaí	7,0	3,5	4
Tibagi	12,7	12,7	1
MÉD. TOTAL (m³/h)	-	5,4	9

A Formação Terezina ocorre bacias hidrográficas dos rios Cinzas, Iguaçu, Ivaí, e Tibagi. Cadastrados no Banco de Dados de Outorgas da SUDERHSA existem 21 poços tubulares, dos quais 14 são outorgados para a SANEPAR.

Quadro 3.12. Poços Outorgados pela SUDERHSA (Terezina).

Bacias Hidrográficas	Vazão Máxima (m ³ /h)	Vazão média. (m ³ /h)	Número de Poços
Cinzas	15,0	7,9	4
Iguaçu	7,8	4,0	3
Ivaí	19,0	7,5	12
Tibagi	4,4	4,4	2
MÉD. TOTAL (m³/h)	-	6,8	21

A Formação Palermo ocorre nas bacias hidrográficas dos rios Iguaçu, Ivaí, e Tibagi. Estão cadastrados no Banco de Dados de Outorgas da SUDERHSA 25 poços tubulares, dos quais 18 são outorgados para a SANEPAR.

Quadro 3.13. Poços Outorgados pela SUDERHSA (Palermo).

Bacias Hidrográficas	Vazão Máxima (m ³ /h)	Vazão média. (m ³ /h)	Número de Poços
Iguaçu	5,0	3,5	7
Ivaí	13,0	5,5	5
Tibagi	12,0	4,1	13
MÉD. TOTAL (m³/h)	-	4,1	25

A Formação Rio do Rasto ocorre nas bacias hidrográficas do Cinzas, Iguaçu, Ivaí, Paranapanema 1 e Tibagi. No Banco de Dados de Outorgas da SUDERHSA estão cadastrados 36 poços tubulares, dos quais 17 são outorgados para a SANEPAR.

Quadro 3.14. Poços Outorgados pela SUDERHSA (Rio do Rasto).

Bacias Hidrográficas	Vazão Máxima (m ³ /h)	Vazão média. (m ³ /h)	Número de Poços
Cinzas	14,0	14,0	1
Iguaçu	18,0	6,7	10
Ivaí	9,0	4,6	11
Paranapanema 1	10,0	10,0	4
Tibagi	20,0	5,7	10
MÉD. TOTAL (m³/h)	-	6,4	36

3.1.6. Unidade Aquífera Guarani

O aquífero Guarani ocorre nas bacias hidrográficas dos rios Cinzas, Iguaçu, Ivaí, Paranapanema 1, Paraná 3, Piquiri, e Tibagi. No Banco de Dados de Outorgas da

SUDERHSA estão cadastrados 70 poços tubulares, dos quais 61 foram outorgados para a SANEPAR.

Quadro 3.15. Poços Outorgados pela SUDERHSA.

Bacias Hidrográficas	Vazão Máxima (m ³ /h)	Vazão média. (m ³ /h)	Número de Poços
Cinzas	200,0	61,4	21
Iguaçu	164,0	43,7	15
Ivaí	135,0	49,1	8
Paraná 3	100,0	100,0	2
Paranapanema 1	120,0	27,1	13
Piquiri	3,0	3,0	1
Tibagi	1080,0	280,0	10
MÉD. TOTAL (m³/h)	-	74,2	70

3.1.7. Unidade Aquífera Serra Geral (Norte e Sul)

O aquífero Serra Geral ocorre nas bacias hidrográficas dos rios Cinzas, Iguaçu, Ivaí, Paraná 1, 2 e 3, Piquiri, Paranapanema 1, 2, 3 e 4, e Pirapó. Cadastrados no Banco de Dados de Outorgas da SUDERHSA existem 5.906 poços (1.144 – Serra Geral Sul, 4.762 – Serra Geral Norte), dos quais 617 são outorgados para a SANEPAR.

Quadro 3.16. Poços Outorgados pela SUDERHSA.

Bacias Hidrográficas	Vazão Máxima (m ³ /h)	Vazão média. (m ³ /h)	Número de Poços
Cinzas	200,0	17,2	76
Iguaçu (Serra Geral Sul)	250,0	7,3	1144
Ivaí	185,0	9,8	1288
Paraná 1	61,0	33,0	3
Paraná 2	27,5	16,3	2
Paraná 3	190,0	11,0	1167
Paranapanema 1	150,0	16,7	29
Paranapanema 2	50,0	14,2	12
Paranapanema 3	132,0	18,8	98
Paranapanema 4	80,0	19,8	20
Piquiri	130,0	10,1	931
Pirapó	100,0	8,0	620
Tibagi	172,0	13,9	516
MÉD. TOTAL (m³/h)	-	10,1	5906

3.1.8. Unidade Aquífera Caiuá

O aquífero Caiuá está localizado sobre as bacias hidrográficas do Ivaí, Paraná 1 e 2, Paranapanema 3 e 4, e Piquiri, Pirapó. No Banco de Dados de Outorgas da SUDERHSA estão cadastrados 1.966 poços, dos quais 172 poços são outorgados para a SANEPAR.

Quadro 3.17. Poços Outorgados pela SUDERHSA.

Bacias Hidrográficas	Vazão Máxima (m ³ /h)	Vazão média. (m ³ /h)	Número de Poços
Ivaí	88,0	6,6	817
Paraná 1	80,0	15,8	56
Paraná 2	46,5	10,7	100
Paranapanema 3	20,0	8,9	17
Paranapanema 4	90,0	11,8	111
Piquiri	80,0	4,2	761
Pirapó	96,0	8,1	104
MÉD. TOTAL (m³/h)	-	6,6	1.966

3.1.9. Unidade Aquífera Guabirotuba

O aquífero Guabirotuba está localizado sobre a bacia hidrográfica do Iguaçu (existem testemunhos restritos de sua ocorrência na bacia do Ribeira, nas proximidades de Bocaiúva do Sul, mas sem interesse hidrogeológico). Cadastrados no Banco de Dados de Outorgas da SUDERHSA existem na bacia do rio Iguaçu, 41 poços tubulares, dos quais 6 poços são outorgados para a SANEPAR.

Quadro 3.18. Poços Outorgados pela SUDERHSA.

Bacias Hidrográficas	Vazão Máxima (m ³ /h)	Vazão média. (m ³ /h)	Número de Poços
Iguaçu	65,0	9,0	41

3.1.10. Unidade Aquífera Costeira

O aquífero Costeiro está localizado sobre a bacia Litorânea. Cadastrados no Banco de Dados de Outorgas da SUDERHSA existem 35 poços outorgados, dos quais 3 poços são outorgados para a SANEPAR.

Quadro 3.19. Poços Outorgados pela SUDERHSA.

Bacias Hidrográficas	Vazão Máxima (m ³ /h)	Vazão média. (m ³ /h)	Número de Poços
Litorânea	30,0	8,7	35

4. DISPONIBILIDADE HÍDRICA DOS AQÜÍFEROS PARANAENSES

4. DISPONIBILIDADE HÍDRICA DOS AQÜÍFEROS PARANAENSES

Os aquíferos são formações geológicas com capacidade de acumular e transmitir água através de seu poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos. Os volumes de água acumulados nos aquíferos podem ser utilizados para atender as necessidades de abastecimento público e demais usos. Entretanto, parte desse volume, deve ser mantido em confinamento, para que o mesmo seja utilizado na alimentação dos cursos d' água. O estabelecimento da produção admissível dos aquíferos consiste em avaliar seu potencial e sua disponibilidade hídrica.

De acordo com o Manual Técnico de Outorgas, elaborado pela SUDERHSA (2006), os recursos hídricos subterrâneos são compostos de porções circulantes e de porções armazenadas. Por sua vez, as suas porções circulantes são compostas de duas partes: a recarga transitória e a recarga profunda. A recarga transitória dos recursos de água subterrânea pode ser estimada através da análise da vazão básica, porque a vazão básica de um rio é proveniente da descarga da água subterrânea.

A avaliação da disponibilidade das águas subterrâneas no Estado do Paraná foi estimada através de uma metodologia que levou em consideração, principalmente, o potencial hidrológico dos aquíferos paranaenses, obtido no Atlas de Recursos Hídricos do Estado do Paraná (SUDERHSA, 1998) e no Manual Técnico de Outorgas da SUDERHSA (2006). Portanto, os valores apresentados pelo potencial hidrológico não são definitivos, pois não existe um monitoramento que possibilite a criação de uma série histórica dessas vazões circulantes nos aquíferos.

Durante o processo de avaliação e desenvolvimento da metodologia, alguns parâmetros tiveram que ser estimados, devido à inexistência de dados oficiais. Dessa forma, as áreas foram estimadas a partir da utilização do mapa geológico, fornecido pela MINEROPAR (2007), sendo o resultado final discutido com os profissionais da SUDERHSA, para que a mesma aprovasse a metodologia adotada.

Com as áreas dos aquíferos definidas, a próxima etapa foi a identificação das bacias hidrográficas que se localizavam na região, de forma que a disponibilidade de água subterrânea fosse calculada para cada unidade estratégica de gestão.

De acordo com ANA (2005), as reservas exploráveis de um Aquífero são constituídas por uma parte das reservas reguladoras e uma pequena fração das reservas permanentes. No caso, fixou-se que as reservas exploráveis correspondem a 20% das reservas reguladoras, ou seja, uma estimativa conservadora e que permite certa margem de confiança ao não considerar o uso das reservas permanentes, pois não considera a depleção do volume de água permanente do Aquífero. Este valor também é considerado satisfatório, segundo ANA (2005), sob o aspecto de manutenção da vazão dos rios, porque considera que apenas 20% do escoamento de base poderia

ser afetado pela captação de água subterrânea. As reservas exploráveis adotadas neste estudo representam, portanto, 20% do escoamento de base dos rios.

Portanto, em relação ao cálculo da disponibilidade hídrica subterrânea dos aquíferos paranaenses, para a determinação da vazão outorgável foi adotado o valor conservador de 20% da vazão total disponível para todas as unidades aquíferas paranaenses, exceto para a do Guarani. Em função do número reduzido das suas informações, além das grandes variações de qualidade das suas águas, por vezes inadequadas para o consumo, adotou-se apenas 10%. Outro valor adotado no desenvolvimento do cálculo foi o tempo referente ao bombeamento da água dos poços, correspondente a 18 horas por dia.

A determinação das disponibilidades hídricas subterrâneas ocorre de maneira estimada, sendo que valores mais precisos e específicos para determinadas áreas só poderão ser obtidos na medida em que o conhecimento hidrogeológico avançar. Comparativamente aos recursos hídricos superficiais, os recursos subterrâneos são ainda pouco conhecidos, merecendo atenção dos órgãos gestores. A exploração de águas subterrâneas requer estudos hidrogeológicos locais, com envolvimento de especialistas na locação de poços, elaboração de projetos, acompanhamento das obras e definição do dimensionamento e do regime de exploração.

O *Quadro 4.1* apresenta os dados de disponibilidade de águas subterrâneas obtidos para as unidades aquíferas do Estado do Paraná. O *Quadro 4.2* apresenta os resultados das disponibilidades distribuídos pelas bacias hidrográficas que compõem as unidades aquíferas.

Os resultados de disponibilidade hídrica subterrânea por Área Estratégica de Gestão (AEG) estão apresentados no *Anexo 2* deste volume.

Quadro 4.1. Disponibilidade de Águas Subterrâneas das Unidades Aquíferas do Estado do Paraná.

Unidade Aquífera	Características Gerais	Tipo de Aquífero	Potencial Hidrogeológico (L/s.km²)	% área de afloramento no Estado	Área de afloramento (km²)	Disponibilidade no Estado		Vazão Outorgável	
						L/s	m³/h	%	m³/dia
Pré-Cambriana	Predomínio de rochas graníticas	Fraturado	5,6	7,8	15.555,27	87.109,57	313.594,46	20,00	1.128.940,07
Karst	Rochas carbonáticas	Dissolução	8,29	2,3	4.501,93	37.320,92	134.355,30	20,00	483.679,08
Paleozóica Inferior	Litologias dos Grupos Castro e Paraná	Fraturado	3,6	3,5	7.000,34	25.201,22	90.724,41	20,00	326.607,86
Paleozóica Média-Superior	Litologias dos Grupos Itararé e Guatá	Fraturado/poroso	5,6	9,8	19.533,30	109.386,54	393.791,53	20,00	1.417.649,51
Paleozóica Superior	Litologias do Grupo Passa Dois	Fraturado/poroso	3,6	8,6	17.117,06	61.621,38	221.836,97	20,00	798.613,08
Guarani	Arenitos eólicos da Formação Botucatu/ hidrotermalismo	Poroso	12,4	1,0	103.930,92 *	1.288.743,66	4.639.477,16	10,00	8.351.058,89
Serra Geral Norte	Basaltos da Formação Serra Geral	Fraturado	4,2	31,0	61.095,33	256.600,39	923.761,39	20,00	3.325.541,00
Serra Geral Sul	Basaltos da Formação Serra Geral na Bacia do Iguaçu	Fraturado	3,8	20,5	40.864,30	155.284,34	559.023,62	20,00	2.012.485,05
Caiuá	Arenitos da Formação Caiuá	Poroso	4,2	14,3	28.447,96	119.481,47	430.133,31	20,00	1.548.479,90
Guabirotuba	Arenitos arcoseanos	Poroso	3,53	0,4	867,33	3.061,67	11.022,03	20,00	39.679,31
Costeira	Depósitos predominantemente arenosos denominados cordões litorâneos	Poroso	Não avaliado	1,0	1.904,33	-	-	-	-
TOTAL				100	198.858,44	2.143.810,86	7.717.719,09	20,00	19.432.733,75

Quadro 4.2. Disponibilidade de Águas Subterrâneas das Unidades Aquíferas distribuídas pelas bacias hidrográficas do Estado do Paraná.

Unidade Aquífera	Bacia Hidrográfica	q (L/s/km ²) ¹	Área da Bacia (km ²)	Q (L/s)	Q (m ³ /h)	Q _{20%} (m ³ /h)	Horas Bombeamento	Q _{20%} (m ³ /dia)
Pré-Cambriana	Litorânea	5,6	3.738,86	20.937,62	75.375,44	15.075,09	18	271.351
	Cinzas	5,6	7,46	41,78	150,39	30,08	18	541
	Iguaçu	5,6	3.756,08	21.034,05	75.722,57	15.144,51	18	272.601
	Itararé	5,6	829,15	4.643,24	16.715,66	3.343,13	18	60.176
	Ribeira	5,6	5.728,24	32.078,14	115.481,32	23.096,26	18	415.732
	Tibagi	5,6	1.495,49	8.374,74	30.149,08	6.029,82	18	108.536
Karst	Iguaçu	8,29	275,73	2.285,80	8.228,89	1.645,78	18	29.623
	Itararé	8,29	463,51	3.842,50	13.832,99	2.766,60	18	49.798
	Ribeira	8,29	3.674,81	30.464,17	109.671,03	21.934,21	18	394.815
	Tibagi	8,29	87,87	728,44	2.622,39	524,48	18	9.440
Paleozóica Inferior	Cinzas	3,6	765,14	2.754,50	9.916,21	1.983,24	18	35.698
	Iguaçu	3,6	192,89	694,40	2.499,85	499,97	18	8.999
	Itararé	3,6	1.143,33	4.115,99	14.817,56	2.963,51	18	53.343
	Ribeira	3,6	156,87	564,73	2.033,04	406,61	18	7.318
	Tibagi	3,6	4.742,11	17.071,60	61.457,75	12.291,55	18	221.247
Paleozóica Média-Superior	Cinzas	5,6	3.776,60	21.148,96	76.136,26	15.227,25	18	274.090
	Iguaçu	5,6	4.957,58	27.762,45	99.944,81	19.988,96	18	359.801
	Itararé	5,6	1.989,14	11.139,18	40.101,06	8.020,21	18	144.363
	Ivaí	5,6	166,39	931,78	3.354,42	670,88	18	12.075
	Tibagi	5,6	8.643,60	48.404,16	174.254,98	34.851,00	18	627.317

Unidade Aquífera	Bacia Hidrográfica	q (L/s/km²) ¹	Área da Bacia (km²)	Q (L/s)	Q (m³/h)	Q _{20%} (m³/h)	Horas Bombeamento	Q _{20%} (m³/dia)
Paleozóica Superior	Cinzas	3,6	2.424,77	8.729,17	31.425,02	6.285,00	18	113.130
	Iguaçu	3,6	3.929,91	14.147,68	50.931,63	10.186,33	18	183.353
	Itararé	3,6	506,07	1.821,85	6.558,67	1.311,73	18	23.611
	Ivaí	3,6	7.246,02	26.085,67	93.908,42	18.781,68	18	338.070
	Paranapanema 1	3,6	88,16	317,38	1.142,55	228,51	18	4.113
	Tibagi	3,6	2.922,12	10.519,63	37.870,68	7.574,14	18	136.334
Guarani	Cinzas	12,4	2.679,91	33.230,88	119.631,18	11.963,12	18	215.336
	Iguaçu	12,4	41.163,10	510.422,44	1.837.520,78	183.752,08	18	3.307.537
	Itararé	12,4	75,98	942,15	3.391,75	339,17	18	6.105
	Ivaí	12,4	18.621,05	230.901,02	831.243,67	83.124,37	18	1.496.238
	Paraná 3	12,4	8.635,09	107.075,12	385.470,42	38.547,04	18	693.846,75
	Paranapanema 1	12,4	1.150,65	14.268,06	51.365,02	5.136,50	18	92.457
	Paranapanema 2	12,4	720,67	8.936,31	32.170,71	3.217,07	18	57.907
	Paranapanema 3	12,4	2.145,40	26.602,96	95.770,66	9.577,07	18	172.387
	Piquiri	12,4	18.786,97	232.958,43	838.650,34	83.865,03	18	1.509.570
	Pirapó	12,4	2.950,28	36.583,47	131.700,50	13.170,05	18	237.060
	Tibagi	12,4	7.001,84	86.822,82	312.562,14	31.256,21	18	562.611

Unidade Aquífera	Bacia Hidrográfica	q (L/s/km²) ¹	Área da Bacia (km²)	Q (L/s)	Q (m³/h)	Q _{20%} (m³/h)	Horas Bombeamento	Q _{20%} (m³/dia)
Serra Geral Norte	Cinzas	4,2	2.506,61	10.527,76	37.899,94	7.579,99	18	136.439
	Itararé	4,2	47,75	200,55	721,98	144,40	18	2.599
	Ivaí	4,2	17.603,91	73.936,42	266.171,12	53.234,22	18	958.216
	Paraná 3	4,2	8.635,09	36.267,38	130.562,56	26.112,51	18	470.025
	Paranapanema 1	4,2	829,31	3.483,10	12.539,17	2.507,83	18	45.141
	Paranapanema 2	4,2	720,67	3.026,81	10.896,53	2.179,31	18	39.227
	Paranapanema 3	4,2	2.145,40	9.010,68	32.438,45	6.487,69	18	116.778
	Piquiri	4,2	18.863,71	79.227,58	285.219,30	57.043,86	18	1.026.789
	Pirapó	4,2	2.950,28	12.391,18	44.608,23	8.921,65	18	160.589
	Tibagi	4,2	6.792,60	28.528,92	102.704,11	20.540,82	18	369.734
Serra Geral Sul	Iguaçu	3,8	40.864,30	155.284,34	559.023,62	111.804,72	18	2.012.485
Caiuá	Ivaí	4,2	10.617,46	44.593,33	160.536,00	32.107,20	18	577.929
	Paraná 1	4,2	1.629,43	6.843,61	24.636,98	4.927,40	18	88.693
	Paraná 2	4,2	2.919,79	12.263,12	44.147,22	8.829,44	18	158.930
	Paraná 3	4,2	74,86	314,41	1.131,88	226,38	18	4.074
	Paranapanema 3	4,2	1.637,00	6.875,40	24.751,44	4.950,29	18	89.105
	Paranapanema 4	4,2	4.158,89	17.467,34	62.882,42	12.576,48	18	226.376
	Piquiri	4,2	5.227,38	21.955,00	79.037,99	15.807,60	18	284.536
Caiuá	Pirapó	4,2	2.163,62	9.087,20	32.713,93	6.542,79	18	117.770
	Tibagi	4,2	19,54	82,07	295,44	59,09	18	1.063
Guabirrotuba	Iguaçu	3,53	831,61	2.935,58	10.568,10	2.113,62	18	38.045
	Ribeira	3,53	35,72	126,09	453,93	90,79	18	1.634
Costeira	Litorânea	n/a	1.904,33	-	-	-	-	-
TOTAL								19.432.733

NOTA: ⁽¹⁾ Valores de vazões transitórias estimadas (SUDERHSA, 1998).

5. QUALIDADE DAS ÁGUAS DAS UNIDADES AQÜÍFERAS PARANAENSES

5. QUALIDADE DAS ÁGUAS DAS UNIDADES AQUÍFERAS PARANAENSES

Com base em estimativas oriundas da análise dos dados da SANEPAR e da SUDERHSA, observa-se que cerca de 16% do abastecimento de água do Estado é feito por meio de captação de águas subterrâneas. Em algumas cidades do interior do território, esse tipo de manancial é responsável pela totalidade da água fornecida à população. O uso para fins industriais, agrícolas e postos de serviços é igualmente significativo (a diferença aproximada do número de poços outorgados pela SUDERHSA à SANEPAR são para estes tipos de finalidades). Empreendimentos recreacionais ou turísticos que se utilizam de águas termais do aquífero Guarani se resumem a menos de dez unidades.

A qualidade da água subterrânea é controlada por fatores naturais - principalmente, geológicos e climáticos - e antrópicos.

Em aquíferos não afetados pela atividade antrópica, a qualidade da água subterrânea resulta da interação geoquímica entre a água e as rochas que compõem o aquífero, ao longo do fluxo da água entre a zona de recarga e a zona de descarga. De modo geral, quanto mais tempo a água permanecer em contato com materiais solúveis que constituem o aquífero, maior será o seu conteúdo em sólidos totais dissolvidos. A qualidade da água também pode ser afetada por misturas de águas de diferentes aquíferos.

A atividade antrópica pode modificar de forma negativa a qualidade natural da água subterrânea, seja pela infiltração de substâncias poluentes sobrepostas nas zonas de recarga (aplicação de fertilizantes e defensivos agrícolas, vazamentos de tanques aéreos ou subterrâneos de armazenamento de substâncias potencialmente nocivas, lixões e aterros sanitários, entre outros), seja pela alteração das linhas de fluxo subterrâneo, a exemplo dos aquíferos costeiros, onde o bombeamento da água de forma não controlada pode causar a salinização de aquíferos pelo avanço da cunha salina.

Os padrões de qualidade de água para consumo humano estão indicados na Portaria do Ministério da Saúde nº 518, de 25 de março de 2004, que estabelece os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Os valores máximos permitidos (VMP) dos parâmetros físico-químicos analisados serão usados para verificar a adequação da água dos aquíferos para fins de abastecimento público.

A qualidade da água para uso na irrigação é verificada através da relação de adsorção de sódio (RAS), que expressa a atividade relativa dos íons de sódio nas reações de troca catiônica no solo. Essa razão é uma medida da relação entre as concentrações de sódio e de cálcio e magnésio.

A avaliação da qualidade da água dos aquíferos, considerados neste relatório, foi feita utilizando-se os dados de análises físico-química realizadas pelo LPH - Laboratório de Pesquisas Hidrogeológicas da Universidade Federal do Paraná, em amostras de águas coletadas em poços públicos e privados, utilizados, em sua maior parte, para abastecimento humano.

A amostra usada na caracterização qualitativa dos aquíferos paranaenses é formada por 1.204 laudos analíticos, correspondentes a cerca de 20% do banco de dados analíticos do LPH. A seleção das análises baseou-se no resultado do cálculo da diferença de balanço iônico, sendo descartadas as análises com erro superior a 5%. A distribuição de laudos por aquífero está apresentada no *Quadro 5.1*.

Quadro 5.1. Caracterização Qualitativa dos Aquíferos Paranaenses.

Unidade Aquífera	Número de Análises
Pré-Cambriana	105
Karst	130
Paleozóica Inferior	135
Paleozóica Média-Superior	131
Paleozóica Superior	95
Guarani	110
Serra Geral (Norte e Sul)	150
Caiuá	101
Guabirotuba	133
Costeira	114
TOTAL	1.204

As amostras de água foram analisadas, aplicando-se os procedimentos estabelecidos no *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*, para determinação dos seguintes parâmetros físicos e químicos: Alcalinidade Total, Bicarbonato, Cálcio, Carbonato, Cloreto, Dureza Total, Ferro, Fluoreto, Fosfato, Magnésio, Nitrato, Nitrito, Potássio, Sílica Dissolvida, Sódio, Sulfato e Sólidos Totais Dissolvidos (STD). Na seqüência é realizada uma caracterização sintética destes parâmetros.

❖ Bicarbonato e Carbonato (HCO_3^- ; CO_3^{2-})

Esses íons são responsáveis pela alcalinidade carbonatada da água, que pode ser entendida como a capacidade da água neutralizar ácidos. Podem precipitar na forma de carbonatos, principalmente de cálcio (CaCO_3).

A predominância dos íons bicarbonato ou carbonato depende do pH. O íon carbonato ocorre, predominantemente, em águas com pH maior que 8,3. Abaixo desse pH, predomina o íon bicarbonato.

Sua presença não apresenta problemas de toxicidade, porém águas bicarbonatadas sódicas não são apropriadas para irrigação, por proporcionarem a fixação de sódio no solo e favorecerem a alcalinização do meio.

❖ **Cálcio (Ca^{2+})**

Forma compostos moderadamente a muito solúveis. Precipita-se facilmente, formando CaCO_3 .

O maior inconveniente causado por esse íon é o aumento da dureza da água e da produção de incrustações de carbonato de cálcio.

❖ **Cloreto (Cl^-)**

Íon muito solúvel, estável e dificilmente precipita. Não causa redução ou oxidação do meio.

Em concentrações acima de 250 mg/L comunica sabor salgado à água, porém não é prejudicial à saúde, mesmo em concentrações da ordem de 1000 mg/L. Teores elevados são prejudiciais para muitas plantas e tornam a água corrosiva.

❖ **Dureza**

É devida à combinação dos íons de cálcio e de magnésio com íons bicarbonato e carbonato na presença de aquecimento. Tem o inconveniente de impedir o sabão de fazer espuma.

❖ **Ferro (Fe^{2+} ; Fe^{3+})**

Forma compostos solúveis na forma de ferro ferroso (Fe^{2+}), principalmente como hidróxidos. Em ambientes oxidantes o Fe^{2+} passa a Fe^{3+} dando origem ao hidróxido férrico, que é insolúvel e se precipita, dando à água uma coloração de ferrugem. Não é uma substância prejudicial à saúde, porém dá a água uma aparência desagradável. A presença de ferro na água, acima de 0,3 mg/L, causa manchas em roupas e louças brancas.

❖ **Fluoreto (F^-)**

Tem solubilidade baixa e contribui, ligeiramente, para o aumento da alcalinidade ao se hidrolisar. Não é prejudicial à saúde em baixas concentrações. Carência de fluoreto ou concentrações acima de 1,5 mg/L podem causar fluorose dentária.

❖ **Fosfato (PO_4^{3-})**

Apresenta, predominantemente, compostos pouco solúveis. Hidroliza-se com facilidade e contribui para o aumento da alcalinidade da água. Não apresenta toxicidade.

❖ **Magnésio (Mg^{2+})**

Propriedades similares às do Ca^{2+} , porém mais solúvel e mais difícil de precipitar.

Em concentrações da ordem de centenas de mg/L proporciona propriedades laxantes e sabor amargo à água. Também contribui para elevar a dureza da água.

❖ **Nitrato e Nitrito (NO_3^- ; NO_2^-)**

Íon muito solúvel, não forma precipitados, migrando facilmente através de meios porosos.

Em concentrações elevadas pode produzir cianose em bebês. Pode tornar a água corrosiva (oxidante) e interfere na fermentação.

❖ **Potássio (K^+)**

Apresenta solubilidade elevada, sendo difícil formar precipitados. Não apresenta problemas de toxicidade nas concentrações costumeiramente encontradas nas águas subterrâneas (<10 mg/L), sendo um elemento fundamental para as plantas.

❖ **Sílica (SiO_2)**

Acredita-se que a maior parte da sílica apresenta-se como H_4SiO_4 , parte dissolvida, parte coloidal, e só uma pequena parte está ionizada (H_3SiO_4^-) em pH normal.

O maior inconveniente está relacionado com a formação de incrustações em caldeiras e aquecedores.

❖ **Sódio (Na^+)**

Tem solubilidade elevada e não forma precipitados nas condições ambientais. Águas com concentrações elevadas de sódio são prejudiciais às plantas ao reduzir a permeabilidade do solo. Esse processo é extremamente nocivo caso as concentrações de Ca e Mg sejam baixas.

❖ **Sulfato (SO_4^{2-})**

Forma compostos iônicos moderadamente a muito solúveis (exceto com Sr e Ba). Difícilmente precipita, separando-se da solução apenas por evaporação.

As águas com elevado teor de sulfato não matam a sede, tendo sabor pouco agradável e amargo. Em solução iônica ou associado ao Mg ou Na, tem propriedades laxantes. Em quantidades elevadas pode ser prejudicial às plantas. Em concentrações da ordem de centenas de mg/L prejudicam a resistência do concreto e do cimento.

❖ **Sólidos Totais Dissolvidos (STD)**

É uma medida da salinidade da água, correspondendo à soma dos teores de todas as substâncias minerais dissolvidas na água. Normalmente, apresenta uma relação linear com a condutividade elétrica da água. Em concentrações elevadas confere sabor desagradável à água.

Atualmente, não existem estudos específicos que avaliem, por exemplo, o grau de contaminação das unidades aquíferas paranaenses, seja ela consequência da utilização de agrotóxicos na agricultura, ou ainda, causada pela superexploração da reserva. A poluição das águas subterrâneas é geralmente difícil de detectar, sendo necessária a realização de monitoramento dispendioso e prolongado. Por referir-se ao Estado do Paraná numa escala macro, o Plano Estadual de Recursos Hídricos não permite o avanço numa escala micro-local no assunto. Dessa forma, recomenda-se que, na elaboração dos Planos de Bacias, o assunto seja tratado de maneira mais específica, de modo a permitir a identificação de possíveis áreas de contaminação.

5.1. Caracterização Hidroquímica das Unidades Aquíferas

A classificação química da água foi feita pelo *Método de Piper* que considera as concentrações relativas de cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}$) e de ânions ($\text{HCO}_3^{-}+\text{CO}_3^{2-}$, Cl^{-} , SO_4^{2-}), expressas em porcentagens. O *Quadro 5.2* apresenta o resumo da caracterização hidroquímica de todos os aquíferos. Seu detalhamento é feito nos itens subsequentes, com os respectivos *Diagramas de Piper* e *Histogramas de Frequência*.

Quadro 5.2. Tipos de Água nas Diferentes Unidades Aquíferas.

Unidade Aquífera	Pré-Cambriana	Karst	Paleozóica			Guarani	Serra Geral (Norte e Sul)	Caiuá	Guabirotuba	Costeira
			Inferior	Média-Superior	Superior					
Bicarbonato-Cálcio (HCO ₃ -Ca)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Bicarbonato-Magnésio (HCO ₃ -Mg)		●	●	●				●	●	
Bicarbonato-Sódio (HCO ₃ -Na)	●		●	●	●	●	●	●	●	●
Bicarbonato-Cálcio-Magnésio (HCO ₃ -Ca-Mg)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Bicarbonato-Cálcio-Sódio HCO ₃ -Ca-Na	●		●	●	●		●	●	●	●
Bicarbonato-Magnésio-Cálcio (HCO ₃ -Mg-Ca)	●	●			●		●		●	
Bicarbonato-Sódio-Cálcio (HCO ₃ -Na-Ca)	●	●	●	●	●			●	●	
Bicarbonato-Sódio-Magnésio (HCO ₃ -Na-Mg)	●			●	●			●	●	
Sulfato-Cálcio (SO ₄ -Ca)			●							●
Sulfato-Sódio (SO ₄ -Na)			●	●		●		●		●
Cloreto-Magnésio (Cl-Mg)										●
Cloreto-Sódio (Cl-Na)	●		●					●		●
Cloreto-Cálcio-Magnésio (Cl-Ca-Mg)										●
Cloreto-Sulfato-Sódio (Cl-SO ₄ -Na)							●			

5.1.1. Unidade Aquífera Pré-Cambriana

As águas dos migmatitos não apresentam restrições para o consumo humano. Elas são classificadas como bicarbonatadas cálcio-magnesianas e contêm teores de sólidos totais dissolvidos entre 100 e 150 mg/L, pH entre 6,5 a 7,2 e dureza inferior a 100 mg/L de CaCO_3 . Entre os cátions, predominam o cálcio (2 a 20 mg/L) e o magnésio (0,5 a 12 mg/L) em relação ao sódio (1 a 3 mg/L) e ao potássio (1 a 2 mg/L). É interessante destacar que os poços que captam águas de profundidades próximas de 300 m, especialmente na região do Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná, foram constados teores de flúor entre 3 e 7 mg/L.

Figura 5.1. Diagrama de Piper da Unidade Aquífera Pré-Cambriana

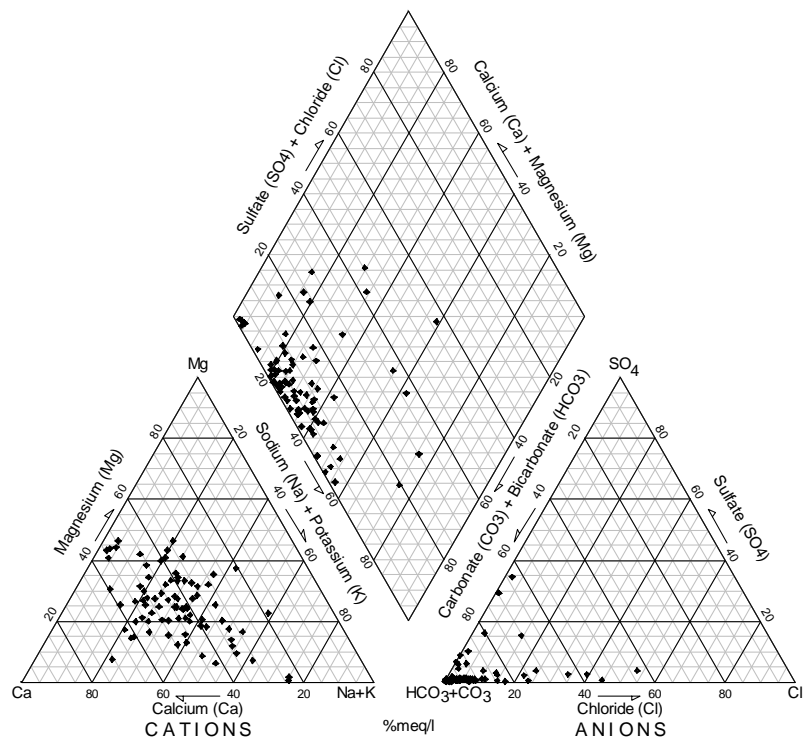
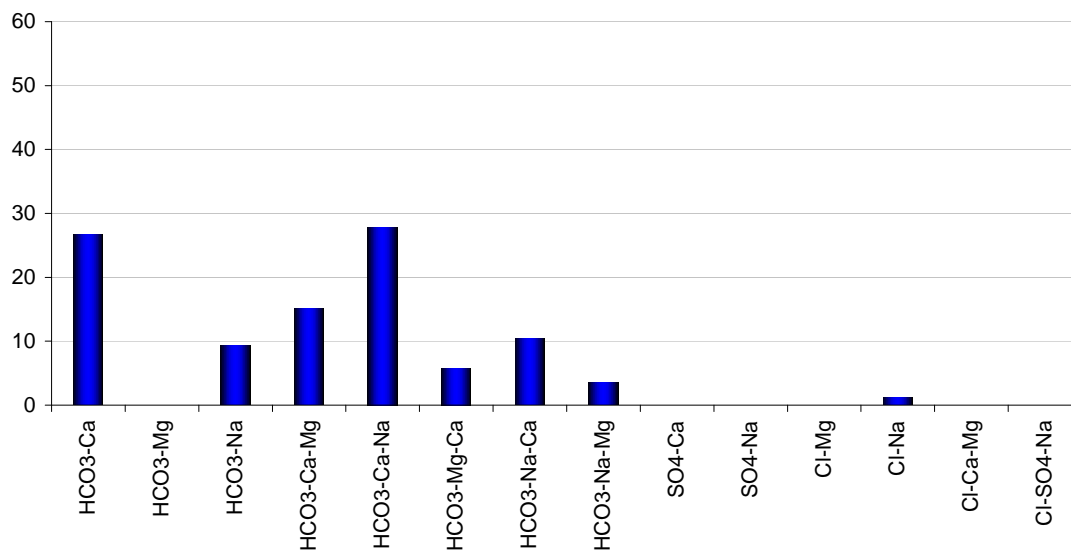


Figura 5.2. Frequência (em %) dos Tipos de Água que Ocorrem na Unidade Pré-Cambriana



5.1.2. Unidade Aquífera Karst

As águas do aquífero Karst são de ótima qualidade para o consumo humano. As águas são classificadas como bicarbonatadas cálcio-magnesianas, com teor médio de cálcio de 27 mg/L; de magnésio, 14 mg/L; de sódio, 1 mg/L; e, de potássio, 1 mg/L. Entre os ânions, o teor médio de bicarbonato é de 181 mg/LL, de sulfato, 3,8 mg/L e de cloreto, 1,7 mg/L. A dureza total varia de 104 mg-CaCO₃/l a 262 mg-CaCO₃/l (águas moderadamente a muito duras). O pH varia 7,1 a 8,6 (média: 8,2).

Figura 5.3. Diagrama de Piper na Unidade Aquífera Karst

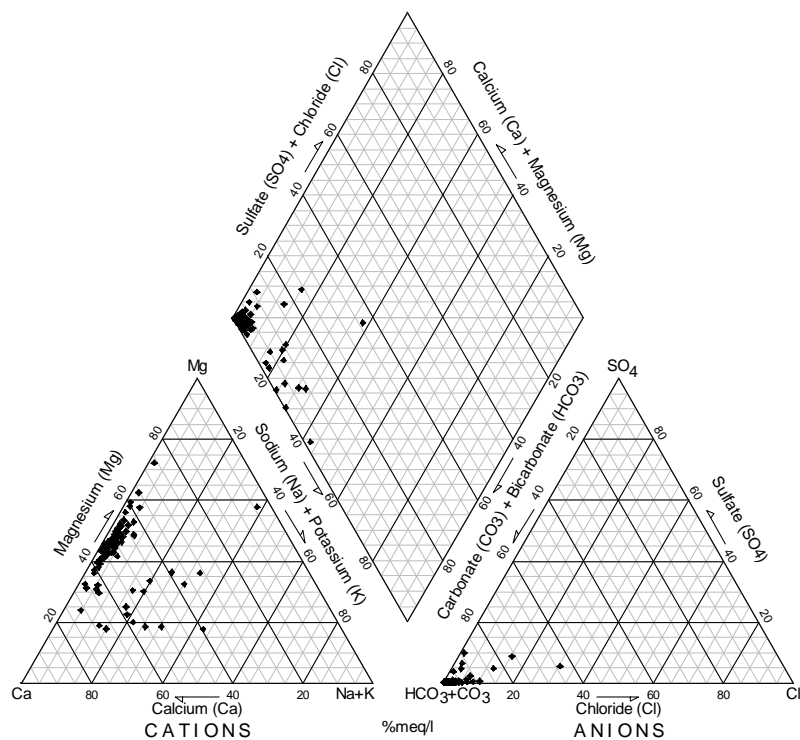
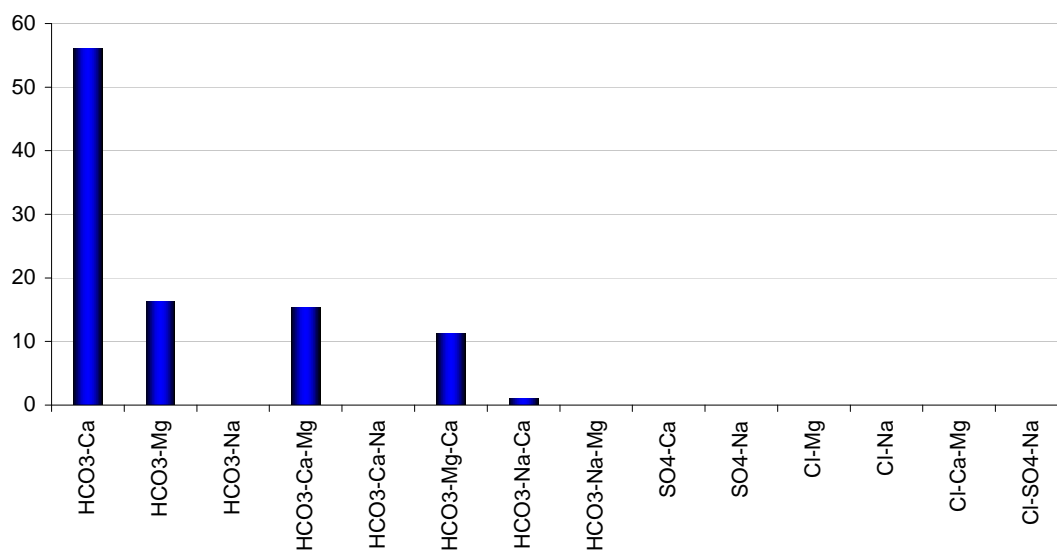


Figura 5.4. Frequência (em %) dos Tipos de Água que Ocorrem na Unidade Aquífera Karst



5.1.3. Unidade Aquífera Paleozóica Inferior

As águas do aquífero Furnas são de ótima qualidade para o consumo humano. São bicarbonatadas sódicas com teor médio de cálcio de 5,5 mg/L; de magnésio, 3,5 mg/L; de sódio, 9,4 mg/L; e, de potássio, 1,4 mg/L. Entre os ânions, o teor médio de bicarbonato é de 60 mg/L e o de sulfato, 6 mg/L. A dureza total varia de 40 a 65 mg-CaCO₃/l (águas ligeiramente duras) e o pH varia 7,1 a 7,6. Os sólidos totais raramente ultrapassam o valor de 85 mg/L.

Figura 5.5. Diagrama de Piper na Unidade Aquífera Paleozóica Inferior

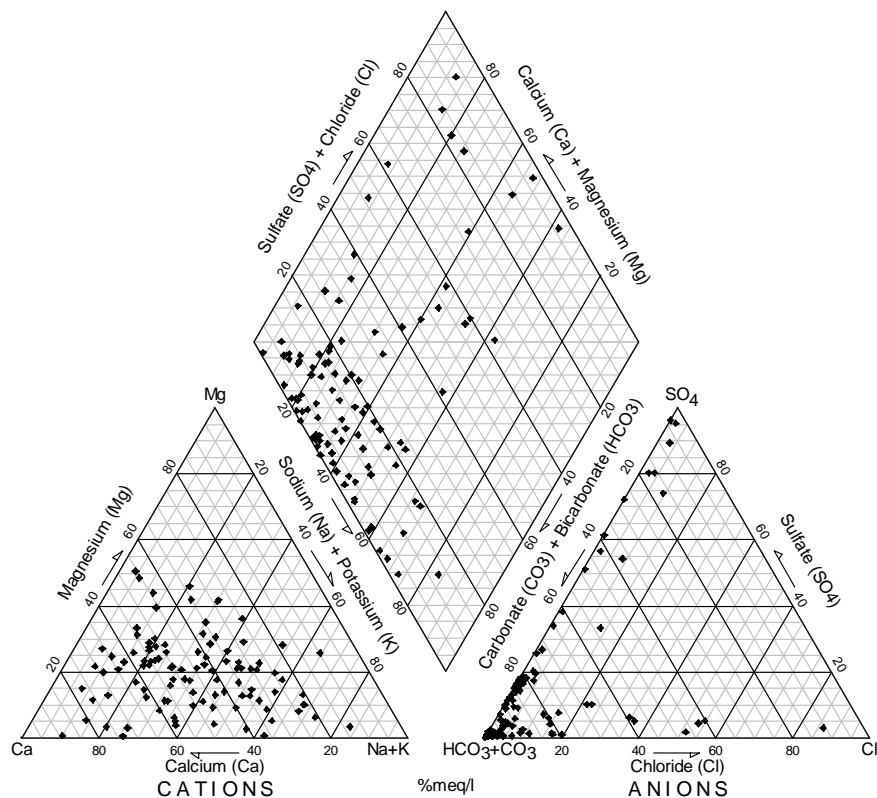
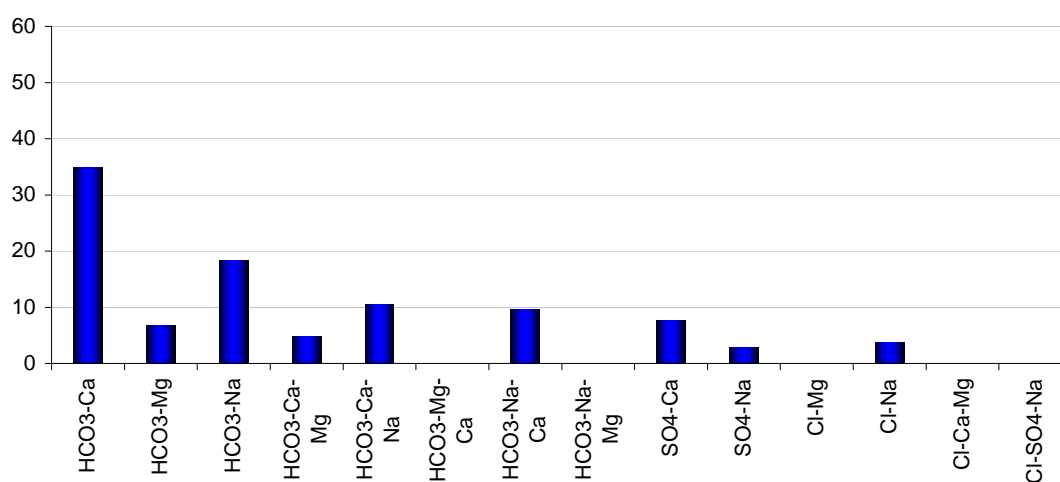


Figura 5.6. Frequência (em %) dos Tipos de Água que Ocorrem na Unidade Aquífera Paleozóica Inferior.



5.1.4. Unidade Aquífera Paleozóica-Média-Superior

As águas do aquífero Itararé são de ótima qualidade para o consumo humano. Elas são classificadas como bicarbonatadas cálcicas e contêm teores de sólidos totais dissolvidos entre 100 e 150 mg/L. O pH varia entre 6,8 a 7,3 e a dureza total gira em torno de 60 mg-CaCO₃/l (águas ligeiramente duras). O teor médio de cálcio é de 14 mg/L. A concentração de magnésio varia entre 1,5 a 6 mg/L, a de sódio, entre 7 a 35 mg/L e a de potássio, entre 1 a 3 mg/L. Este aquífero, a exemplo do que foi obtido em poços perfurados pela SANEPAR (Ivaí, Siqueira Campos, Prudentópolis), apresenta águas com temperaturas que variam entre 25 °C e 36 °C, sendo que a temperatura mais elevada foi constada num poço cuja profundidade atingiu 765 m.

A presença de pirita nos leitos ou camadas delgadas de carvão confere teores elevados de sulfatos nas águas do aquífero Rio Bonito. Os valores de sulfatos, em condições sem presença das camadas mencionadas, variam entre 4 e 8 mg/L. O conteúdo médio de sólidos totais dissolvidos é igual a 200 mg/L e os valores do pH permanecem próximo de 8. A concentração média de sódio é de 58 mg/L; de potássio, 2 mg/L; de cálcio, 11 mg/L; e, de magnésio, 2 mg/L. A concentração média de bicarbonato é de 137 mg/L e de cloreto é igual a 1,8 mg/L. A dureza total média é igual a 35 mg-CaCO₃/l (águas moles). As águas do aquífero Rio Bonito, com raras exceções, são de boa qualidade para o consumo humano.

Em situações com termalismo, as águas são ricas em sódio e potássio. Apresentam teores de até 2 mg/L de flúor, com cloretos e sulfatos predominando sobre os bicarbonatos; os teores de sólidos totais dissolvidos são da ordem de 800 mg/L. Essas águas não são adequadas ao consumo humano na sua condição de água bruta. Quimicamente essas águas são semelhantes às águas do Guarani, quando este se encontra em condições de médio e alto confinamento; é possível inclusive admitir a existência de conectividades hidráulicas entre o Guarani e o Rio Bonito.

Figura 5.7. Diagrama de Piper na Unidade Aquífera Paleozóica Média-Superior

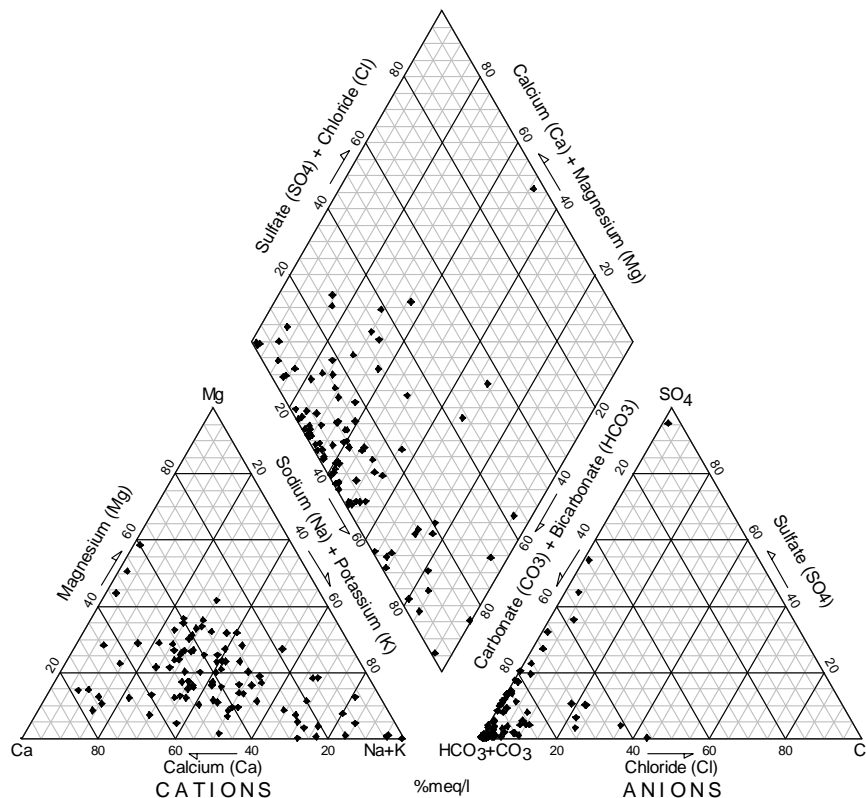
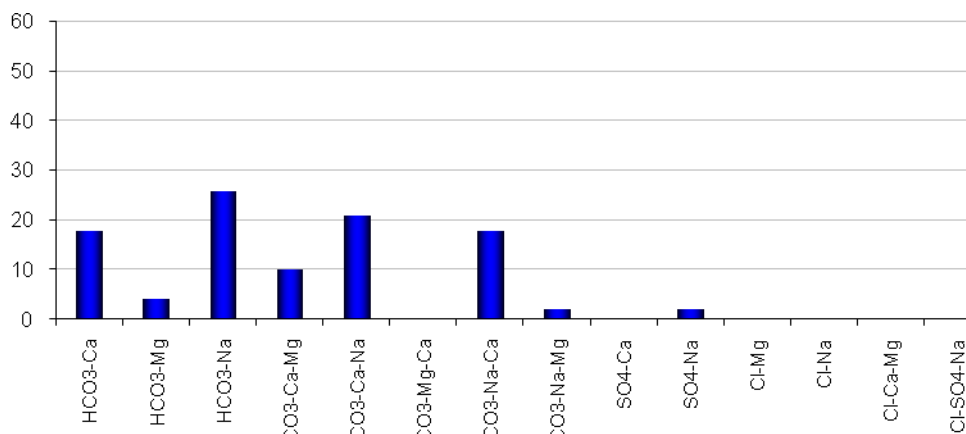


Figura 5.8. Frequência (em %) dos Tipos de Água que Ocorrem na Unidade Aquífera Paleozóica Média-Superior



5.1.5. Unidade Aquífera Paleozóica Superior

De acordo com a distribuição iônica média, admite-se classificar as águas subterrâneas da Unidade Paleozóica Superior como sendo Bicarbonatadas Sódicas, apresentando conteúdo médio de 243 ppm (mg/L) de Sólidos Totais Dissolvidos.

Figura 5.9. Diagrama de Piper na Unidade Aquífera Paleozóica Superior

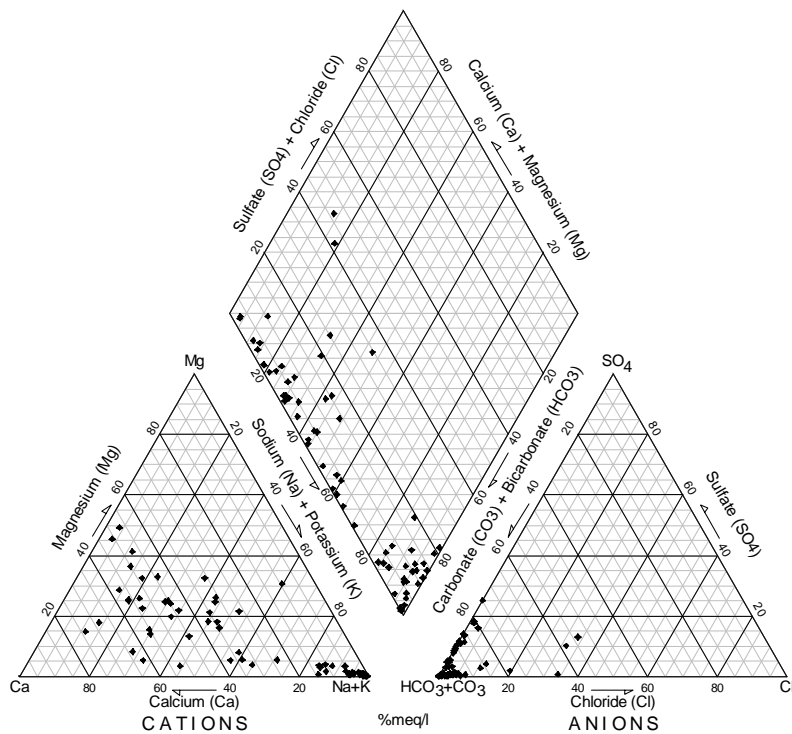
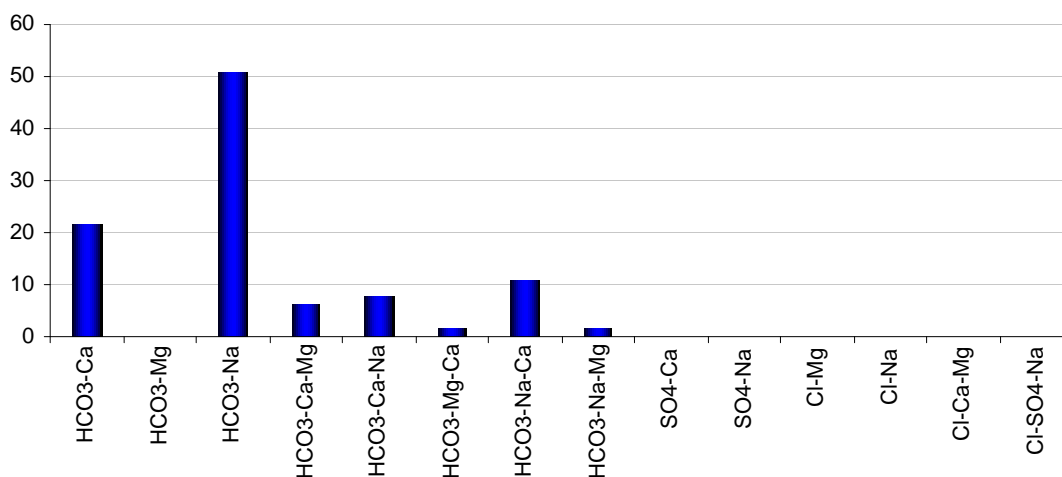


Figura 5.10. Frequência (em %) dos Tipos de Água que Ocorrem na Unidade Aquífera Paleozóica Superior



5.1.6. Unidade Aquífera Guarani

As temperaturas da água variam entre 23 a 68 °C em função do grau de confinamento, aumentando de leste para oeste em direção ao rio Paraná. Nas áreas de baixo confinamento, as águas são bicarbonatadas com predominância de cálcio e magnésio (são águas doces), nas de médio confinamento as águas adquirem uma variação de bicarbonatadas para sulfatadas com predominância de sódio e potássio (sólidos totais acima de 500 mg/L) e nas áreas de alto confinamento, as águas são sulfatadas-cloretadas, com sódio e potássio, onde os sólidos totais dissolvidos apresentam teores acima de 1000 mg/L; nesses casos, as águas são salobras e não são adequadas ao consumo humano na sua condição de água bruta.

A idade das águas coletadas em poços penetrantes nas zonas de alto confinamento, determinada por análises isotópicas de carbono-14, as quais foram realizadas na University Waterloo, no Canadá, variou de 10.000 a 30.000 anos.

O teor de sulfato varia de 0,5 a 18 mg/L. O bicarbonato apresenta concentração média de 64 mg/L e variação entre 4 e 197 mg/L. A média de sólidos totais dissolvidos é 125 mg/L e a sua variação é de 19 a 312 mg/L. O valor médio da dureza é 56 mg/L- CaCO_3 e varia entre 3 e 189 mg/L. O pH varia de 5,6 a 9,5, sendo 7,0 o valor da média. Os poços, cujas águas apresentam pH em torno de 7 localizam-se próximos à zona de recarga ou sofrem influência das águas do aquífero Serra Geral sobrejacente. Os teores de cálcio variam entre 1 a 53 mg/L com média de 16 mg/L. O magnésio varia de 0,3 a 29 mg/L e a média é igual a 5 mg/L. O potássio apresenta uma variação entre 0,5 a 6,4 mg/L e a média é 1,9 mg/L. O teor de sódio varia entre 1,1 a 52 mg/L e a média é igual a 14 mg/L.

A presença de íon fluoreto foi detectada em apenas 21 poços. Os teores variam de 0,1 mg/L a 0,6 mg/L, sendo que a média é igual a 0,25 mg/L. Os diagramas sobre o Guarani serão apresentados no item 5.2.6.

O detalhamento das características deste aquífero, bem como o seu diagrama de Piper, serão apresentados, adiante neste relatório, em um item específico.

5.1.7. Unidade Aquífera Serra Geral Norte e Sul

As águas são classificadas como bicarbonatadas cálcicas e contém teores de sólidos totais dissolvidos entre 100 e 150 mg/L. O pH varia entre 6,6 a 7,2 e a dureza gira em torno de 40 mg-CaCO₃/l. O teor médio de cálcio é 9 mg/L. As concentrações de magnésio variam de 3,5 a 6,5 mg/L; as de sódio, entre 1,2 a 3,7 mg/L; e, as de potássio, entre 1,5 a 3 mg/L. O teor médio de bicarbonato é 38 mg/L, o de cloreto, 1,5 mg/L e o de sulfato, 2,5 mg/L.

A grande problemática sobre a qualidade das águas desse aquífero está associada a proximidade de poços sem revestimento que seccionaram o aquífero Guarani. Nesses casos, é comum se observar uma tipologia de água misturada, inclusive com teores de sódio e potássio ultrapassando teores de cálcio e magnésio.

Figura 5.11. Diagrama de Piper na Unidade Aquífera Serra Geral

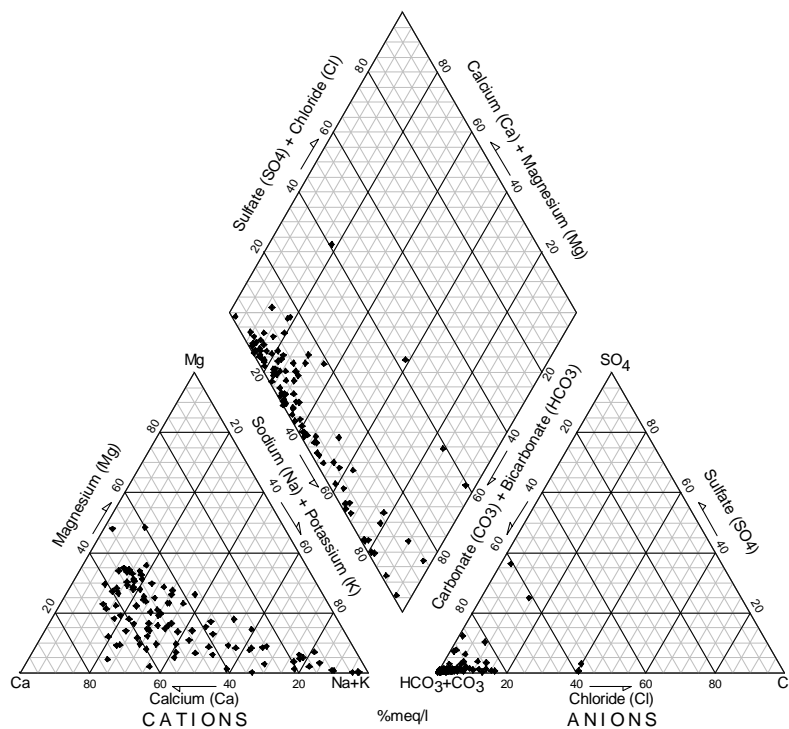
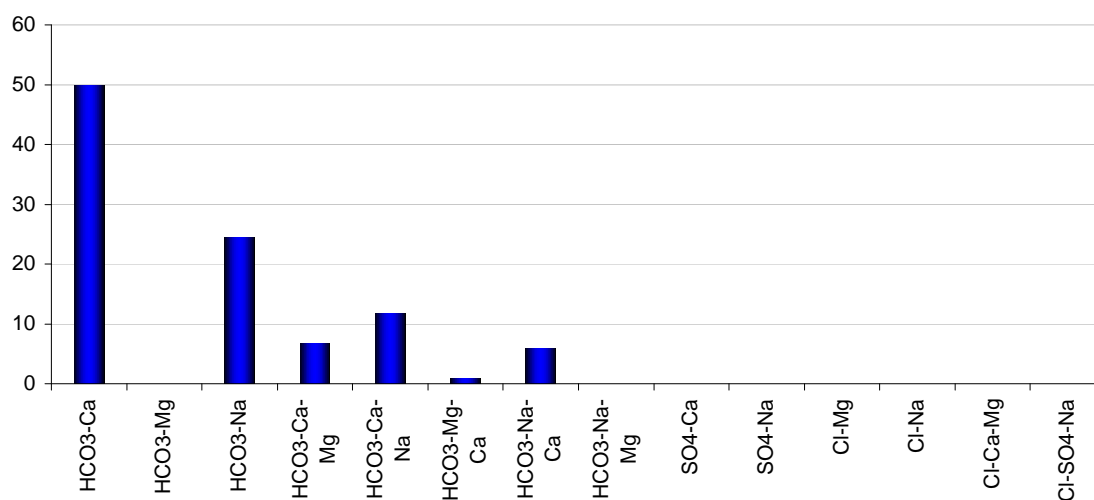


Figura 5.12. Frequência (em %) dos Tipos de Água que Ocorrem na Unidade Aquífera Serra Geral



5.1.8. Unidade Aquífera Caiuá

As águas do aquífero Caiuá são de ótima qualidade para o consumo humano. Elas são classificadas como bicarbonatadas cálcicas e contém teores de sólidos totais dissolvidos entre 40 a 60 mg/L. O pH varia entre 6,1 a 6,9 e a dureza total gira em torno de 9 a 13 mg-CaCO₃/l. O teor de cálcio varia de 2 a 4 mg/LL, o de magnésio, de 0,1 a 0,6 mg/L; o de sódio, de 1 a 1,2 mg/L; e, o de potássio, de 1,5 a 4 mg/L. A concentração de bicarbonato varia de 8 a 16 mg/L, a de sulfato, de 0,5 a 1,5 mg/L e a de cloretos de 1,2 a 2,3 mg/L.

Figura 5.13. Diagrama de Piper na Unidade Aquífera Caiuá

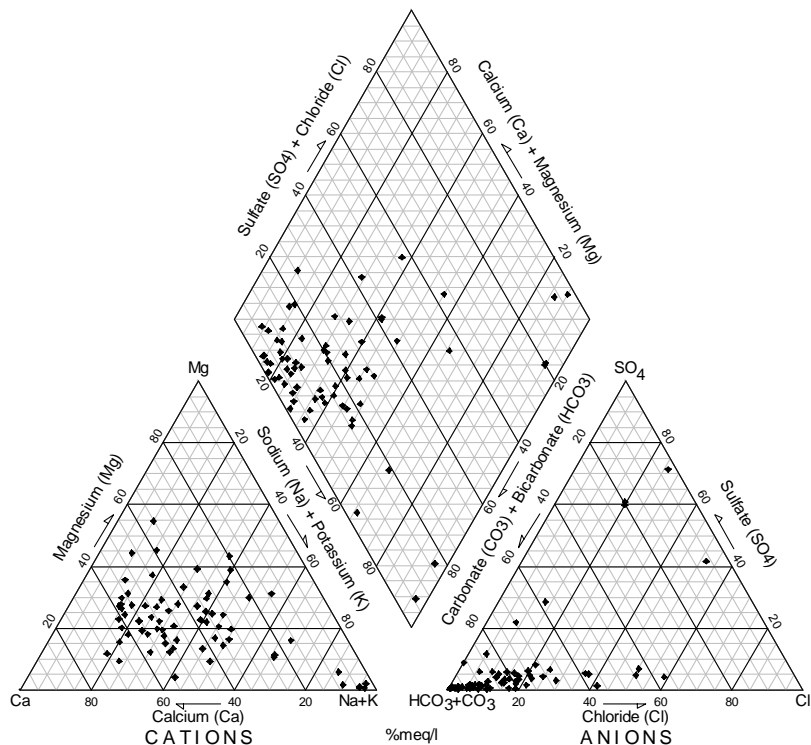
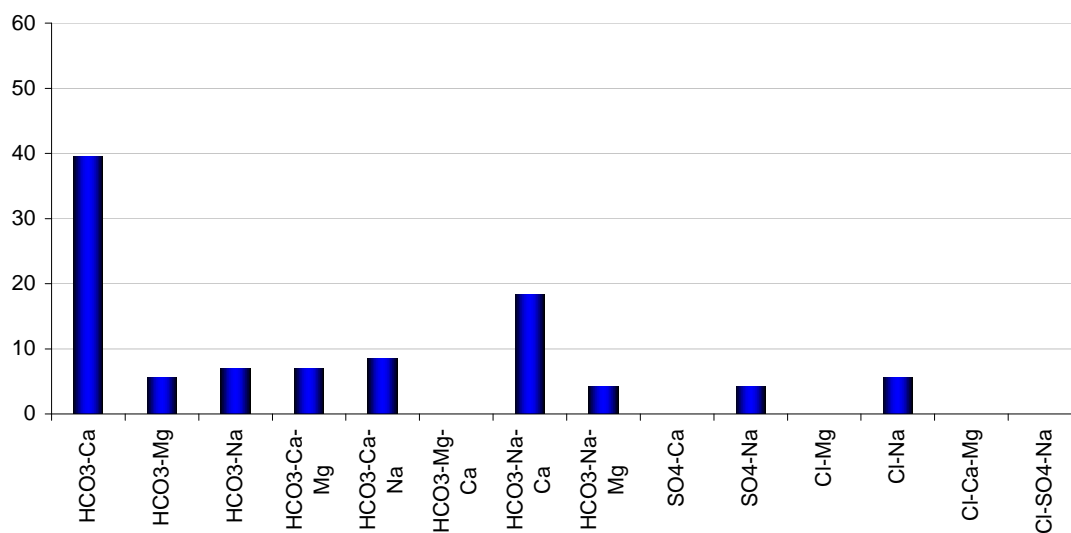


Figura 5.14. Frequência (em %) dos Tipos de Água que Ocorrem na Unidade Aquífera Caiuá



5.1.9. Unidade Aquífera Guabirotuba

As águas do aquífero Guabirotuba, em algumas áreas, apresentam teores de ferro que variam entre 0,05 a 5 mg/L e de manganês, que atingem valores de até 1,5 mg/L. A concentração média de sólidos totais dissolvidos é da ordem de 150 mg/L, a dureza total varia de 30 a 230 mg/L de CaCO_3 e o pH varia entre 6,8 a 8,1. A concentração de bicarbonatos atinge valores de até 195 mg/L, a de sulfato varia de 1,2 a 4,5 mg/L e a de cloretos gira em torno de 2 mg/L. Predominam os teores de cálcio até 30 mg/L; sendo que o magnésio varia entre 8 a 15 mg/L; o sódio entre 18 a 24 mg/L; e, o potássio entre 1,2 a 2,3 mg/L.

Figura 5.15. Diagrama de Piper na Unidade Aquífera Guabirotuba

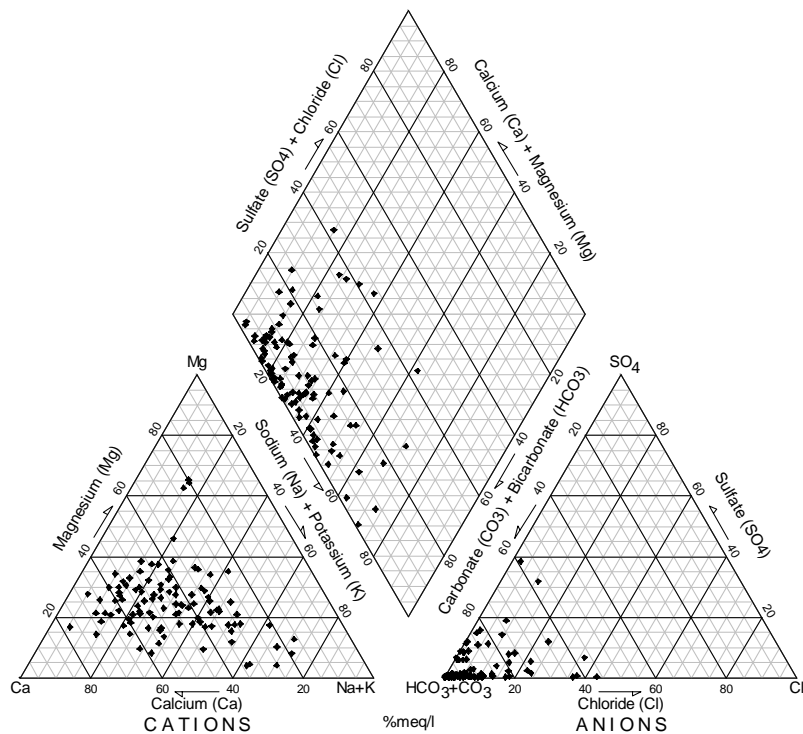
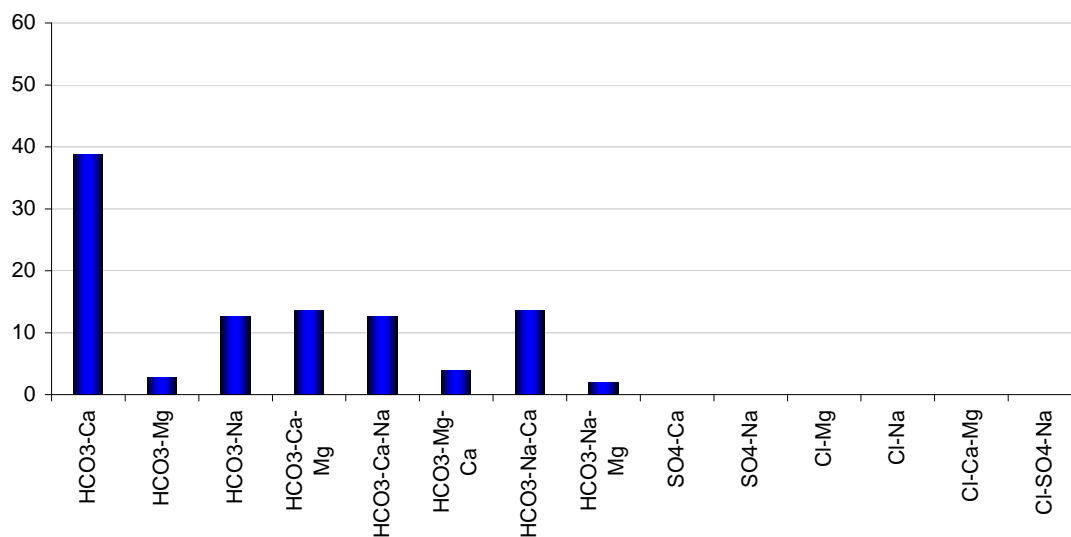


Figura 5.16. Frequência (em %) dos Tipos de Água que Ocorrem na Unidade Aquífera Guabirotuba



5.1.10. Unidade Aquífera Costeira

Em termos químicos, a concentração predominante é de cloreto e de sódio. O teor de cloreto varia de 12 a 16 mg/L; de bicarbonato, entre 2 a 6 mg/L; e, de sulfato, entre 12 a 14 mg/L. O teor de sódio varia de 12 a 13 mg/L; de cálcio, entre 11 a 12 mg/L; de potássio, entre 3 a 4; e, de magnésio, em torno de 3 mg/L. O íon nitrato, o qual representa o estágio final da oxidação de materiais orgânicos, varia entre 40 a 45 mg/L; sendo que o limite máximo de nitrato numa água considerada potável não deve exceder 50 mg/L.

Figura 5.17. Diagrama de Piper na Unidade Aquífera Costeira

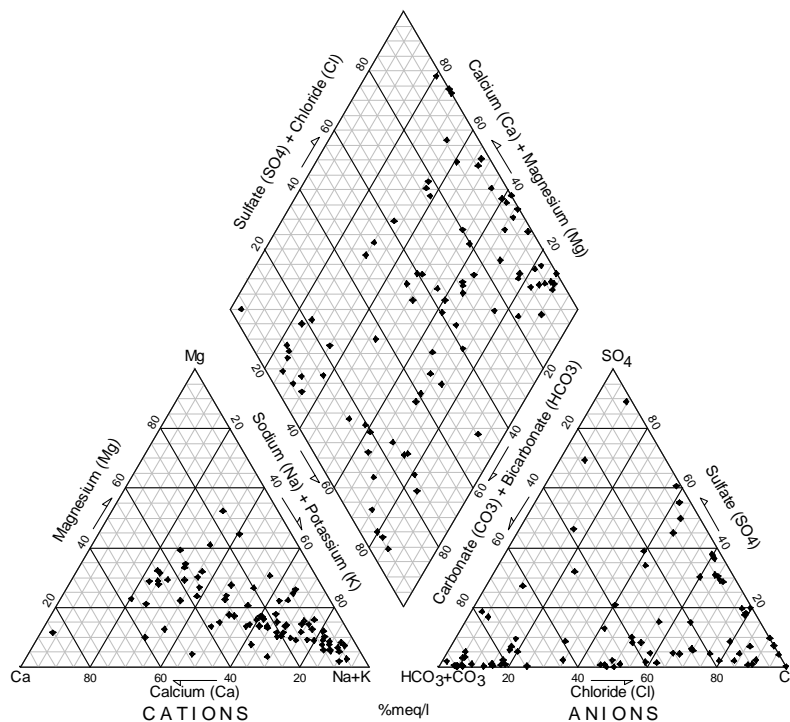
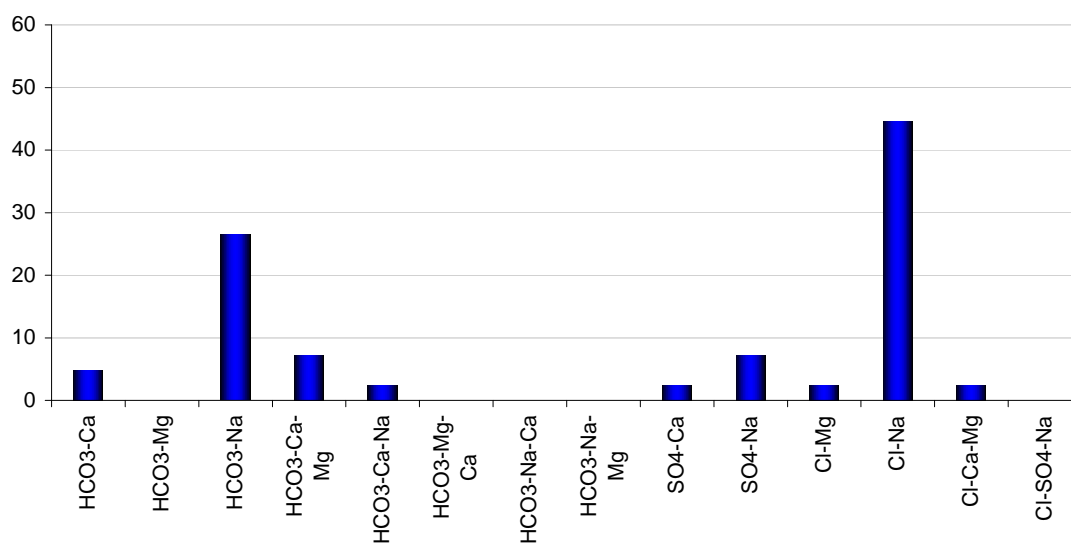


Figura 5.18. Frequência (em %) dos Tipos de Água que Ocorrem na Unidade Aquífera Costeira



5.2. Qualidade da Água para o Consumo Humano

A avaliação da qualidade da água para consumo humano foi feita comparando-se os teores de alguns parâmetros químicos obtidos dos laudos analíticos, com o Valor Máximo Permitido (VMP), estabelecidos na Portaria N.º 518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde. De um modo geral, sete parâmetros foram analisados (cloreto, ferro total, fluoreto, nitrato, sódio, sólidos totais dissolvidos e sulfato) sendo que o ferro total aparece em todos os aquíferos.

Deve-se deixar claro, entretanto, que isso não inviabiliza o aproveitamento da maioria dessas águas para consumo humano. É apenas um indicativo da qualidade e que muitas vezes um tratamento simplificado da água pode deixá-la apta para o abastecimento público.

5.2.1. Unidade Aquífera Pré-Cambriana

As amostras de águas coletadas em poços da unidade aquífera pré-cambriana, com exceção do íon nitrato, não apresentaram concentrações acima dos valores máximos permissíveis. A presença de nitrato na água subterrânea não tem origem natural, estando associada à infiltração de efluentes domésticos. A utilização desse recurso para fins de abastecimento público, principalmente em condomínios, hotéis e hospitais, deve ser feita com um controle sanitário rigoroso, uma vez que em áreas urbanizadas, com canalização de rios e rede de coleta de esgotos ineficiente, é provável que ocorra a infiltração de efluentes, causando a degradação do recurso hídrico subterrâneo.

O conteúdo de íon fluoreto também aparece acima do limite de potabilidade em sete amostras e o de ferro total está acima do limite em 16 amostras. Os demais parâmetros atendem aos padrões de potabilidade.

O *Quadro 5.3* apresenta um resumo estatístico dos parâmetros químicos da água desse aquífero.

Quadro 5.3. Resumo Estatístico dos Parâmetros Químicos da Água da Unidade Aquífera Pré-Cambriana.

Parâmetro	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	VMP
Alcalinidade total	206,23	5,94	79,80	65,16	*
Bicarbonato	251,60	7,25	95,72	78,67	*
Cálcio	55,28	1,21	16,33	12,09	*
Carbonato	10,73	0,00	0,48	0,00	*
Cloreto	22,90	0,04	2,73	1,47	250
Dureza total	204,48	6,78	63,42	49,01	500
Ferro	35,00	0,01	0,74	0,09	0,3
Fluoreto	18,00	0,01	0,84	0,18	1,5
Fosfato	4,76	0,01	0,33	0,15	*
Magnésio	22,71	0,09	5,60	4,40	*
Nitrato	70,72	0,02	3,22	0,51	45
Nitrito	0,04	0,00	0,01	0,01	3
Potássio	16,15	0,01	2,00	1,89	*
Sílica dissolvida	75,20	0,50	32,05	35,00	*
Sódio	36,60	0,70	10,76	8,19	200
Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	379,00	18,00	126,69	120,00	1000
Sulfato	40,80	0,01	2,48	0,50	250

OBSERVAÇÃO: * VMP (valor máximo permitido) não especificado.

5.2.2. Unidade Aquífera Karst

O aquífero cárstico, situado na região de ocorrência das rochas carbonáticas do Grupo Açungui, na Região Metropolitana de Curitiba, constitui uma reserva estratégica para o abastecimento público, tanto sob o aspecto qualitativo quanto quantitativo. No entanto, devido à fragilidade natural das regiões cársticas, a maior restrição ao uso desse aquífero está relacionada aos riscos geotécnicos tais como subsidências ou solapamentos de terreno. Esses riscos, no entanto, podem ser minimizados, através de uma mudança no critério de locação de poços, passando a priorizar áreas rurais, com baixa densidade habitacional. Esse fator aliado a um gerenciamento da exploração da água, com monitoramento contínuo da recarga e do nível da água no aquífero, viabilizaria o aproveitamento seguro e sustentável desse importante aquífero.

O ferro total e o fluoreto foram os parâmetros que apresentaram valores acima do VMP. Deve-se ressaltar a importância da análise de compostos orgânicos, em função da intensa atividade agrícola desenvolvida sobre o aquífero.

Em função do tipo litológico, predominante no aquífero Carste (metadolomitos), essas águas apresentam teores elevados de alcalinidade e bicarbonato, e são, em alguns

casos, medianamente duras a muito duras. O *Quadro 5.4* apresenta um resumo estatístico dos parâmetros químicos da água desse aquífero.

Quadro 5.4. Resumo Estatístico dos Parâmetros Químicos da Água da Unidade Aquífera Karst.

Parâmetro	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	VMP
Alcalinidade total	384,12	6,00	169,13	163,43	*
Bicarbonato	468,63	7,32	204,74	196,60	*
Cálcio	91,53	0,17	36,56	32,53	*
Carbonato	7,68	0,00	0,35	0,00	*
Cloreto	26,78	0,04	2,43	1,73	250
Dureza total	391,64	0,00	166,71	161,63	500
Ferro	2,38	0,01	0,18	0,04	0,3
Fluoreto	1,60	0,01	0,11	0,04	1,5
Fosfato	20,03	0,01	0,40	0,05	*
Magnésio	40,84	0,46	18,75	18,84	*
Nitrato	9,55	0,02	3,40	3,00	45
Nitrito	0,10	0,00	0,01	0,01	3
Potássio	30,00	0,09	1,52	0,80	*
Sílica dissolvida	62,60	0,86	12,97	9,60	*
Sódio	29,20	0,20	3,27	1,60	200
Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	384,00	14,00	195,69	195,00	1000
Sulfato	20,85	0,50	1,17	0,50	250

OBSERVAÇÃO: * VMP (valor máximo permitido) não especificado.

5.2.3. Unidade Aquífera Paleozóica Inferior

Da mesma forma que na Unidade Aquífera Paleozóica Média-Superior, aparecem alguns valores anômalos para dureza total, TDS, sulfato, cálcio e sódio que fogem totalmente do padrão geral do aquífero.

Os parâmetros críticos para a qualidade dessas águas para abastecimento humano são o íon fluoreto e o ferro total. O *Quadro 5.5* apresenta um resumo estatístico dos parâmetros químicos da água desse aquífero.

Quadro 5.5. Resumo Estatístico dos Parâmetros Químicos da Água da Unidade Aquífera Paleozóica Inferior.

Parâmetro	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	VMP
Alcalinidade total	196,72	1,87	57,57	63,12	*
Bicarbonato	240,00	2,28	67,80	72,46	*
Cálcio	465,75	0,70	26,94	10,42	*
Carbonato	23,35	0,00	1,21	0,00	*
Cloreto	49,99	0,00	2,44	0,61	250
Dureza total	1246,25	2,63	84,25	41,69	500
Ferro	4,08	0,01	0,33	0,07	0,3
Fluoreto	1,45	0,01	0,19	0,08	1,5
Fosfato	6,98	0,01	0,22	0,05	*
Magnésio	30,53	0,04	4,13	2,83	*
Nitrato	35,34	0,00	1,38	0,04	45
Nitrito	0,54	0,00	0,02	0,01	3
Potássio	9,80	0,01	1,75	1,50	*
Sílica dissolvida	53,20	4,10	21,58	18,10	*
Sódio	680,00	0,20	23,75	8,30	200
Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	3166,00	12,00	169,00	102,00	1000
Sulfato	2200,50	0,01	70,51	0,50	250

OBSERVAÇÃO: * VMP (valor máximo permitido) não especificado.

5.2.4. Unidade Aquífera Paleozóica Média-Superior

Dentre as unidade paleozóicas, a Média-Superior é a que apresenta maior número de parâmetros com teores acima do padrão de potabilidade. Os parâmetros que podem comprometer o uso dessas águas para abastecimento público são fluoreto e ferro total. Valores extremamente elevados de TDS, sulfato e sódio são considerados anômalos e correspondem a uma única amostra. O *Quadro 5.6* apresenta um resumo estatístico dos parâmetros químicos da água desse aquífero.

Quadro 5.6. Resumo Estatístico dos Parâmetros Químicos da Água da Unidade Aquífera Paleozóica Média-Superior.

Parâmetro	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	VMP
Alcalinidade total	336,37	3,44	81,30	84,15	*
Bicarbonato	277,71	4,20	95,86	102,36	*
Cálcio	283,56	0,63	15,66	11,66	*
Carbonato	65,24	0,00	1,83	0,00	*
Cloreto	50,00	0,00	1,92	0,65	250
Dureza total	729,14	0,00	54,59	41,00	500
Ferro	3,92	0,01	0,43	0,13	0,3
Fluoreto	6,20	0,01	0,22	0,06	1,5
Fosfato	4,50	0,01	0,26	0,10	*
Magnésio	26,10	0,02	3,87	2,67	*
Nitrato	6,54	0,01	0,71	0,06	45
Nitrito	0,13	0,00	0,01	0,01	3
Potássio	7,68	0,01	1,41	1,20	*
Sílica dissolvida	52,18	4,40	24,06	22,89	*
Sódio	346,00	0,30	23,31	13,20	200
Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	2123,00	9,00	137,80	115,00	1000
Sulfato	1415,00	0,01	22,26	0,50	250

OBSERVAÇÃO: * VMP (valor máximo permitido) não especificado.

5.2.5. Unidade Aquífera Paleozóica Superior

Algumas amostras apresentaram valores altos para os parâmetros alcalinidade total, dureza total, bicarbonatos e carbonatos. Esses parâmetros embora não sejam prejudiciais à saúde, interferem na utilização dessas águas para outros fins.

Os parâmetros que afetam negativamente a qualidade da água nesta unidade aquífera foram: o íon fluoreto (sete amostras); sódio (cinco amostras) e ferro total (13 amostras).

O Quadro 5.7 apresenta um resumo estatístico dos parâmetros químicos da água dessa unidade aquífera.

Quadro 5.7. Resumo Estatístico dos Parâmetros Químicos da Água da Unidade Aquífera Paleozóica Superior.

Parâmetro	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	VMP
Alcalinidade total	623,70	2,15	169,79	132,31	*
Bicarbonato	647,38	2,62	179,76	149,69	*
Cálcio	57,51	0,53	13,79	8,43	*
Carbonato	117,61	0,00	11,61	0,00	*
Cloreto	82,59	0,04	2,96	1,02	250
Dureza total	252,80	1,62	50,94	27,81	500
Ferro	3,72	0,01	0,30	0,12	0,3
Fluoreto	6,20	0,01	0,72	0,23	1,5
Fosfato	6,55	0,01	0,41	0,19	*
Magnésio	28,69	0,07	4,07	1,37	*
Nitrato	32,46	0,02	2,36	0,09	45
Nitrito	0,90	0,00	0,03	0,01	3
Potássio	15,87	0,01	4,07	1,20	*
Sílica dissolvida	96,50	1,53	28,41	24,00	*
Sódio	275,00	0,70	61,94	36,05	200
Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	712,00	32,00	233,38	198,00	1000
Sulfato	51,52	0,50	8,62	0,50	250

OBSERVAÇÃO: * VMP (valor máximo permitido) não especificado.

5.2.6. Unidade Aquífera Guarani

Os resultados analíticos estão apresentados de forma distinta em relação aos demais aquíferos, em função da importância que tem esse reservatório subterrâneo e, principalmente, pela imagem divulgada em todos os meios de comunicação. Essa imagem não condiz com a situação real da qualidade da água armazenada no Guarani, como se mostra, pelos mapas de isovalores de Temperatura, Sólidos Dissolvidos Totais, Cl^- , SO_4^{2-} , F^- , e Na^+ .

A tipologia das águas está determinada pela predominância de cátions e ânions principais, utilizando-se o diagrama de Piper, para plotar os dados analíticos das amostras de água, separadas em função do grau de confinamento do aquífero.

O grau de confinamento foi definido em função da distância da zona aflorante e, também, da profundidade do topo do SAG, subjacente às rochas da Fm Serra Geral, considerando-se, baixo confinamento, desde a zona aflorante até 300 m; médio confinamento, de 300 a 600 m; e, alto confinamento, acima de 600 m de profundidade.

As formações Pirambóia e Botucatu (unidades geológicas que constituem o aquífero Guarani) apresentam composição mineralógica relativamente uniforme, considerando a escala regional, de modo que as variações de composição química das águas do SAG, relacionam-se, provavelmente, ao tempo de residência da água no aquífero que, por sua vez, pode ser equivalente ao grau de confinamento do aquífero.

5.2.6.1. Considerações Especiais Sobre a Hidroquímica da Unidade Aquífera Guarani

Para a caracterização da hidroquímica regional do SAG, no âmbito do Estado do Paraná, foram coletadas 110 amostras de água de poços situados em áreas de baixo, médio e alto confinamento e de oito surgências naturais de origem atribuída ao SAG que sofrem, provavelmente, influências de misturas com águas do aquífero Serra Geral.

As faixas de variação de valores determinados para os parâmetros físico-químicos encontram-se sumarizadas no quadro apresentado na seqüência.

A figura “*Comparação entre os Valores das Medianas de Parâmetros Físico-Químicos de Amostras de Água do SAG, das Zonas de Baixo (BC), Médio (MC), Alto (AC) Confinamento e de Surgências Naturais (FT)*” com os histogramas, permite uma comparação entre as zonas de baixo, médio e alto confinamento, utilizando-se as medianas dos seguintes parâmetros físico-químicos: temperatura, pH, sólidos dissolvidos totais, bicarbonato, cloreto, sulfato, fluoreto, cálcio, magnésio e sódio. A preferência pela mediana nesta comparação se deve ao fato de que essa medida de tendência central é mais robusta do que a média, por ser menos sensível aos dados, principalmente aos valores extremos verificados nas seqüências analisadas.

De modo geral, verifica-se um aumento, no sentido de baixo para alto confinamento, dos teores de sólidos dissolvidos totais, cloreto, sulfato, fluoreto e sódio e, também, na temperatura da água e no pH, sendo que neste último, a variação da zona de médio para alto confinamento é de apenas 0,2 unidades de pH, tanto para a mediana quanto para o valor máximo e de 0,5 para o valor mínimo. O incremento de temperatura é consequência do gradiente geotérmico que, na área de abrangência deste estudo, é da ordem de 35 16 °C/km.

Em contrapartida, os teores dos íons de cálcio e magnésio diminuem à medida que se passa das zonas de baixo para alto confinamento e de bicarbonato, de médio para alto confinamento. As diminuições as concentrações dos referidos cátions são acompanhadas pelo aumento das concentrações de sódio, impostas pela evolução natural da composição química das águas do SAG, através dos processos de substituição dos íons de cálcio e magnésio pelos íons de sódio. Observa-se, também, o aumento das concentrações de sulfato e cloreto, em oposição ao decréscimo da concentração de bicarbonato.

Os teores de sódio nas zonas de confinamento são controlados pelas reações de dissolução da albita e que as concentrações de íon sulfato estariam relacionadas à oxidação de sulfetos. Outra hipótese relaciona o processo de troca catiônica à dissolução de albita na zona de recarga ou à introdução de Na^+ , por difusão, a partir de evaporitos contendo halita ou mirabilita e o aumento de sulfato e cloreto pode estar relacionado a depósitos em ambientes restritos, na formação Pirambóia, de minerais contendo esses ânions. Associa-se, também, o aumento de sódio, sulfato e cloreto nas regiões mais profundas do SAG a contribuições das formações subjacentes.

Ressalta-se que, devido à relativa uniformidade mineralógica do SAG, as variações na composição das substâncias dissolvidas devem, principalmente, ao tempo de residência da água no aquífero, podendo em certos casos, a exemplo do poço de Jardim Alegre, águas armazenadas em zonas de confinamento médio terem características químicas semelhantes às de zonas de alto confinamento.

Os teores acima de 250 mg/L dos íons de sódio e sulfato; acima de 1,5 mg/L de fluoreto em amostras coletadas em poços na zona de médio e alto confinamento de águas; e, acima de 1000 mg/L de sólidos dissolvidos totais na zona de alto confinamento constituem as principais restrições ao uso do SAG para fins de abastecimento público. Apesar disso, a temperatura da água nas zonas de alto confinamento é um fator de desenvolvimento econômico, onde a água pode ser usada para fins recreacionais, em hotéis e balneários. O uso industrial dessas águas termais pode representar uma economia significativa de energia, caso o uso de água quente seja parte do processo industrial.

A classificação dos tipos das águas coletadas foi feita utilizando-se o Diagrama de Piper, que leva em conta o conteúdo relativo dos íons principais dissolvidos. As figuras “Diagrama de Piper das Amostras de Água do SAG Coletadas na Zona de Baixo, Médio e Alto Confinamento” apresentam, respectivamente, os diagramas de Piper das amostras de águas coletadas em zonas de baixo, médio e alto confinamento e a figura “Diagrama de Piper das Amostras de Água do SAG Coletadas em Surgências Naturais” refere-se ao diagrama das amostras coletadas nas surgências naturais.

As águas coletadas em poços da zona de baixo confinamento, conforme mostra o diagrama de Piper, são do tipo bicarbonatada cálcica, bicarbonatada cálcica-magnésiana e bicarbonatada sódica. Essa classificação é muito similar às das águas do aquífero Serra Geral na bacia do rio Piquiri. Observando os perfis construtivos dos poços amostrados, cuja porção penetrante nos basaltos não é isolada, pode-se supor que ocorra uma mistura de águas do SAG com águas do Serra Geral, que, de acordo com as proporções dessa mistura, justificaria tal semelhança.

Passando-se à zona de médio confinamento, segundo o diagrama de Piper, as amostras de água se enquadram nas classes, bicarbonatada cálcica, bicarbonatada sódica, bicarbonatada-sulfatada sódica e sulfatada sódica.

O tipo de água sulfatada sódica corresponde a águas com maior tempo de residência no aquífero e foi coletada no poço de Jardim Alegre que tem um histórico muito peculiar. Esse poço secou dois dias após o início do teste de bombeamento. Levantamento geofísico posterior indicou a presença de estruturas magnéticas de direção NW (diques de diabásio), cruzando com estruturas de direção NE, que estariam funcionando como barreiras ao fluxo subterrâneo e, conseqüentemente, dificultando a recarga e renovação da água armazenada nesse local.

A água de caráter misto, isto é, bicarbonatada-sulfatada sódica, coletada em um poço surgente, do qual não se tem qualquer tipo de dado (litológico, construtivo, hidráulico). A inclusão desse ponto entre aqueles de médio confinamento se deve a uma inferência, considerando a temperatura da água na surgência que é de 32 °C.

As amostras coletadas na porção sudoeste do estado, considerada neste estudo como a zona de maior confinamento do aquífero por estar próxima ao eixo da bacia, são do tipo sulfatada sódica ou cloretada-sulfatada sódica. As demais amostras são do tipo bicarbonatada sódica e bicarbonatada-sulfatada sódica. As amostras do tipo bicarbonatada, embora obtidas de poços onde o topo do SAG ocorre a profundidades da ordem de 800 m, estão restritas a uma distância inferior a 150 km da escarpa onde afloram os arenitos das formações Pirambóia e Botucatu.

Pelo aqui exposto, pode-se inferir um modelo geral de evolução química das águas do SAG, onde estas passariam de bicarbonatadas cálcicas a bicarbonatadas sódicas e, finalmente, sulfatadas sódicas, à medida que migram das zonas de baixo até alto confinamento. Tipos mistos de água, tais como, bicarbonatada cálcica-sódica, bicarbonatada-sulfatada sódica ou sulfatada-cloretada sódica entre outros, podem ocorrer, independente do grau de confinamento do aquífero, condicionados a fatores lito-estruturais locais.

As amostras de águas coletadas em surgências naturais atribuídas ao SAG estão representadas na figura “*Diagrama de Piper das Amostras de Água do SAG Coletadas em Surgências Naturais*”. Com relação aos cátions elas são do tipo sódicas e quanto aos ânions, há uma evolução clara desde o campo do bicarbonato para o do cloreto, contrariando o modelo proposto.

Com exceção da fonte das Termas de Jurema (bicarbonatada sódica), cujas águas apresentam características físico-químicas semelhantes às das águas de um poço com 950 m perfurado a uma distância inferior a 500 m, não se pode afirmar com segurança, que essas águas se originem exclusivamente do SAG. Dessa maneira, embora situadas em regiões afastadas das áreas de afloramento do aquífero, essa discrepância em relação ao modelo proposto se deve, provavelmente, à misturas com águas do aquífero Serra Geral. As temperaturas de surgência das fontes Verê-Hotel e Verê-Fazenda, respectivamente, 37 °C e 32 °C, bem como suas composições, sendo bicarbonatada sódica a primeira, e cloretada-sódica a segunda, são indicativos de proveniência de locais em subsuperfície distintos ou, no caso da fonte Verê-Fazenda, de mistura com águas de aquíferos sobrejacentes ao Guarani.

Quadro 5.8. Sumário Estatístico dos Principais Parâmetros Físico-Químicos das Amostras de Água do SAG Coletadas em Condições de Baixo, Médio e Alto Confinamento e em Surgências Naturais.

	Cond. (µS/cm)	pH	SDT	SiO ₂	HCO ₃ ⁻²	CO ₃ ⁻²	Cl ⁻	F ⁻	SO ₄ ⁻²	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Temp. (°C)
(mg/L)														
SAG - Baixo Confinamento														
Média	161,4	7,1	113,1	48,5	81,0	4,7	1,5	0,2	1,0	15,1	3,0	14,8	1,6	23,0
Mínimo	19,3	5,5	25,0	10,8	6,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,2	0,7	0,1	19,0
Máximo	363,0	9,7	293,0	74,9	223,5	53,6	4,0	1,1	7,3	48,0	10,8	75,8	3,2	27,2
Mediana	166,0	6,9	73,5	42,1	64,1	0,0	1,1	0,2	0,5	8,0	2,2	6,6	1,5	23,2
SAG - Médio Confinamento														
Média	472,7	8,9	299,8	31,1	104,3	23,7	30,0	1,3	75,4	19,7	0,9	98,8	0,9	34,5
Mínimo	186,7	7,8	112,0	17,0	12,0	0,0	0,3	0,2	0,5	1,0	0,0	20,1	0,1	30,8
Máximo	1544,0	9,7	942,0	70,9	175,1	57,0	187,0	6,1	442,4	113,0	4,2	305,0	1,9	37,0
Mediana	274,0	9,1	193,0	27,5	106,3	28,5	5,1	0,4	26,9	3,2	0,5	60,4	0,8	35,4
SAG - Alto Confinamento														
Média	1814,7	9,1	889,8	32,5	137,1	30,3	173,1	3,5	476,8	14,9	2,4	372,8	2,9	44,6
Mínimo	346,0	8,3	242,0	5,5	26,8	6,0	5,0	0,1	21,5	0,6	0,1	63,0	0,1	32,0
Máximo	5100,0	9,9	2250,0	52,7	302,9	80,8	612,1	12,8	2225,0	112,6	12,6	1347,0	9,1	65,0
Mediana	875,5	9,3	504,5	33,5	100,8	19,4	48,1	1,5	119,8	2,9	0,6	177,3	1,9	44,4
SAG - Fontes														
Média	449,8	9,2	269,0	21,2	170,0	30,3	40,1	0,7	29,1	2,0	0,2	99,7	0,8	33,1
Mínimo	185,9	8,8	105,0	13,4	70,9	2,8	1,6	0,2	0,5	1,0	0,1	46,8	0,4	28,3
Máximo	802,0	9,6	481,0	36,3	361,7	46,6	141,0	1,5	58,9	3,5	0,4	158,0	1,3	40,5
Mediana	427,0	9,2	229,5	20,8	114,7	37,7	24,1	0,5	28,6	1,7	0,3	92,1	0,8	32,5

Comparação Entre os Valores das Medianas de Parâmetros Físico-Químicos de Amostras de Água do SAG, das Zonas de Baixo (BC), Médio (MC), Alto (AC) Confinamento e de Surgências Naturais (FT).

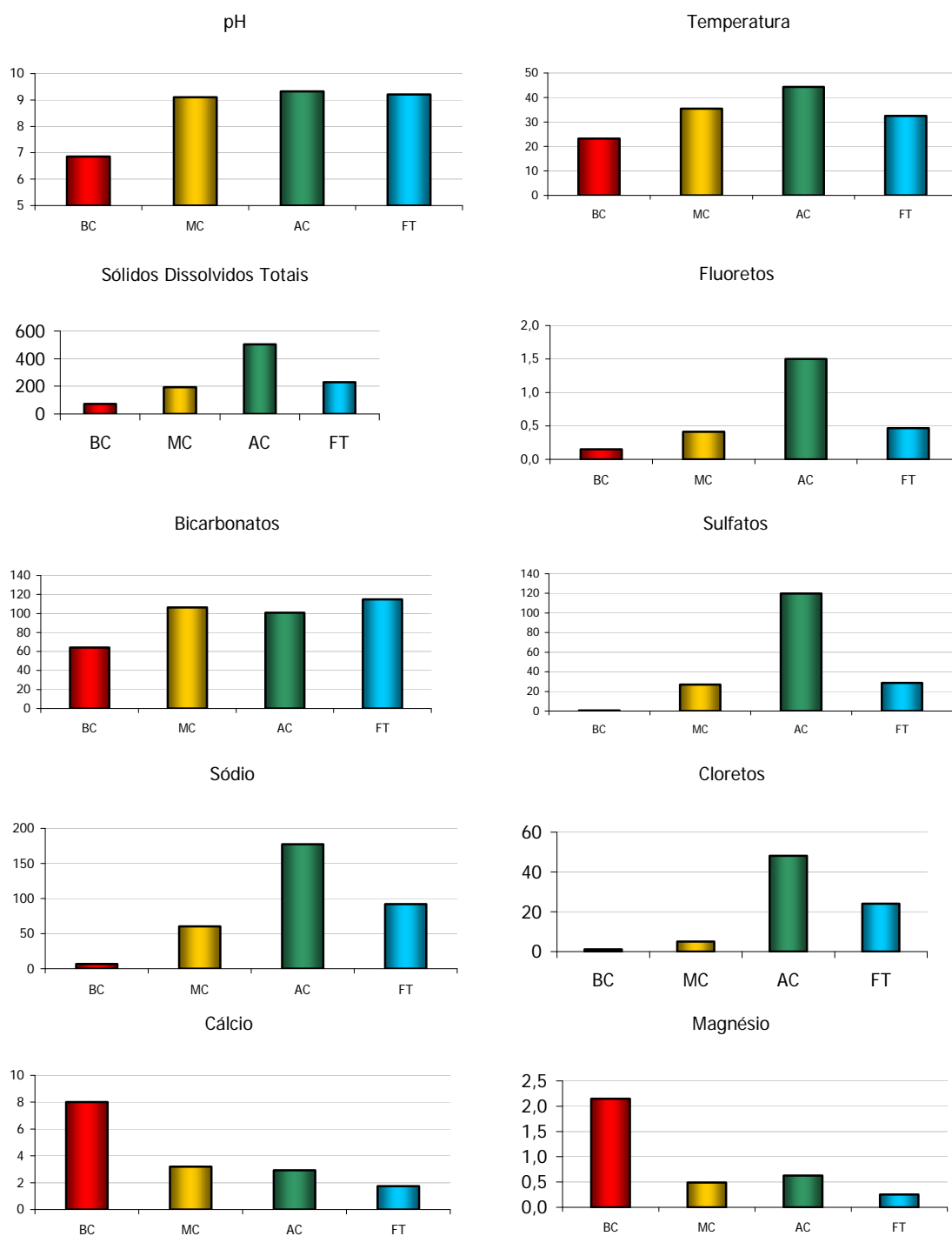


Figura 5.10. Diagrama de Piper das Amostras de Água do SAG Coletadas na Zona de Baixo Confinamento.

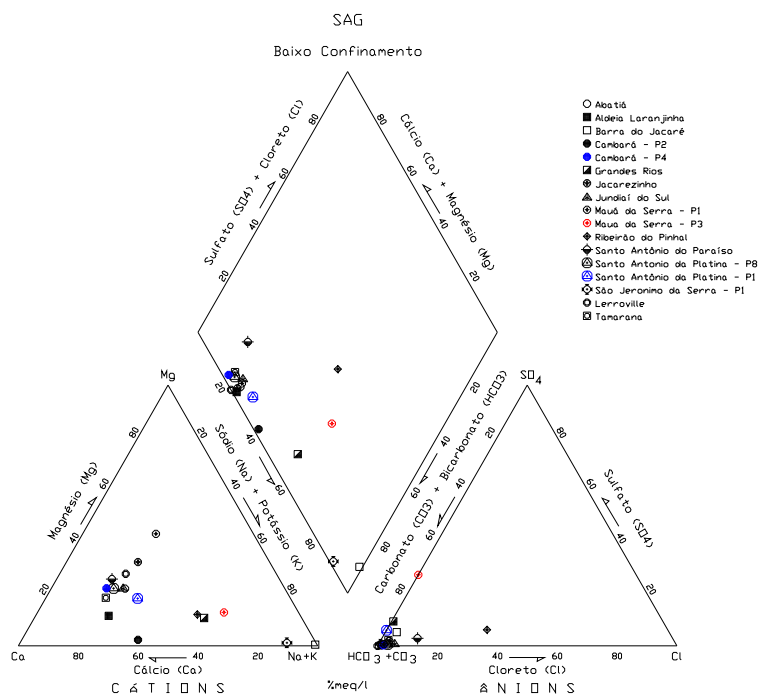


Figura 5.11. Diagrama de Piper das Amostras de Água do SAG Coletadas na Zona de Médio Confinamento.

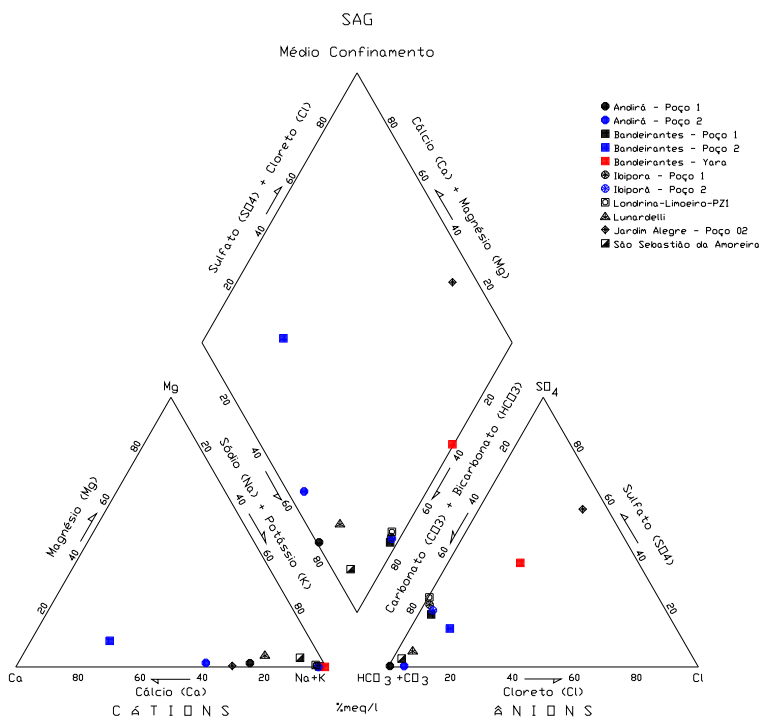


Figura 5.12. Diagrama de Piper das Amostras de Água do SAG Coletadas na Zona de Alto Confinamento.

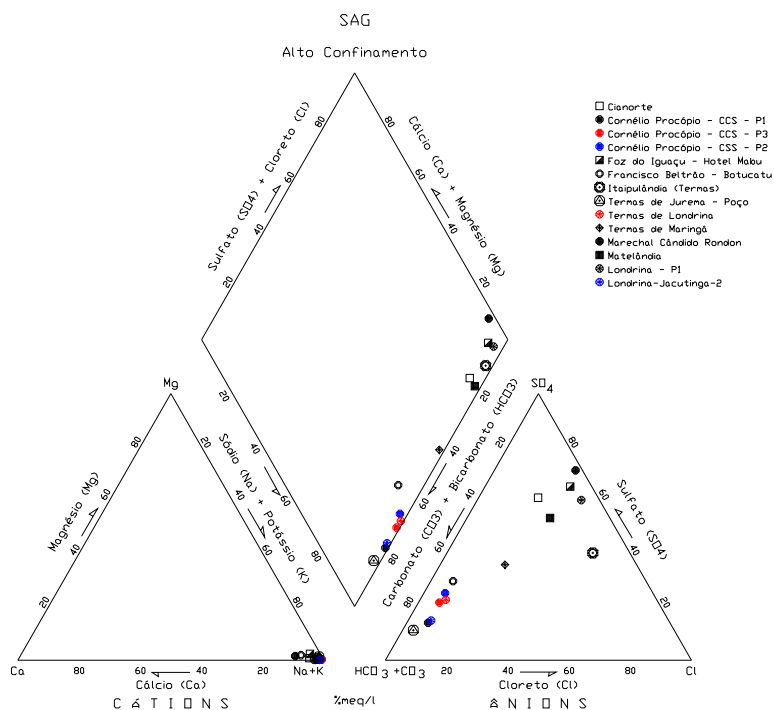
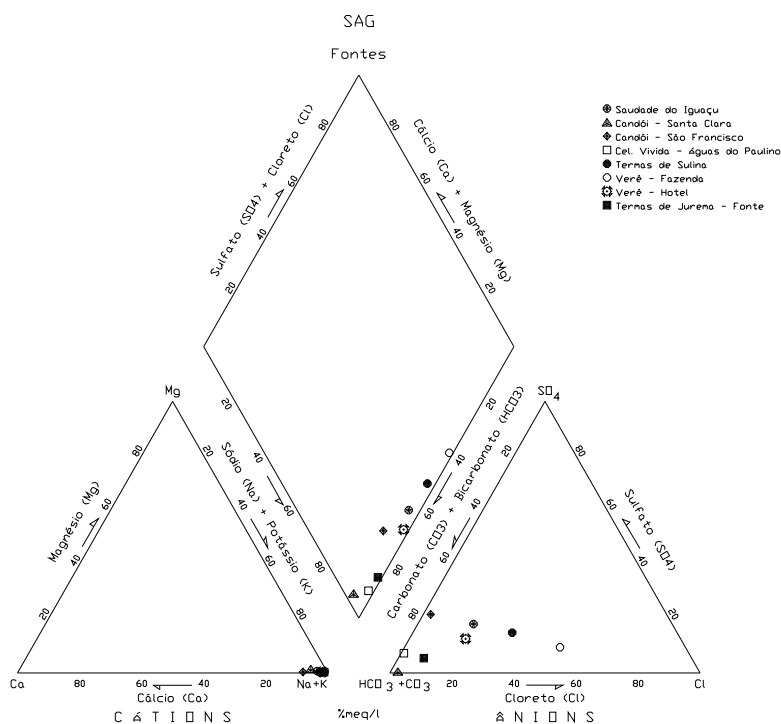


Figura 5.13. Diagrama de Piper das Amostras de Água do SAG Coletadas em Surgências Naturais.



5.2.6.2. Zoneamento Hidroquímico da Unidade Aqüífera Guarani

São apresentados nas figuras a seguir, os mapas de isovalores de Temperatura, Sólidos Dissolvidos Totais, Cl^- , SO_4^{2-} , F^- e Na^+ , gerados por krigagem dos dados analíticos. Após o traçado das isolinhas, fez-se a sobreposição dos principais alinhamentos estruturais presentes no Estado do Paraná.

Pela evolução das linhas de isovalores, pode-se deduzir que o fluxo subterrâneo regional ocorre de SE para NW. Porém, não se pode desconsiderar a existência de zonas de descarga local, condicionadas por falhas ou barreiras geológicas, que modificam as linhas de fluxo.

Esses mapas mostram a distribuição espacial dos teores dos referidos parâmetros e foram confeccionados utilizando-se os dados analíticos das amostras coletadas em cada ponto. Apesar das limitações decorrentes da distribuição heterogênea desses pontos, que se encontram concentrados no nordeste, rarefeitos no centro e sudoeste e ausentes no nordeste do estado, sua principal utilidade está na indicação de áreas de risco elevado para a captação de água para abastecimento público, devido à presença de sólidos dissolvidos totais, sulfato, cloreto, sódio e fluoreto em concentrações acima dos valores máximos permitidos estabelecidos na Portaria-MS nº 518 / 2004.

Nas áreas de risco potencial, as águas do SAG são adequadas, pelas propriedades termiais, à recreação em hotéis e balneários e ao uso industrial e agrícola, desde que os teores das substâncias indicadas sejam adequados ao processo industrial ou atividade agrícola abastecidos.

Com exceção dos mapas de temperatura, os demais mostram inflexões nas isolinhas, a partir das quais pode-se inferir uma compartimentação do SAG controlada, aparentemente, pela falha do rio Tibagi e pelos alinhamentos estruturais São Jerônimo-Curiúva, rio Alonzo, rio Piquiri e rio Iguaçu. Essa estruturação implica que esses compartimentos estejam sujeitos a controles diferenciados do quimismo das águas, e dos processos de recarga, fluxo e descarga da água subterrânea.

O complexo arcabouço tectônico da Bacia Sedimentar do Paraná, na área de abrangência da Unidade Aqüífera Guarani projeto, apresenta o registro de várias fases deformacionais superpostas e recorrentes que afetaram as seqüências sedimentares nela depositadas. Entretanto, os aspectos geoestruturais são, normalmente negligenciados nos estudos de locação de poços, sendo a prospecção do SAG, em território paranaense, pautada, principalmente, pela estimativa de duas variáveis: profundidade do topo do aqüífero e altura potenciométrica. Espera-se que os resultados deste estudo provoquem uma mudança nessa prática.

O zoneamento hidroquímico e o modelo conceitual do aqüífero apresentado tornam os resultados das perfurações mais previsíveis, de modo que as empresas de

abastecimento público ou empresas privadas interessadas na prospecção do SAG, possam investir com mais segurança em áreas potencialmente favoráveis para captação direta do SAG.

Os custos de projetos exploratórios poderão ser otimizados se fundamentados em um modelo hidrodinâmico mais coerente, que considere os condicionantes geoestruturais locais, resultando em menor erro quanto à previsão de parâmetros tais como, temperatura e qualidade da água. A exploração do Guarani a custos mais baixos implicará em impactos sócio-econômicos e desenvolvimento sustentado em regiões específicas do estado com potencialidades para aproveitamento do aquífero para fins de turismo, indústria e abastecimento público.

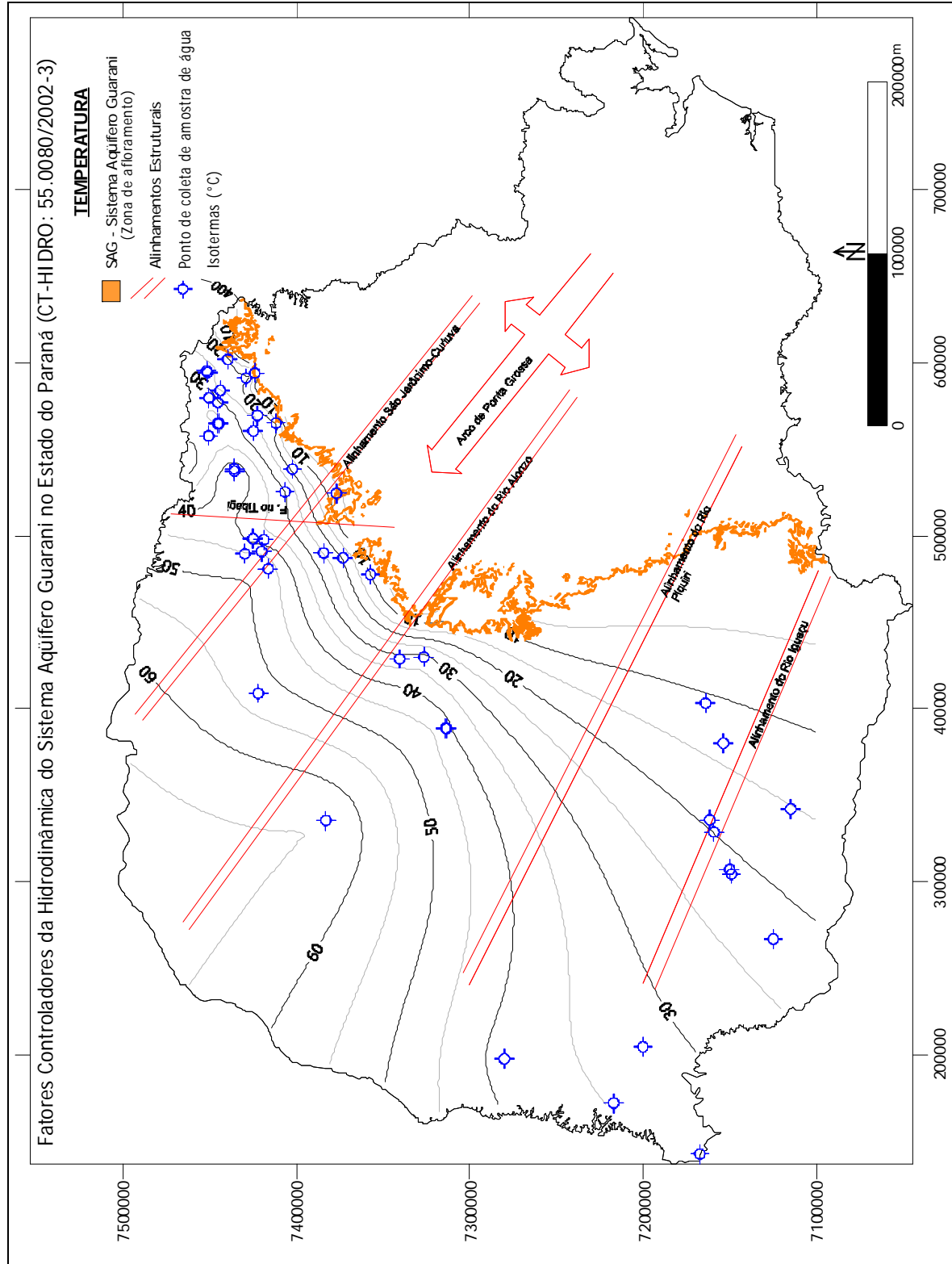


Figura 5.14. Curvas de Isovalores de Temperatura (°C)

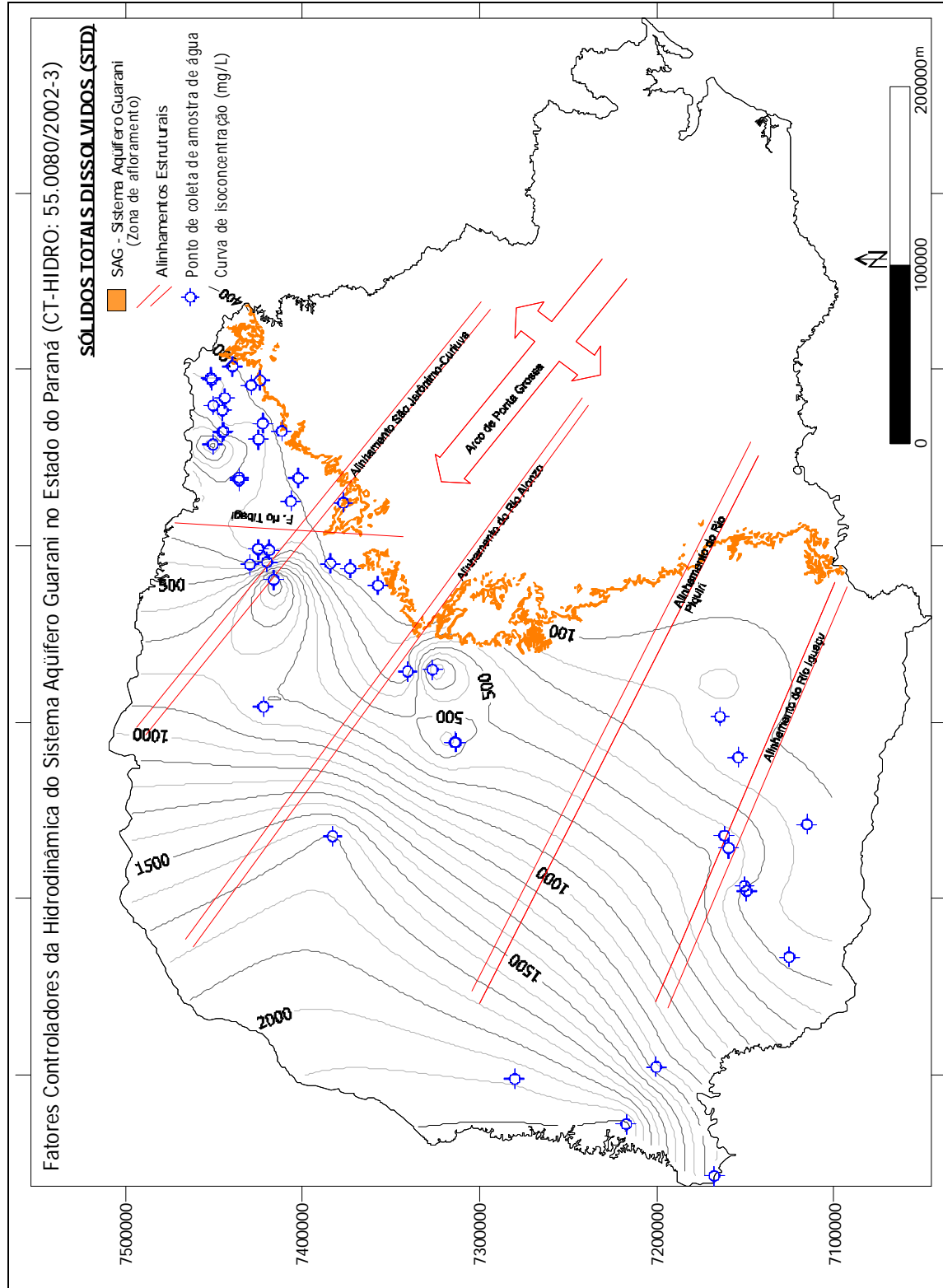


Figura 5.15. Curvas de Isoconcentrações de Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)

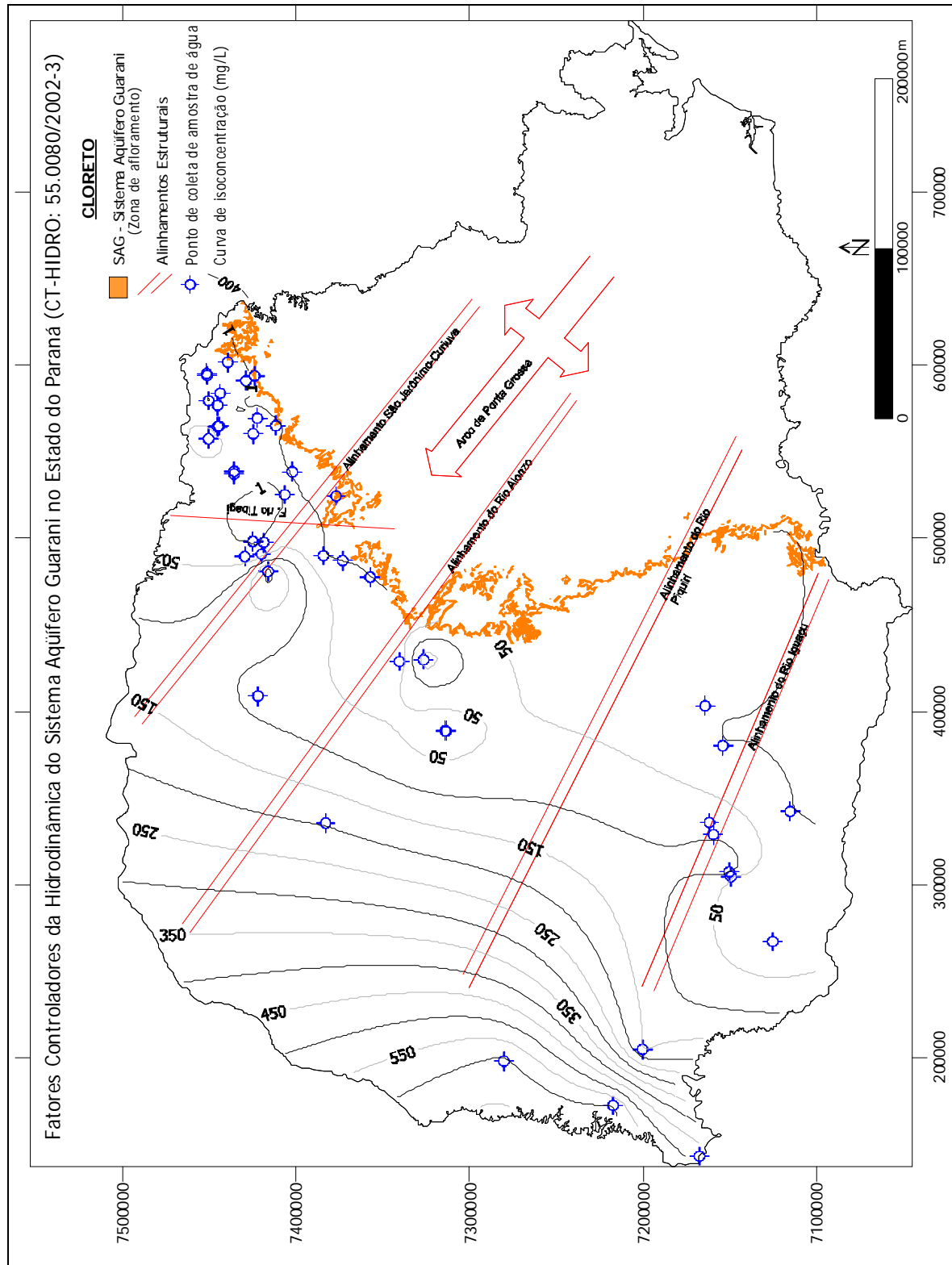


Figura 5.16. Curvas de Isoconcentrações de Cloreto (mg/L)

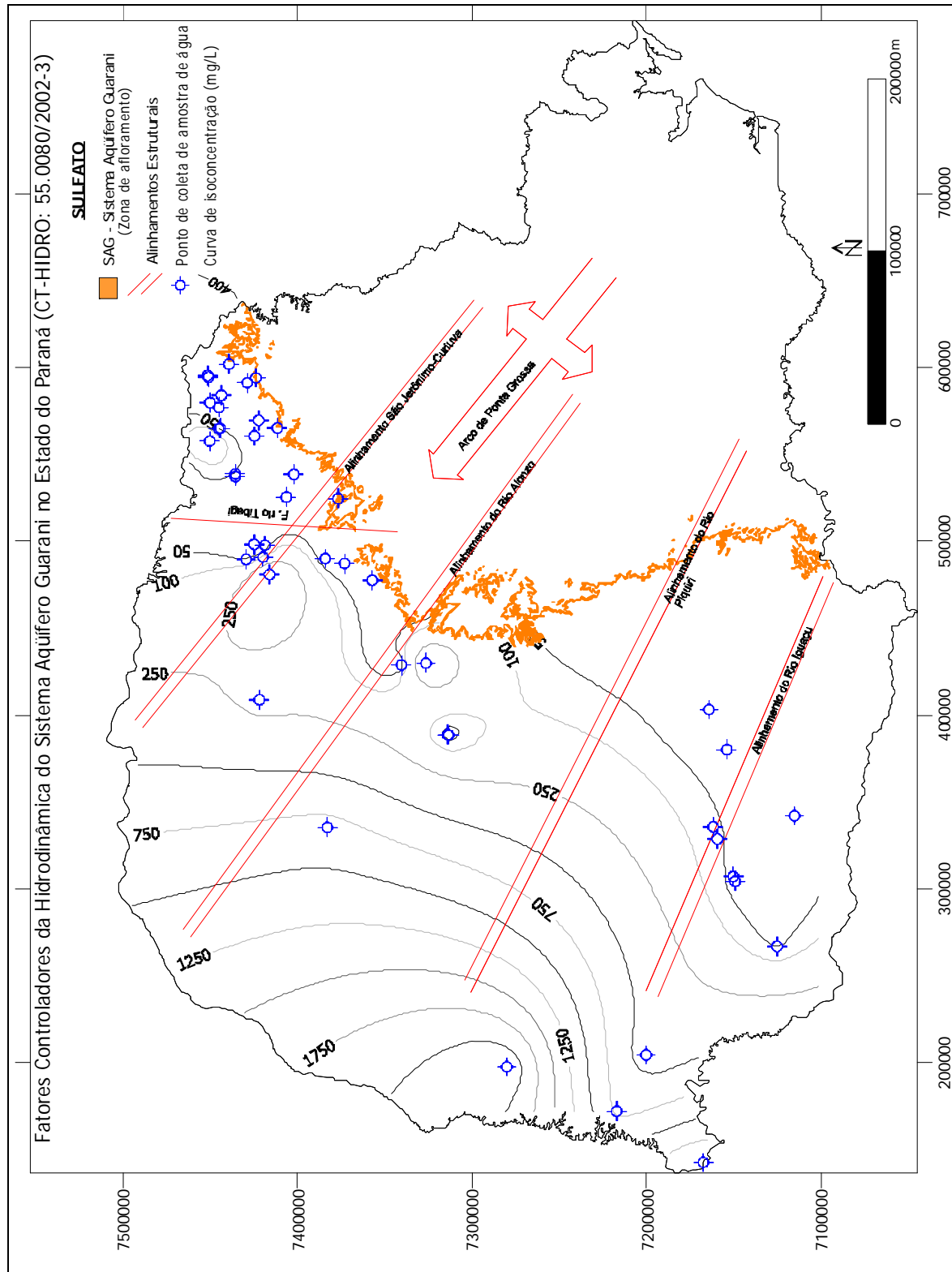


Figura 5.17. Curvas de Isoconcentrações de Sulfato (mg/L)

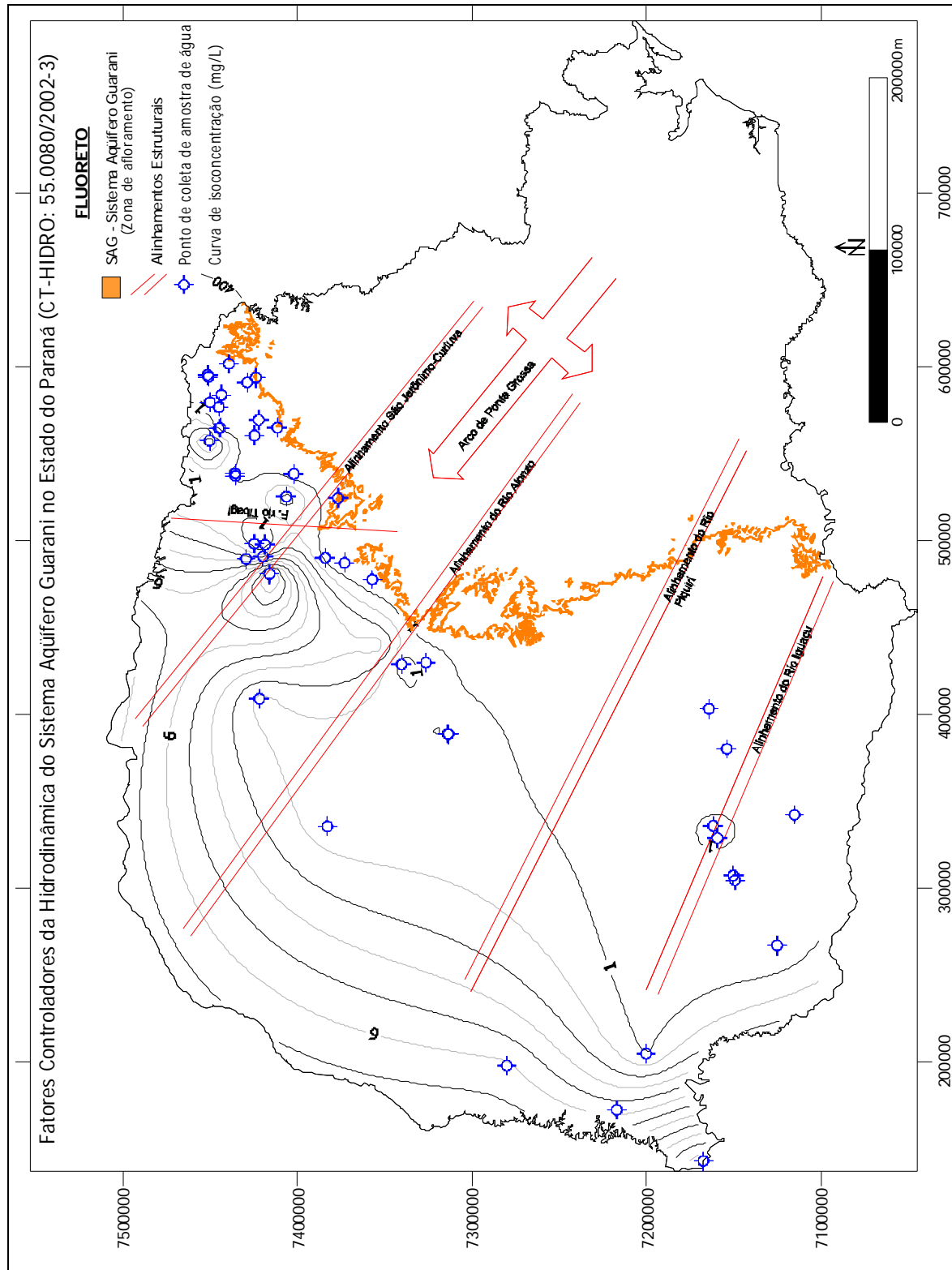


Figura 5.18. Curvas de Isoconcentrações de Fluoreto (mg/L)

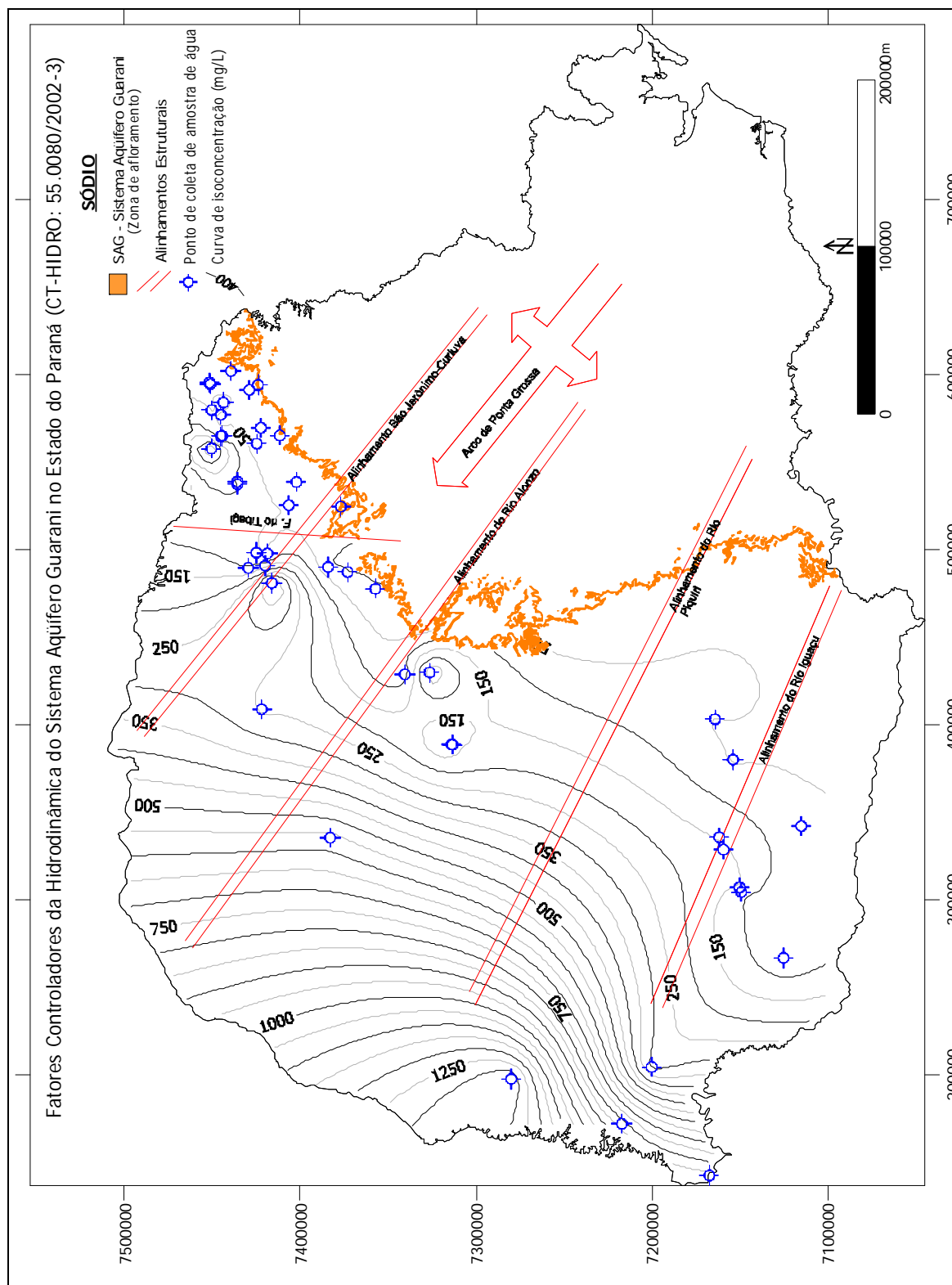


Figura 5.19. Curvas de Isoconcentrações de Sódio (mg/L)

5.2.7. Unidade Aquífera Serra Geral Norte e Sul

Registram-se alguns casos de ocorrência de íon fluoreto em concentrações anômalas, a exemplo de Itambaracá, no norte do estado, que impedem o aproveitamento do aquífero para abastecimento público. Concentrações de ferro total acima do VMP são freqüentes. Uma das amostras apresentou valor anômalo de nitratos, podendo ser resultado de contaminação por efluentes sendo considerado um caso acidental e isolado. No *Quadro 5.9* é apresentado um resumo estatístico dos parâmetros químicos da água desse aquífero.

Quadro 5.9. Resumo Estatístico dos Parâmetros Químicos da Água da Unidade Aquífera Serra Geral Norte e Sul.

Parâmetro	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	VMP
Alcalinidade total	204,52	6,86	78,85	77,45	*
Bicarbonato	213,54	8,40	90,11	90,37	*
Cálcio	34,87	1,52	14,76	12,80	*
Carbonato	56,36	0,00	2,56	0,00	*
Cloreto	26,83	0,00	2,04	0,94	250
Dureza total	155,29	0,00	52,10	44,84	500
Ferro	137,00	0,01	1,62	0,04	0,3
Fluoreto	4,90	0,01	0,18	0,08	1,5
Fosfato	0,53	0,02	0,17	0,13	*
Magnésio	20,56	0,02	3,75	2,88	*
Nitrato	98,26	0,01	4,10	1,90	45
Nitrito	1,59	0,00	0,03	0,01	3
Potássio	2,60	0,01	0,87	0,80	*
Sílica dissolvida	71,80	7,07	39,09	40,54	*
Sódio	90,50	1,30	15,95	10,10	200
Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	284,00	10,00	121,14	112,00	1000
Sulfato	49,17	0,01	1,69	0,50	250

OBSERVAÇÃO: * VMP (valor máximo permitido) não especificado.

5.2.8. Unidade Aquífera Caiuá

Em geral, este aquífero apresenta água adequada ao consumo humano. Os valores extremamente elevados de Sólidos Totais Dissolvidos, Sulfato e Sódio, são anomalias que não podem ser levados em conta no aproveitamento do aquífero. No entanto, o Cloreto, o Ferro e o Fluoreto são substâncias que interferem freqüente e negativamente na qualidade dessas águas. No *Quadro 5.10* é apresentado um resumo estatístico dos parâmetros químicos da água desse aquífero.

Quadro 5.10. Resumo Estatístico dos Parâmetros Químicos da Água da Unidade Aquífera Caiuá.

Parâmetro	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	VMP
Alcalinidade total	279,83	3,27	57,97	36,13	*
Bicarbonato	303,29	3,99	67,51	44,08	*
Cálcio	112,62	0,80	14,14	8,10	*
Carbonato	34,76	0,00	1,68	0,00	*
Cloreto	661,26	0,26	26,90	2,13	250
Dureza total	333,00	4,00	53,75	33,09	500
Ferro	2,39	0,01	0,23	0,04	0,3
Fluoreto	14,25	0,01	2,53	0,06	1,5
Fosfato	1,53	0,01	0,31	0,20	*
Magnésio	37,72	0,12	4,48	2,20	*
Nitrato	38,20	0,00	6,25	2,87	45
Nitrito	768,00	0,00	10,83	0,01	3
Potássio	9,16	0,01	2,50	2,10	*
Sílica dissolvida	112,60	2,86	36,92	32,32	*
Sódio	1347,00	0,55	54,13	4,30	200
Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	3957,60	5,00	195,49	72,00	1000
Sulfato	2250,00	0,02	54,96	0,50	250

OBSERVAÇÃO: * VMP (valor máximo permitido) não especificado.

5.2.9. Unidade Aqüífera Guabirotuba

O aqüífero Guabirotuba, por sua localização, tem sido captado para abastecimento da população de Curitiba e Região Metropolitana. O parâmetro que mais interfere no seu aproveitamento é o ferro total. O íon fluoreto aparece acima do VMP em três amostras. No *Quadro 5.11* é apresentado um resumo estatístico dos parâmetros químicos da água desse aqüífero.

Quadro 5.11. Resumo Estatístico dos Parâmetros Químicos da Água da Unidade Aqüífera Guabirotuba.

Parâmetro	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	VMP
Alcalinidade total	247,50	4,46	101,53	106,49	*
Bicarbonato	301,95	5,43	122,54	124,49	*
Cálcio	81,85	0,65	22,13	21,05	*
Carbonato	8,76	0,00	0,64	0,00	*
Cloreto	41,52	0,04	4,63	1,75	250
Dureza total	286,69	2,94	84,87	81,00	500
Ferro	9,00	0,01	0,70	0,12	0,3
Fluoreto	3,52	0,01	0,35	0,18	1,5
Fosfato	5,36	0,00	0,59	0,15	*
Magnésio	35,47	0,31	7,24	6,10	*
Nitrato	74,00	0,02	3,65	0,13	45
Nitrito	0,59	0,00	0,02	0,01	3
Potássio	5,00	0,01	2,18	2,00	*
Sílica dissolvida	103,50	2,30	38,49	38,02	*
Sódio	50,60	0,80	13,86	10,60	200
Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	419,00	11,00	156,74	152,00	1000
Sulfato	65,21	0,50	4,45	0,50	250

OBSERVAÇÃO: * VMP (valor máximo permitido) não especificado.

5.2.10. Unidade Aquífera Costeira

O aquífero Costeiro é o que apresenta águas de pior qualidade para consumo humano. Isso se deve à influência do ambiente marinho, tanto pela alteração das águas de recarga que se tornam salinizadas em função de aerossóis marinhos, como também pela influência de cunhas salinas. No *Quadro 5.12* é apresentado um resumo estatístico dos parâmetros químicos da água desse aquífero.

Quadro 5.12. Resumo Estatístico dos Parâmetros Químicos da Água da Unidade Aquífera Costeira.

Parâmetro	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	VMP
Alcalinidade total	587,52	0,20	66,67	17,18	*
Bicarbonato	716,77	0,24	80,89	20,22	*
Cálcio	4.005,45	0,26	81,57	11,28	*
Carbonato	11,52	0,00	0,21	0,00	*
Cloreto	18.303,80	0,93	469,56	15,41	250
Dureza total	16.849,90	1,97	349,32	54,44	500
Ferro	37,00	0,01	2,40	0,26	0,3
Fluoreto	5,70	0,01	0,35	0,13	1,5
Fosfato	26,13	0,01	1,07	0,10	*
Magnésio	1.643,37	0,22	34,79	4,96	*
Nitrato	184,80	0,01	14,18	0,62	45
Nitrito	5.182,00	0,00	61,70	0,01	3
Potássio	710,00	0,10	23,04	3,50	*
Sílica dissolvida	68,80	1,50	21,11	14,17	*
Sódio	5.260,00	2,11	159,13	15,05	200
Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	28.885,00	31,00	1010,53	169,00	1000
Sulfato	2000,00	0,16	68,46	2,68	250

OBSERVAÇÃO: * VMP (valor máximo permitido) não especificado.

5.3. Qualidade da Água para Irrigação

O uso da água subterrânea para irrigação é limitado pelos efeitos adversos ao solo e plantas, relacionados à presença de substâncias dissolvidas na água, associados à salinidade total da água e ao conteúdo de sódio em solução.

A água com conteúdo elevado de sólidos totais dissolvidos causam “risco de salinidade” sendo tóxicas para as plantas. Concentrações elevadas de sólidos dissolvidos no solo podem causar uma condição de seca fisiológica, na qual, apesar do solo estar úmido, a planta irá murchar, pois as raízes não conseguirão absorver água. A concentração de sólidos totais dissolvidos, às vezes denominada salinidade total, pode ser medida, indiretamente, pelo valor da condutividade elétrica da água, já que estas duas grandezas são, linearmente, dependentes.

A irrigação com água contendo quantidades significativas de Na^+ causa o “risco de sódio”, devido aos efeitos do sódio no solo. O sódio é adsorvido pelas partículas do solo, que se torna duro e compacto quando seco e impermeável à penetração da água. Os solos de textura fina, com alto conteúdo de argila são os mais susceptíveis aos efeitos do sódio. A presença de cálcio e magnésio em altas concentrações no solo ajudam a controlar os efeitos do sódio e a manter as propriedades texturais e estruturais do solo.

O risco do sódio é expresso em termos de SAR (*sodium adsorption ratio*), que compara as concentrações de Na^+ , Ca^{2+} , e Mg^{2+} na água. O SAR é calculado pela seguinte equação:

$$SAR = \frac{[\text{Na}^+]}{\sqrt{\frac{1}{2}([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}])}}$$

Onde:

$[\text{Na}^+]$, $[\text{Ca}^{2+}]$, e $[\text{Mg}^{2+}]$ são as concentrações desses íons, expressas em mmol/L.

A avaliação da qualidade da água para fins de irrigação é auxiliada pelo Gráfico de Wilcox, que relaciona o risco de sódio com o risco de salinidade. O risco de sódio, indicado no eixo das ordenadas em quatro classes de risco: baixo, médio, forte e muito forte. O risco de salinidade está indicado no eixo das abscissas em seis classes de risco: nulo, baixo, médio, alto, muito alto e excepcionalmente alto. Os campos definidos pela intercessão dessas classes definem se a água é adequada ou não para irrigação.

Os Gráficos de Wilcox, demonstrados nas figuras a seguir, mostram a qualidade da água para os diversos aquíferos paranaenses. Em geral, as águas são adequadas

para irrigação. Exceções ocorrem, principalmente no aquífero costeiro e na zona de alto confinamento do aquífero Guarani e, em menor proporção, nos aquíferos Paleozóico Médio e Paleozóico Superior.

Apresenta-se a seguir, uma síntese, por aquífero, das informações obtidas dos respectivos Gráficos de Wilcox.

5.3.1. Unidades Aquíferas Pré-Cambriana e Karst

As águas desses aquíferos apresentam risco de sódio baixo e de salinidade variando de baixo a médio. Portanto, não há restrições ao seu uso para irrigação.

Figura 5.20. Gráficos de Wilcox Indicando a Qualidade da Água para a Unidade Aquífera Pré-Cambriana.

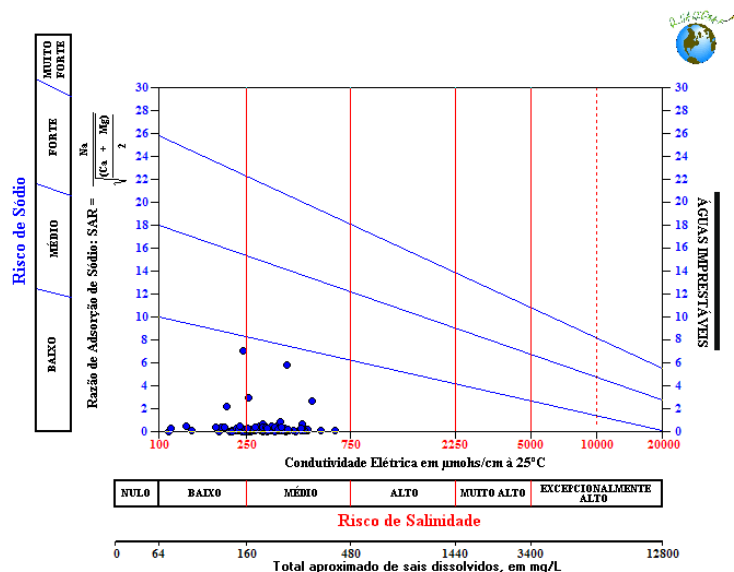
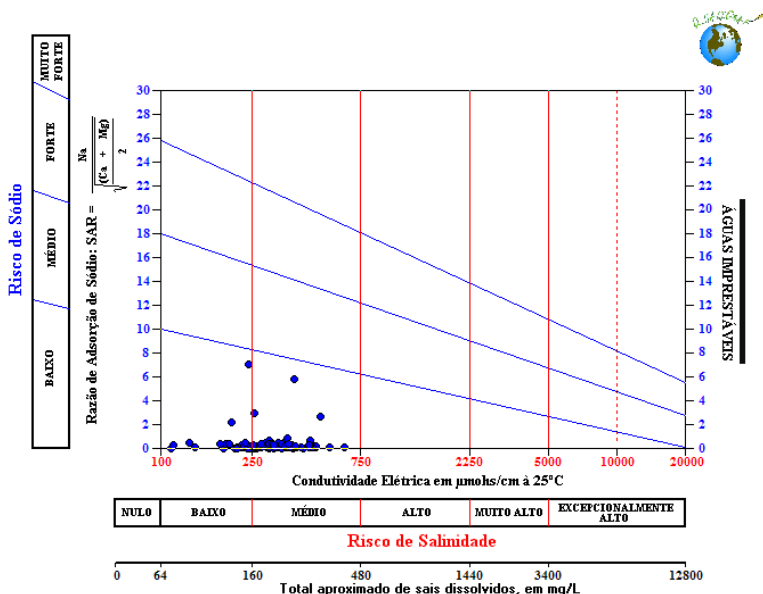


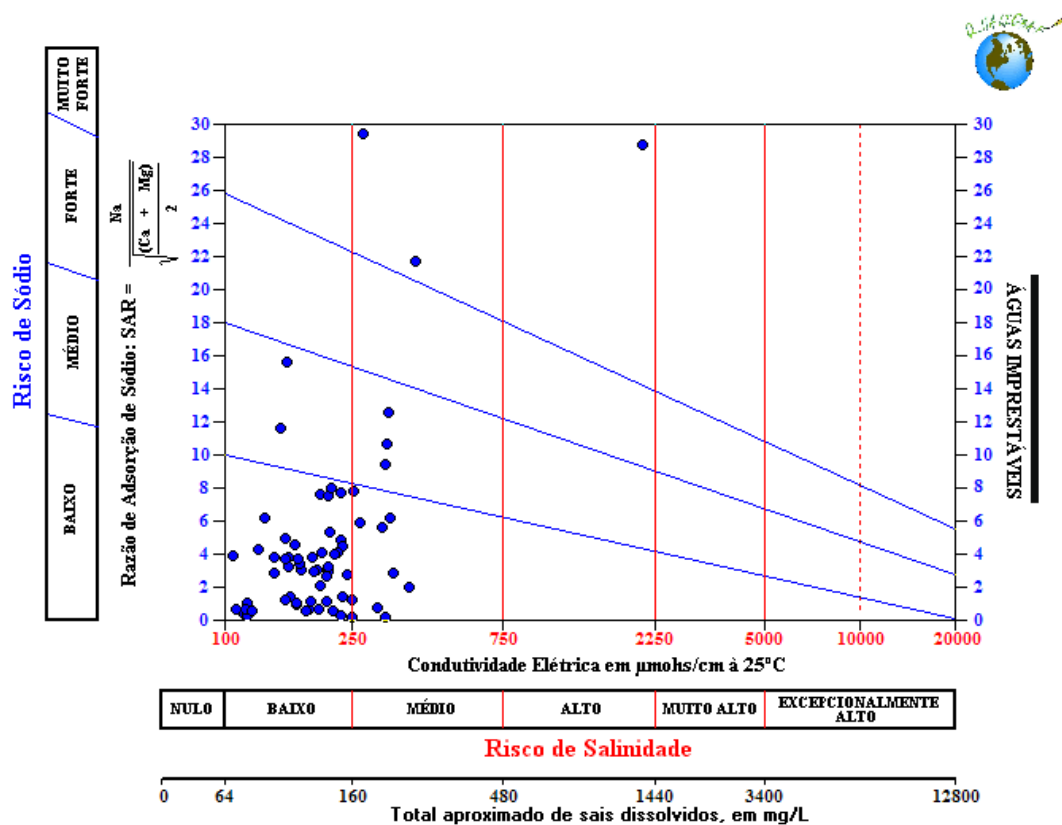
Figura 5.21. Gráficos de Wilcox Indicando a Qualidade da Água para a Unidade Aquífera Karst.



5.3.2. Unidade Aquífera Paleozóica Inferior

Apresentam risco de sódio variando de baixo a médio e de salinidade de baixo a alto. Em geral, mostram-se adequadas para irrigação.

Figura 5.22. Gráficos de Wilcox Indicando a Qualidade da Água para a Unidade Aquífera Paleozóica Inferior.



5.3.3. Unidades Aquíferas Paleozóica Média-Superior e Superior

Apresentam risco de sódio variando de baixo a muito forte e de salinidade variando de baixo a alto. Embora a quase totalidade das amostras indique águas adequadas para irrigação, algumas se mostraram imprestáveis para tal fim.

Figura 5.23. Gráficos de Wilcox Indicando a Qualidade da Água para a Unidade Aquífera Paleozóica Média-Superior.

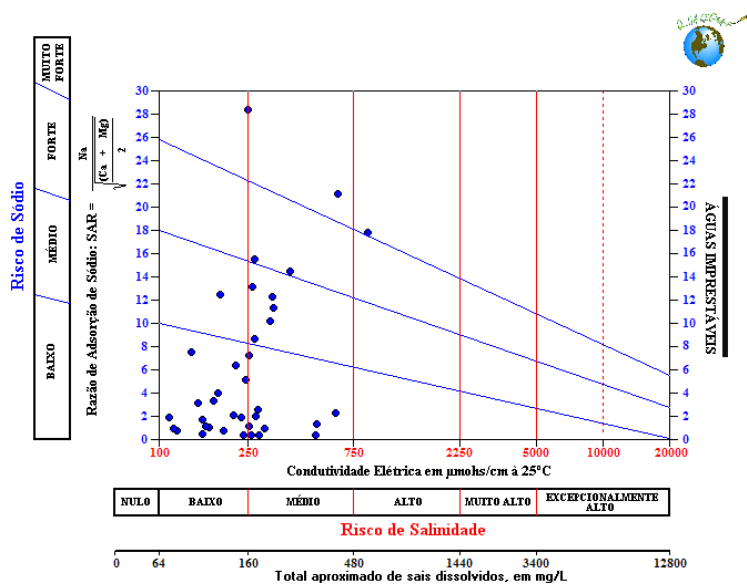
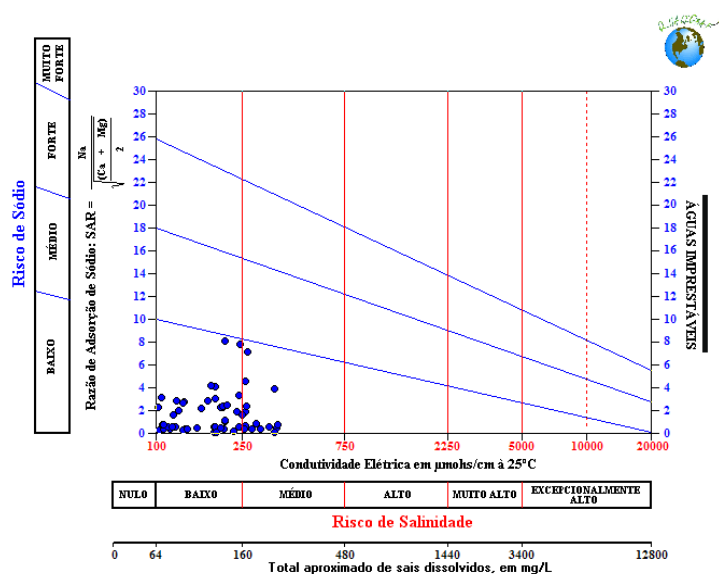


Figura 5.24. Gráficos de Wilcox Indicando a Qualidade da Água para a Unidade Aquífera Paleozóica Superior.



5.3.4. Unidade Aquífera Guarani

As águas das zonas de baixo e médio confinamento são em geral adequadas para irrigação. Porém as da zona de alto confinamento são impréstáveis para tal fim. Das 16 amostras analisadas, cinco são impréstáveis e as 11 restantes excedem os limites do gráfico.

Figura 5.25. Gráficos de Wilcox Indicando a Qualidade da Água para o Unidade Aquífera Guarani (Baixo e Médio Confinamento).

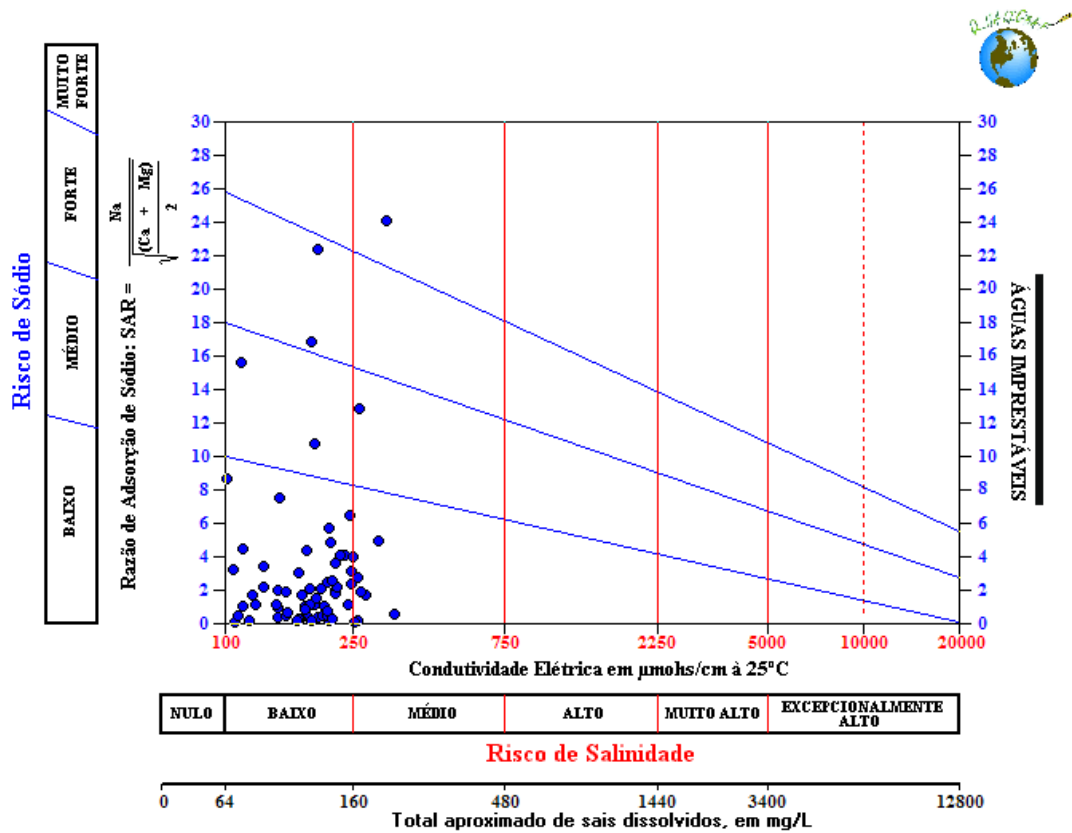
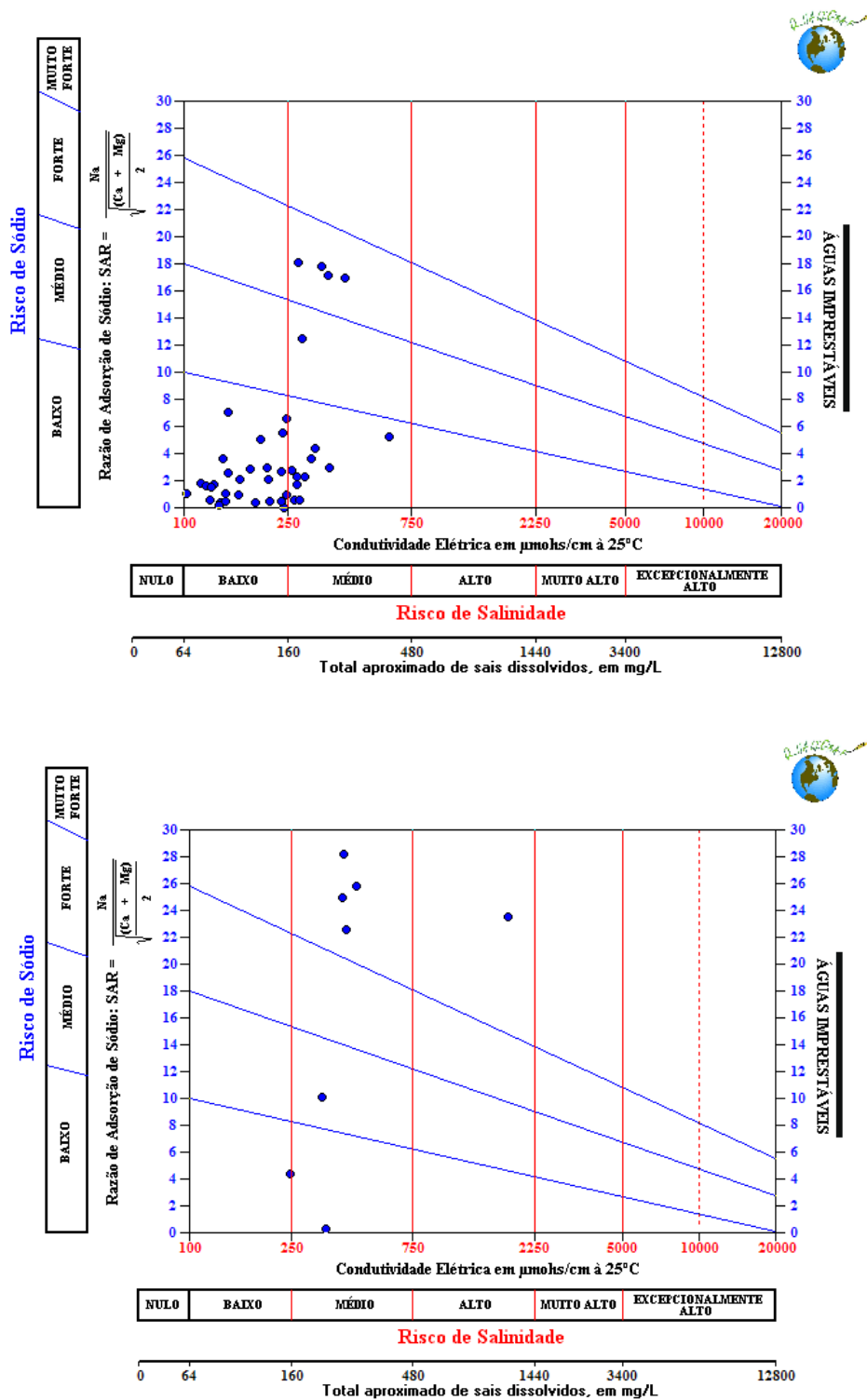


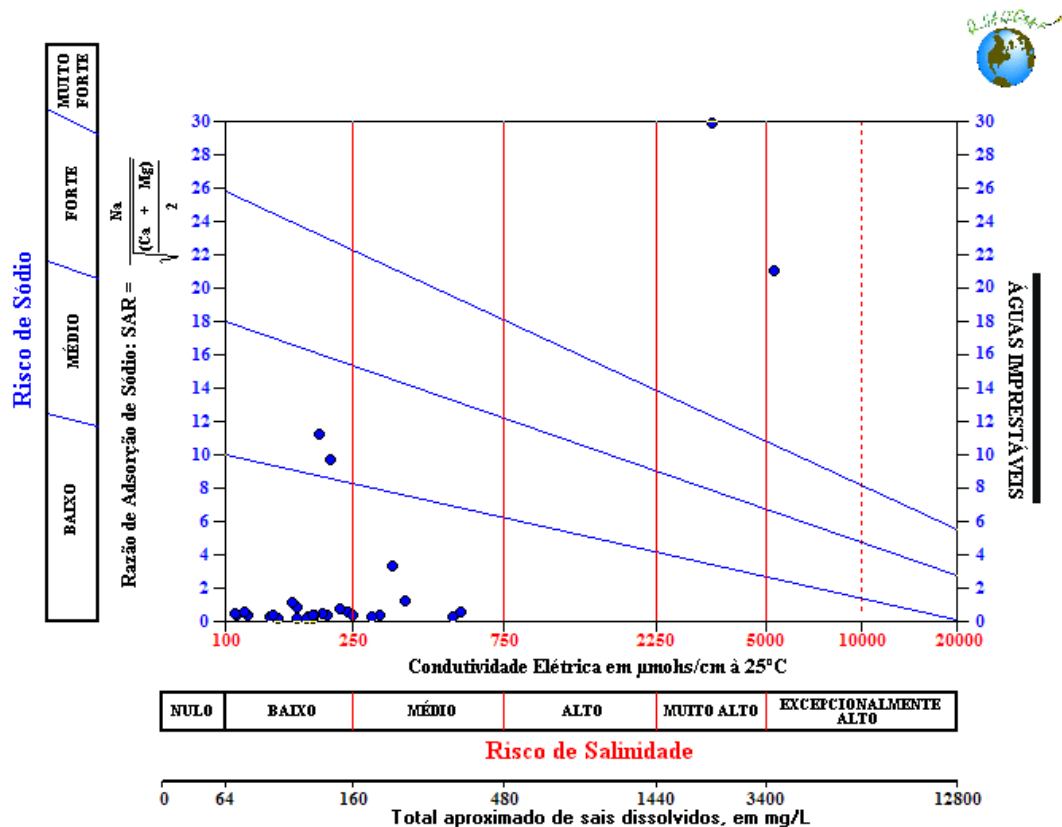
Figura 5.26. Gráficos de Wilcox Indicando a Qualidade da Água para a Unidade Aquífera Guarani (Médio e Alto Confinamento).



5.3.5. Unidade Aquífera Serra Geral Norte e Sul

Apresenta águas com risco de sódio variando de baixo a muito forte (apenas uma amostra) e risco de salinidade de baixo a médio. Exceto em uma das amostras, as demais se mostram adequadas para irrigação.

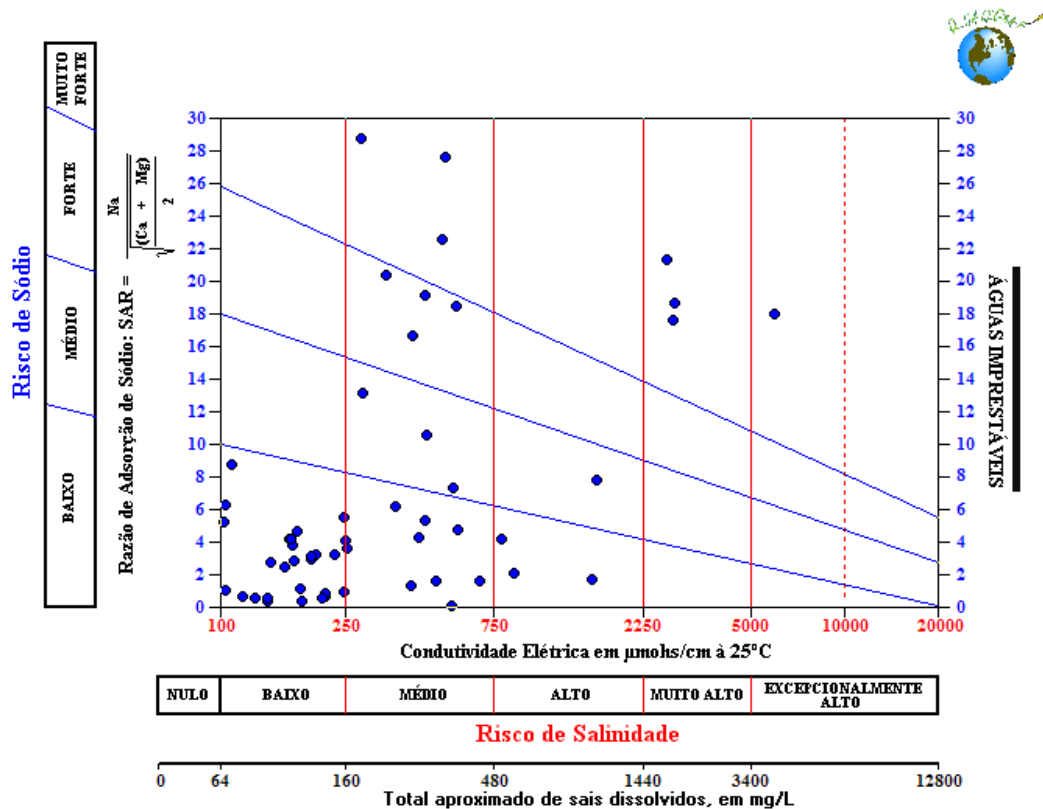
Figura 5.27. Gráficos de Wilcox Indicando a Qualidade da Água para a Unidade Aquífera Serra Geral Norte e Sul.



5.3.6. Unidade Aquífera Caiuá

Águas com risco de sódio e de salinidade baixo a médio, indicando águas adequadas para irrigação. Porém, a ocorrência de duas amostras indicando águas imprestáveis colocam certa restrição ao seu uso para irrigação.

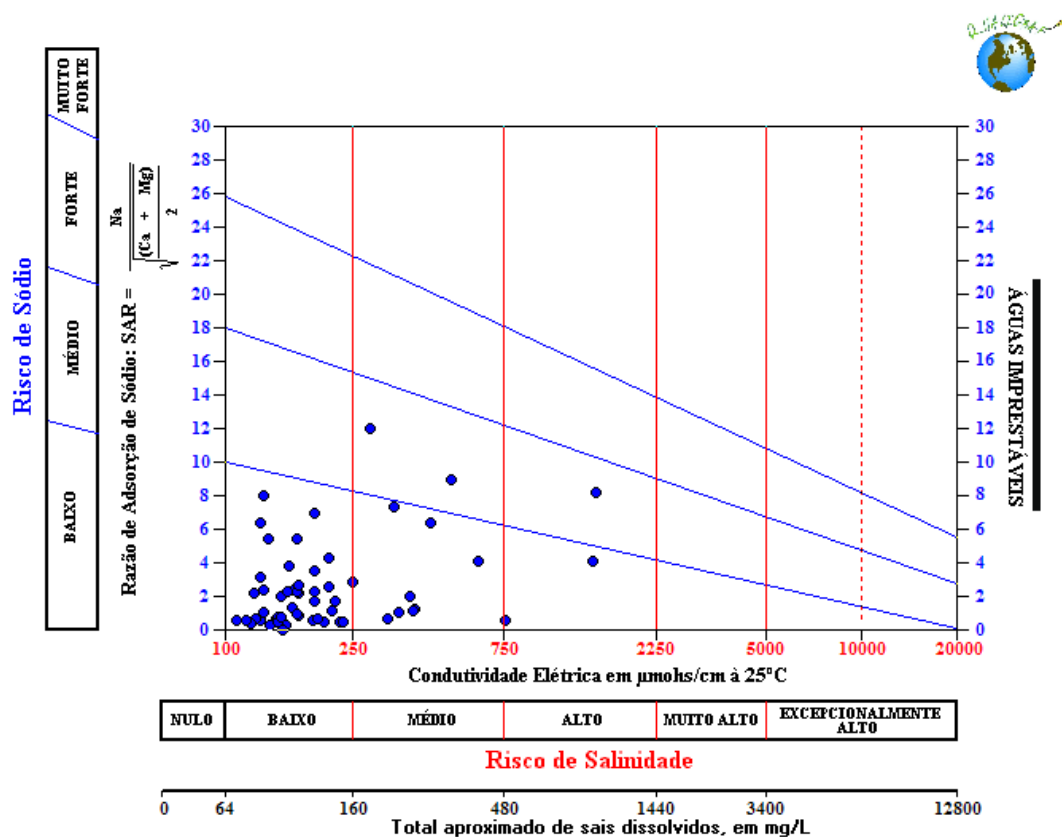
Figura 5.28. Gráficos de Wilcox Indicando a Qualidade Da água para a Unidade Aquífera Caiuá.



5.3.7. Unidade Aquífera Guabirotuba

Águas com risco de sódio variando de baixo a forte e de salinidade variando de baixo a médio. Não apresentam restrições ao uso para irrigação.

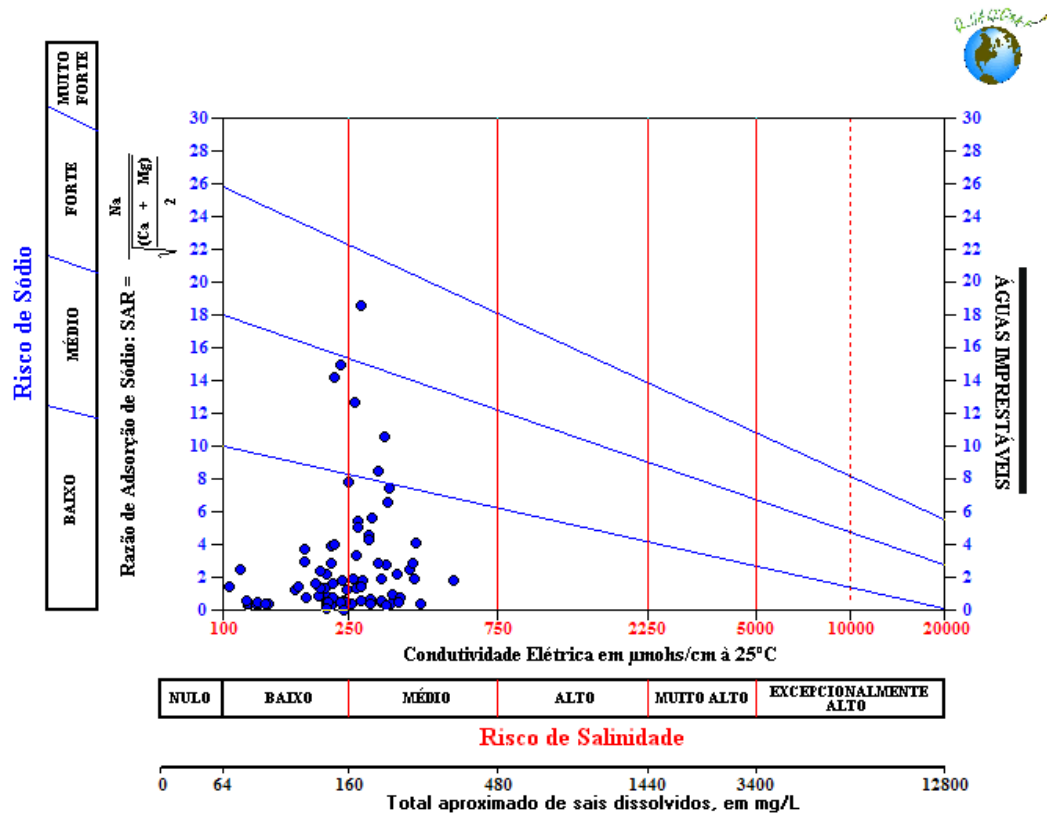
Figura 5.29. Gráficos de Wilcox Indicando a Qualidade da Água para a Unidade Aquífera Guabirotuba.



5.3.8. Unidade Aquífera Costeira

São as águas que apresentam a maior dispersão quanto a qualidade. O risco de sódio varia de baixo a muito forte e de salinidade de baixo a excessivamente alto. Devem ser usadas com muita restrição para fins de irrigação.

Figura 5.30. Gráficos de Wilcox Indicando a Qualidade da Água para a Unidade Aquífera Costeira.



5.4. Qualidade da Água Subterrânea para Uso Industrial

O baixo custo de implantação da obra de captação subterrânea e a conservação do espaço físico, já que não se perde área com barragens e estações de tratamento, tornam os recursos hídricos subterrâneos bastante atrativos para abastecimento de indústrias.

A qualidade da água para a indústria é condicionada pela tipologia de indústria. O tipo da água não pode ser um impedimento para sua utilização, pois, mesmo não sendo totalmente apropriado ao processo industrial, pode ser adequado, mediante um tratamento simples. O que se leva em conta é a elevação do custo de produção causada pelo tratamento necessário para a referida adequação.

O *Quadro 5.13* relaciona alguns tipos de indústria e as substâncias que podem causar problemas no processo industrial.

Quadro 5.13. Tipo de Indústria e Substâncias que Podem Interferir no Processo Industrial.

Indústria \ Substância	Açucareira	Cervejaria	Laticínios	Papel	Têxtil
Alcalinidade	●	●			
Cálcio	●				●
Dureza					●
Ferro	●		●	●	
Magnésio					●
Nitrato		●			
Sílica		●		●	
Sulfato			●		●

Desta forma, da combinação das características dos aquíferos paranaenses com o tipo de processo industrial, é possível determinar quais regiões são, mais ou menos, favoráveis às diferentes atividades industriais. No entanto, esta informação é apenas complementar, uma vez que, como citado, as indústrias têm total condição de submeter a água aos necessários processos de tratamento. Desta forma, certamente, não é a

compatibilidade da água subterrânea com o processo que determinará, ou não, a instalação de uma indústria, exceto em casos muito isolados.

Como exemplo de um destes casos isolados, tome-se o da montadora de automóveis da empresa Daimler-Chrysler, que se instalou em 1996, no município de Campo Largo, Região Metropolitana de Curitiba, atraída pela política vigente na época de expansão do parque automotivo estadual, notadamente naquela área, por meio da promoção de incentivos dos mais variados, aliados ao posicionamento estratégico da região.

A montadora, reconhecida internacionalmente pelo seu diferencial de mercado representado pela pintura automotiva de seus automóveis, trouxe para a unidade fabril um complexo equipamento industrial para a execução deste processo. Este equipamento constituía o mais moderno instrumental disponível no mundo para pintura automotiva. No entanto, sua eficiência estava diretamente relacionada à existência de uma “nuvem” de vapor d’água dentro da estufa, sendo que as gotículas de água seriam responsáveis por aderir às partículas residuais da tinta automotiva que estivessem em suspensão, causando sua deposição no chão da estufa, impedindo que causassem dano à tinta que aderiria à peça.

No entanto, o grau de dureza da água utilizada pela fábrica, proveniente do Karst, influenciava diretamente esta capacidade das gotículas de “grudar” nas partículas de tinta. O resultado disso foi que a fábrica teve que investir, pesadamente, em um processo de remoção dos componentes que causavam esta dureza, o que encareceu grandemente a produção, sendo certamente um dos fatores que acabaram ocasionando a posterior desativação da unidade. Ressalta-se, novamente, que casos como este são isolados, e são muito ligados à incapacidade do empreendedor de avaliar cuidadosamente este fator. O PLERH, ao deixar visíveis, ao grande público, as informações sobre as características básicas de cada aquífero, constitui um importante instrumento a ser adotado pelos empreendedores industriais que estiverem conscientes desta questão.

6. AVALIAÇÃO DA APTIDÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PARANAENSES

6. AVALIAÇÃO DA APTIDÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PARANAENSES

A literatura internacional tem destacado a importância das águas subterrâneas para o futuro, inclusive considerando-a como o principal recurso natural capaz de preservar a espécie humana. Mesmo que no capítulo 18 da Agenda 21 da UNCED-Rio 1992 (Rebouças, 1996) esteja enfocada a necessidade do gerenciamento integrado dos recursos hídricos, a maioria dos estudos sobre bacias hidrográficas ainda restringe o nível de investigação aos limites da superfície do solo. Todas as funções mencionadas por Rebouças (1996), tais como função ambiental e função estratégica, estão muito aquém da importância dispensada à água subterrânea quando a referência envolve a valorização econômica.

A seguir são tecidas recomendações sobre as aptidões dos aquíferos paranaenses, embasadas nas suas características quali-quantitativas já apresentadas no decorrer deste relatório.

6.1. Aptidão Potencial das Águas da Unidade Aquífera Pré-Cambriana

De acordo com os dados da SANEPAR, existem 123 poços outorgados na Unidade Aquífera Pré-Cambriana, sendo a vazão média na ordem de 6,5 m³/h.

As águas extraídas desses poços, com raríssimas exceções, são de ótima qualidade para o consumo humano. Esses poços são fundamentais ao complemento no abastecimento público, tanto que a produção deles, especialmente no período da estiagem de julho e agosto de 2006, tiveram uma importância significativa como fonte de abastecimento de uma parcela da população.

6.2. Aptidão das Águas da Unidade Aquífera Karst

Com um teor médio de cálcio igual a 27 mg/L e de magnésio de 14 mg/L, essas águas podem ser consideradas medianamente a bastante duras. Elas não são, portanto, adequadas para serem utilizadas em caldeiras.

A melhor característica dessas águas é que elas são de ótima qualidade para o consumo humano, bem como para usos na irrigação.

A região de ocorrência das rochas carbonatadas com estruturas carstificadas armazena um volume importante de água. Com vazões médias de ordem de 49,8 m³/h, a unidade aquífera indica possibilidades de captações através de poços tubulares e de fontes naturais suficientes para o abastecimento das cidades localizadas ao norte de Curitiba bem como parte da RMC, desde que os volumes extraídos estejam em equilíbrio com a recarga natural do aquífero. Atualmente, existem 70 poços outorgados para SANEPAR nesta unidade aquífera.

A elevada produtividade dos poços, a excelente qualidade das águas e a incipiente ocupação da maior parte da região, onde as rochas carstificadas ocorrem,

representariam uma alternativa para o abastecimento de parte da RMC. Como já citado, este potencial tem sido estudado com maior detalhamento em estudos recentes, e, certamente, serão detalhados elementos importantes no Plano das Bacias Hidrográficas do Alto Iguaçu e Afluentes do Alto Ribeira.

Em termos de irrigação, o plantio de hortaliças nos municípios de Colombo e Almirante Tamandaré, feito com água do aquífero, apresenta alta produtividade por hectare.

6.3. Aptidão das Águas das Unidade Aquífera Paleozóicas Inferior e Média-Superior

Os aquíferos Furnas, Itararé e Rio Bonito (excetuando-se condições de grande confinamento do aquífero Rio Bonito) armazenam águas com qualidade, via de regra, adequada ao consumo humano e para fins industriais e irrigação.

Tendo em conta as vazões médias de cada unidade aquífera, é perfeitamente viável a utilização dessas águas para o abastecimento de cidades com até 10.000 habitantes. De acordo com os dados da SANEPAR, existem 107 poços outorgados nas unidades aquíferas.

A presença de pirita nos leitos ou camadas delgadas de carvão confere teores elevados de sulfatos nas águas do aquífero Rio Bonito, que, em certos casos, pode tornar a água imprópria para consumo humano.

6.4. Aptidão das Águas da Unidade Aquífera Guarani

Na região norte-nordeste do Paraná, entre Jacarezinho e Londrina, as águas do Guarani são captadas para o abastecimento de 14 municípios em sistemas operados pela SANEPAR. Sistemas autônomos, como os de Ibiporã, Bandeirantes e Abatia, também utilizam poços penetrantes no Guarani para fins de abastecimento público. A título de exemplo, a SANEPAR perfurou, no ano de 2004, um poço nas imediações de Londrina e o resultado, em termos de “vazão surgente” (sem bombeamento), foi de 560 m³/h. É importante destacar, todavia, que nesta mesma cidade existe um poço (perfurado no ano de 1979) cujo teor de flúor é de 12 mg/L; neste caso, a água não é adequada ao consumo humano. Atualmente, existem 61 poços outorgados para SANEPAR nesta unidade aquífera.

Na região oeste e sudoeste do Paraná, as águas possuem temperaturas que atingem até 68 °C (caso de Cianorte) e podem ser aproveitadas para usos diversos.

As águas do aquífero Guarani, cuja ocorrência abrange mais de 50% do território do Paraná, quando requeridas entre outros, para a escaldagem/depenagem de carcaças de animais e higienização de ambientes.

A seguir, é apresentado o detalhe deste aproveitamento:

Evisceração e Escaldagem de Aves

A avicultura brasileira, com predominância no sul do Brasil, é líder de produtividade mundial. Daí a razão de se destacar o aproveitamento das águas do aquífero Guarani para fins de evisceração, escaldagem e depenagem de aves.

O escaldamento de aves completa o processo de liberação das penas, aumentando sua densidade e a área de fricção para remoção. Utiliza-se, geralmente, um tanque de água quente com agitação por injeção de ar, no qual as aves são mantidas imersas. A agitação da água de escaldamento é necessária para assegurar boa penetração na pele da ave, bem como para evitar bolsões de água fria. De acordo com Pinheiro (1994), utiliza-se temperaturas de escaldamento de 52 °C a 54 °C. Escaldadores de pescoço operam entre 60 °C e 65 °C, e os de asas, entre 54 °C e 60 °C.

Após o escaldamento, as aves entram numa série de máquinas de depenagem, as quais são desenhadas para depenar asas, pernas, pescoço e corpo. A evisceração é feita a seguir, para remoção da cabeça, vísceras, pés, papo e pulmões da carcaça depenada. A questão a ser avaliada é se os tipos de águas de zonas de médio e grande confinamento do Guarani podem ou não afetar na qualidade do produto final, condição que deve ser verificada *'in loco'* pelo próprio produtor.

6.5. Aptidão das Águas da Unidade Aquífera Serra Geral Norte e Sul

As águas do aquífero Serra Geral não possuem misturas com águas de reservatórios subjacentes, além de serem de excelente qualidade para o consumo humano. Outra vantagem é em relação ao custo da captação, as principais entradas de água encontram-se em profundidades inferiores a 200 m e as vazões médias variam de 7,3 a 33 m³/h.

Como forma de representar a aptidão das águas da unidade aquífera para o consumo humano, a SANEPAR dispõem de 617 poços outorgados, de modo que os mesmos sejam utilizados como fonte de captação nos municípios que se localizam na área da unidade.

Vale ressaltar que este manancial também é adequado para os procedimentos de irrigação.

6.6. Aptidão das Águas Unidade Aquífera Caiuá

As águas do aquífero Caiuá são de excelente qualidade para o consumo humano, bem como para usos na irrigação e para as indústrias em geral.

Um aspecto que deve ser considerado é a susceptibilidade à contaminação por agroquímicos, bem como a erosão do solo. Praticamente é inexistente a proteção através da mata original e pouco tem sido feito em termos de reposição das matas

ciliares. O seu arcabouço é a fonte principal de sedimentos que são erodidos pelas chuvas e carregados para os rios Ivaí e Paraná.

Com efeito, existem 65 localidades na região abastecidas com águas do Caiuá, consequência, do seu elevado potencial hídrico, da excelente qualidade da água e de seu baixo custo para captação. Tratando-se de um aquífero poroso, os poços, na maioria dos casos, podem ser perfurados próximos aos reservatórios elevados, sendo desnecessário grandes aduções desde o ponto de captação até o armazenamento para distribuição.

De profundidades da ordem de 150 a 200 m, é possível a extração de vazões entre 20 e 40 m³/h. A produtividade desses poços varia em função dos níveis arenosos seccionados pela perfuração e também em função das características construtivas dos poços. Atualmente, existem 172 poços outorgados para SANEPAR nesta unidade aquífera.

6.7. Aptidão das Águas da Unidade Aquífera Guabirotuba

As águas do aquífero Guabirotuba também são adequadas ao consumo humano. Nos casos em que os teores de ferro e manganês estão acima do permitido, essas águas podem ser tratadas e consumidas. Elas não são potáveis quando contém o íon Flúor em teores elevados, caso da região do Centro Politécnico da UFPR onde registrou-se a presença de fluoretos acima de 4 mg/L.

Além disto, tendo em conta que as camadas armazenadoras de água ocorrem sob a forma de lentes esparsas no pacote de pelitos, a possibilidade de resultados positivos na perfuração de poços é bastante incipiente, a não ser nas bordas da Bacia de Curitiba (próxima da barragem do Irai) onde existem poços que produzem até 80 m³/h; nesses casos, as camadas de arcóseos atingem até 10 m de espessura. De acordo com os dados da SANEPAR, existem 6 poços outorgados na unidade aquífera.

De modo geral, as camadas aquíferas do Guabirotuba representam apenas lentes esparsas no pacote de rochas pelíticas. Trata-se, portanto, de um aquífero não contínuo, mas, uma vez existindo camadas espessas e saturadas em água, ele é capaz de produzir vazões para indústrias que necessitam de pouca água, assim como para chácaras e para usos na irrigação de hortaliças.

6.8. Aptidão das Águas da Unidade Aquífera Costeira

Esta unidade aquífera é a que apresenta águas de pior qualidade para consumo humano. Isso se deve à influência do ambiente marinho, tanto pela alteração das águas de recarga que se tornam salinizadas em função de aerossóis marinhos, como também pela influência de cunhas salinas. Atualmente, existem 3 poços outorgados para SANEPAR nesta unidade aquífera.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

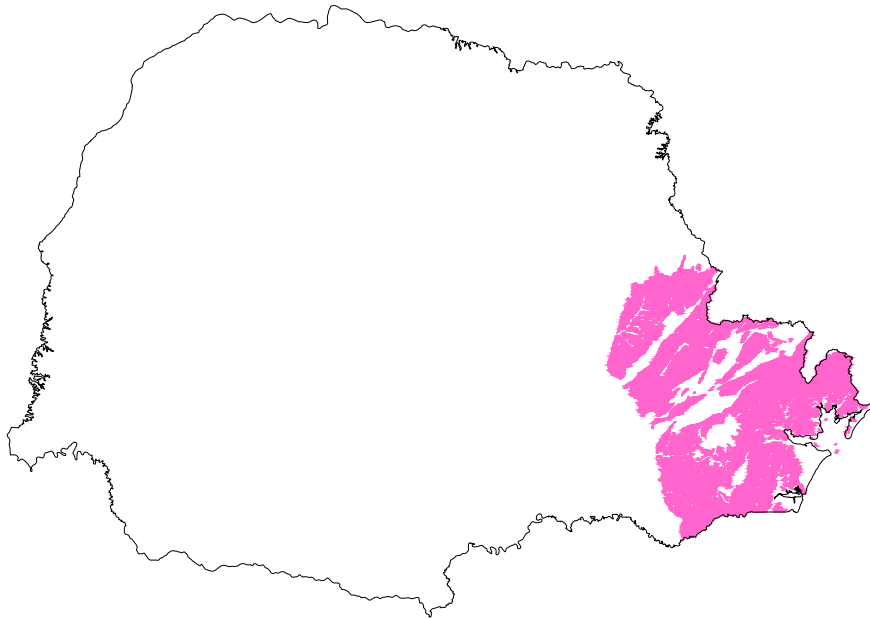
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, M.A.; STEIN, D.P.; MELO, M.S.; BISTRICHI, C.A.; PONÇANO, N.L.; HASUI, Y. & ALMEIDA, F.F.M. de. 1980. *Geologia do oeste paulista e áreas fronteiriças dos Estados do Mato Grosso do Sul e Paraná*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, Camboriú. Anais. São Paulo, Soc. Brasileira de Geol., 1980, 5:2799-2812.
- ARAUJO, L.M.; FRANÇA, A.B. & POTTER, P.E. 1995. *Aquífero Gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai: Mapas hidrogeológicos das Formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Tacuarembó*. 16 p. Curitiba-PR. Ed. Universidade.
- BARRETO, G.B. 1986. *Irrigação – princípios, métodos e práticas*. 151 p. Campinas
- BECKER, R.D. 1982. *Distribuição dos sedimentos cenozóicos da Região Metropolitana de Curitiba e sua relação com a estrutura geológica e morfológica regional*. Tese de doutorado. UFRS, p 237. Porto Alegre.
- BIGARELLA, J.J. 1948. *Estudos preliminares na Série Açungui II - Rochas calcáreas*. Arq. Biol. Tecnol., Curitiba, 3:201-354.
- BIRCH, H.F. 1958. *The effect of soil drying on humus decomposition and nitrogen availability*. Pl. Soil, 10:9.
- BONACIM, E.A. 1996. *Dinâmica do sistema hidrogeológico cárstico na área de Tranqueira*. Tese de Mestrado. UFPR, p 210. Curitiba.
- CHRISTENSEN, C.M. e KAUFMANN, H.H. 1969. *Grains storage.- The role of fungi in quality loss*. University of Minnesota. Minneapolis. 153 p.
- COSTA, E.C. DA. 1991. *Física aplicada à construção – conforto térmico*. 185 p.
- GALVÃO, A.P.M. & JANKOWSKY, I. O. 1974. *Secagem racional da madeira*. Livraria Nobel S.A. São paulo, 111 p.
- GARDUNO, H. & ARREGIN-CORTES, F. 1994. *Efficient water use*, 379 P. UNESCO/ROSLAC. Montevideo.
- GUETTER, A.K. 1999. *Energia, Meio ambiente e desenvolvimento*. Curso de especialização em engenharia ambiental. UFPR/IEP. Vol. 2/2. Curitiba
- HALL, D.W. 1971. *Manipulación y Almacenamiento de granos alimentícios en las zonas tropicales y subtropicales*. FAO Cuadernos de fomento agropecuario nº 90, p. 400.

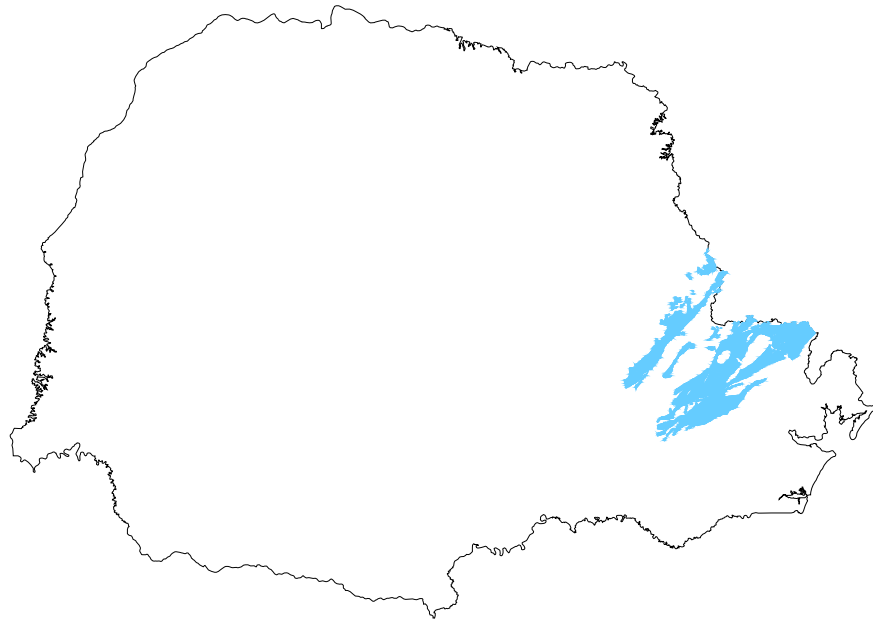
- FIBGE - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1993. *Geografia e questão ambiental*. 168 p. Rio de Janeiro.
- JICA - Agência Internacional de Cooperação do Japão. 1995. *Estudo do Plano Diretor para a Utilização dos Recursos Hídricos no Estado do Paraná*. Curitiba.
- MAACK, R. & SPITZNER, R. 1946. *Estudo contributivo ao conhecimento de algumas águas minerais do Estado do Paraná*. Arquivo de Biologia e Tecnologia, Curitiba. N. 1, p. 129-176.
- MAACK, R. 1970. *Notas preliminares sobre as águas do subsolo da Bacia do Paraná/Uruguai*. Curitiba: Comissão Interestadual da bacia o Paraná/Uruguai. 162 p.
- MAACK, R. 1981. *Geografia Física do Estado do Paraná*. Livraria José Olympio Editora. Rio de Janeiro. 450 p.
- MINEROPAR. 2007. *Mapa Geológico do Estado do Paraná – Unidades Estratigráficas*. Disponível em: <http://www.mineropar.pr.gov.br>. Acessado em: março de 2007.
- OECD - Organization for economic cooperation and development.,1989. *Water Resources management-integrated policies*. p 199. Paris.
- PINHEIRO, M. R. 1994. *Abate e processamento de frangos*. Fundação APINCO de Ciência e Tecnologia Avícola. Campinas, 148 p.
- PUZZI, D. 1973. *Conservação dos grãos armazenados*. Editora Agronômica Ceres Ltda. São Paulo. 217 p.
- REBOUÇAS, A.C. 1980. *Estágio atual dos conhecimentos sobre águas subterrâneas do Brasil*. Rev. Águas Subterrâneas. ABAS, 2(1): 1-10
- REBOUÇAS, A.C. 1996. *Diagnóstico do setor de hidrogeologia*. Caderno técnico da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas - ABAS. 46 p. São Paulo-SP.
- ROCHA, A.E. 1996. *Hidrogeologia da Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno*. Tese de mestrado. UFPR. 156 p. Curitiba.
- ROSA FILHO, E.F. da. 1982. *Uma análise sobre a produtividade dos poços tubulares no aquífero Caiuá - Região noroeste do estado do Paraná*. Tese de mestrado. UFPE. 394 p. Recife.
- ROSA FILHO, E.F. da; BITTENCOURT, A.V.L.; SALAMUNI, R. 1987. *Contribuição ao estudo das águas subterrâneas nos basaltos no Estado do Paraná*. Bol. Paranaense de Geoc. UFPR, v. 37: 22-52. Curitiba.

- ROSA FILHO, E.F. da; FORLIN, M. & XAVIER, J. M. 1998. *Informações básicas sobre a distribuição do Sistema Aquífero Guarany nas regiões Sul e Sudeste do Brasil*. A Água em Revista – Revista Técnica e informativa da CPRM, nº 10:23-26.
- SALAMUNI, R. 1981. *Geologia das águas subterrâneas na região metropolitana de Curitiba*. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3. Atas. Sociedade Brasileira de Geologia, 1981, v. 1: 372-389. São Paulo.
- SCHNEIDER, R.L.; MÜHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R.A.; DAEMON, R.F.; NOGUEIRA, A.A. 1974. *Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná*. In: CONG. BRAS. GEOL., 23. Anais. Sociedade Brasileira de Geologia, 1974, v1: 41-65. Porto Alegre.
- SOLLEY, W.B.; PIERCE, R.R. & PERLMAN, H.A. 1993. *Estimated use of water in the United States in 1990*. U.S. Survey, Circular 1081.
- SOUZA, P. F. DE. 1947. *Indústria Madeireira*. Imprensa Nacional, Rio de Janeiro. 344 p.
- SUDERHSA (Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). 2006. *Manual Técnico de Outorgas*. Disponível em: http://www.pr.gov.br/meioambiente/suderhsa/pdf/manual_outorgas.pdf. Acessado em: março de 2007.
- SZIKSZAY. 1993. *Geoquímica das águas*. Boletim IG-USP, sér. didático, 5:1-166. São Paulo.
- TEISSEDRE, J.M e BARNER, U. 1981. *Comportamento geotérmico e geoquímico das águas do aquífero Botucatu na Bacia do Paraná*. Revista Águas Subterrâneas. ABAS. n 4, p.85-95. São Paulo, SP.
- TOSELLO, A. 1964. *Manuseio e conservação de grãos à granel*. Boletim do Centro Tropical de Pesquisas e Tecnologia de alimentos, nº 11:71-86.
- VENTSKEVICH, G.Z. 1958. *Agrometeorology OTS 60-51044*. In: Israel Program for Scientific Translation for National Science Foundation.

ANEXO 1. LOCALIZAÇÃO DOS AQÜÍFEROS E SEUS RESPECTIVOS TIPOS LITOLÓGICOS



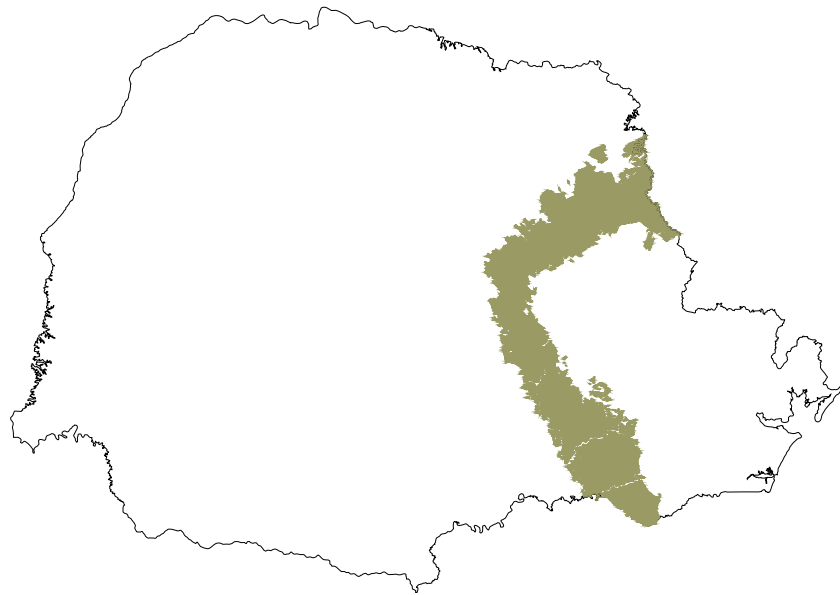
Localização do Aquífero Cristalino e tipos litológicos da unidade



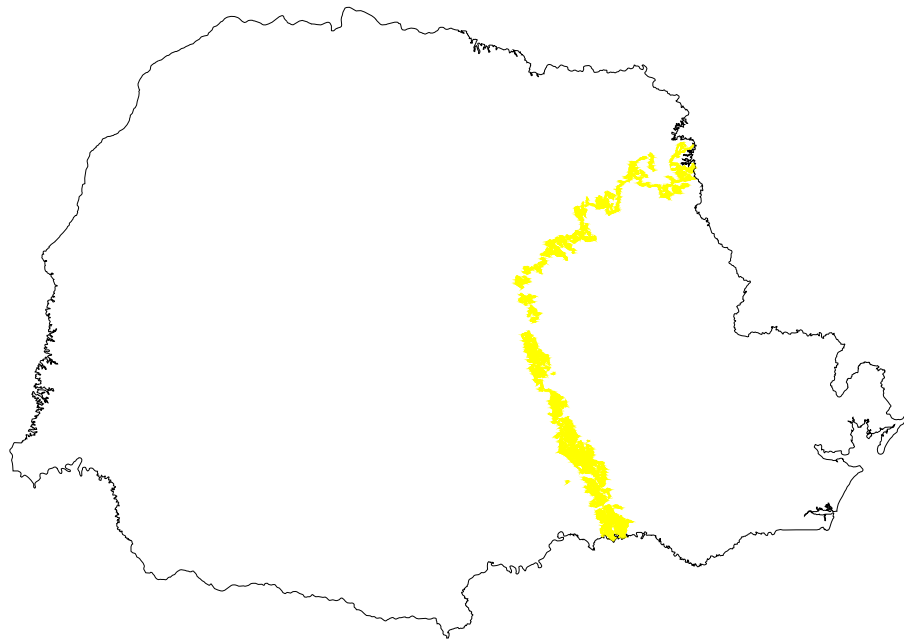
Localização do Aquífero Cárstico e tipos litológicos da unidade



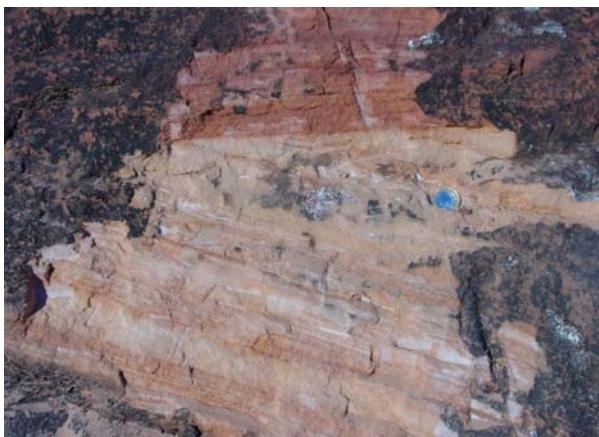
Localização do Aquífero Furnas e tipos litológicos da unidade



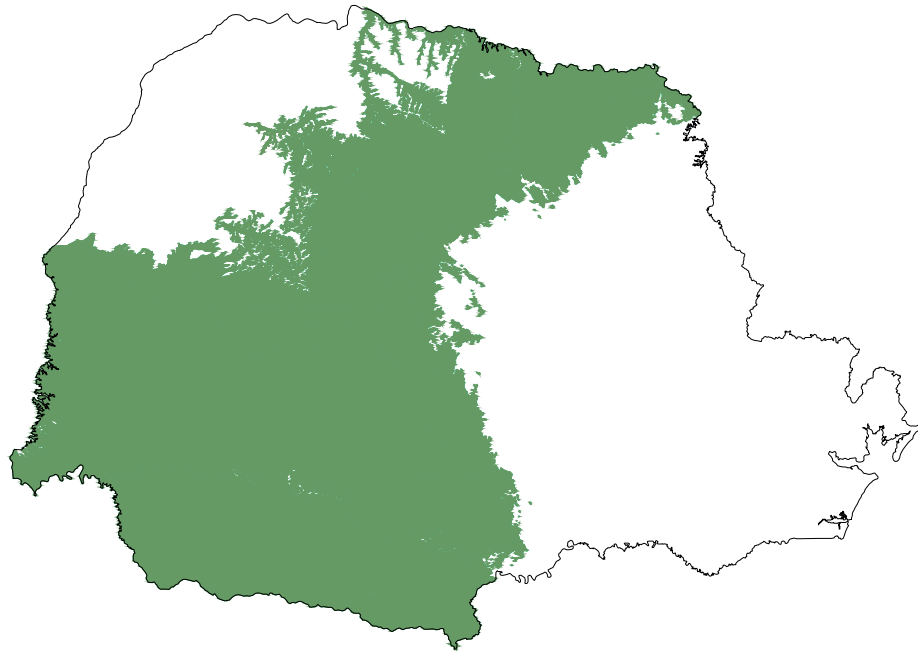
Localização do Aquífero Itararé e tipos litológicos da unidade



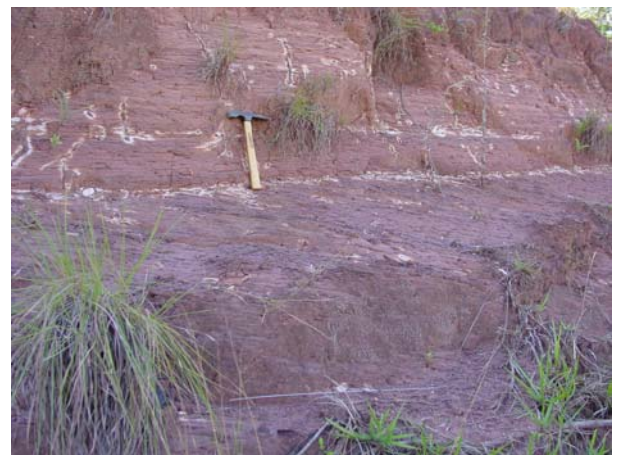
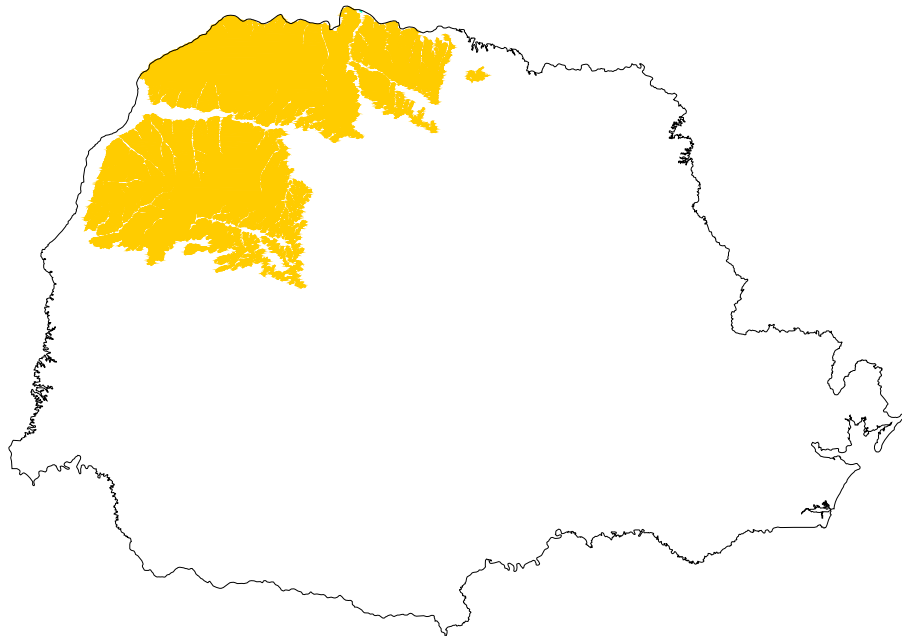
Localização do Aquífero Rio Bonito e tipos litológicos da unidade



Localização da porção aflorante do Aquífero Guarani



Localização do Aquífero Serra Geral e tipos litológicos da unidade



Localização do Aquífero Caiuá e tipos litológicos da unidade



Localização do Aquífero Guabirotuba e tipos litológicos da unidade



Localização do Aquífero Costeiro e tipos litológicos da unidade

**ANEXO 2. DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUBTERRÂNEA
POR ÁREA ESTRATÉGICA DE GESTÃO (AEG)**

Anexo 2. Disponibilidade Hídrica Subterrânea por Área Estratégica de Gestão (AEG).

Área Estratégica de Gestão (AEG)	Unidade Aquífera	Área na AEG	Potencial JICA 1995		Disponibilidade na BHT		Vazão Outorgável	
			L/s/km²	m³/h/km²	L/s	m³/h	%	m³/dia
BL 01	Pré-Cambriana	3.738,86	5,60	20,16	20.937,62	75.375,44	20,00	271.351,57
	Costeira	1.904,33	-	-	-	-	-	-
	TOTAL	5.643,20					TOTAL	271.351,57
CZ01	Pré-Cambriana	7,46	5,60	20,16	41,76	150,34	20,00	541,22
	Paleozóica Inferior	765,14	3,60	12,96	2.754,49	9.916,16	20,00	35.698,16
	Paleozóica Média Superior	2.346,27	5,60	20,16	13.139,11	47.300,80	20,00	170.282,88
	Paleozóica Superior	1.513,89	3,60	12,96	5.450,00	19.620,00	20,00	70.632,00
	Guarani	1.064,55	12,40	44,64	13.200,37	47.521,35	10,00	85.538,42
	Serra Geral Norte	962,20	4,20	15,12	4.041,25	14.548,51	20,00	52.374,64
	TOTAL	5.697,30					TOTAL	415.067,33
CZ02	Paleozóica Média Superior	1.430,33	5,60	20,16	8.009,85	28.835,45	20,00	103.807,60
	Paleozóica Superior	910,88	3,60	12,96	3.279,17	11.805,01	20,00	42.498,03
	Guarani	1.615,36	12,40	44,64	20.030,49	72.109,78	10,00	129.797,61
	Serra Geral Norte	1.544,41	4,20	15,12	6.486,54	23.351,55	20,00	84.065,56
	TOTAL	3.956,57					TOTAL	360.168,80
IGA01	Pré-Cambriana	156,76	5,60	20,16	877,83	3.160,19	20,00	11.376,70
	Guabirotuba	198,78	3,53	12,71	701,69	2.526,10	20,00	9.093,95
	TOTAL	355,54					TOTAL	20.470,65
IGA02	Pré-Cambriana	151,33	5,60	20,16	847,43	3.050,75	20,00	10.982,71
	Karst	36,19	8,29	29,84	300,01	1.079,88	20,00	3.887,58
	Guabirotuba	156,04	3,53	12,71	550,81	1.982,93	20,00	7.138,56
	TOTAL	343,55					TOTAL	22.008,85
IGA03	Pré-Cambriana	800,13	5,60	20,16	4.480,75	16.130,68	20,00	58.070,46
	Karst	95,04	8,29	29,84	787,91	2.836,11	20,00	10.209,99
	Guabirotuba	338,11	3,53	12,71	1.193,54	4.296,73	20,00	15.468,23
	TOTAL	1.233,29					TOTAL	83.748,68

Área Estratégica de Gestão (AEG)	Unidade Aquífera	Área na AEG	Potencial JICA 1995		Disponibilidade na BHT		Vazão Outorgável	
			L/s/km²	m³/h/km²	L/s	m³/h	%	m³/dia
IGA04	Pré-Cambriana	718,24	5,60	20,16	4.022,14	14.479,71	20,00	52.126,95
	Karst	99,82	8,29	29,84	827,49	2.978,58	20,00	10.722,89
	Guabirotuba	24,99	3,53	12,71	88,21	317,56	20,00	1.143,21
	TOTAL	843,05					TOTAL	63.993,04
IGA05	Pré-Cambriana	196,22	5,60	20,16	1.098,85	3.955,84	20,00	14.241,04
	Karst	44,68	8,29	29,84	370,41	1.333,30	20,00	4.799,88
	Paleozóica Inferior	158,56	3,60	12,96	570,82	2.054,96	20,00	7.397,86
	Paleozóica Média Superior	551,03	5,60	20,16	3.085,76	11.108,74	20,00	39.991,47
	TOTAL	950,49					TOTAL	66.430,25
IGA06	Pré-Cambriana	1.733,40	5,60	20,16	9.707,03	34.945,31	20,00	125.803,11
	Paleozóica Inferior	31,88	3,60	12,96	114,76	413,15	20,00	1.487,33
	Paleozóica Média Superior	1.078,50	5,60	20,16	6.039,60	21.742,55	20,00	78.273,18
	Guabirotuba	113,69	3,53	12,71	401,34	1.444,82	20,00	5.201,36
	TOTAL	2.957,47					TOTAL	210.764,97
IGA07	Paleozóica Inferior	2,45	3,60	12,96	8,84	31,81	20,00	114,53
	Paleozóica Média Superior	3.280,73	5,60	20,16	18.372,11	66.139,58	20,00	238.102,50
	Paleozóica Superior	360,70	3,60	12,96	1.298,53	4.674,71	20,00	16.828,97
	TOTAL	3.643,89					TOTAL	255.045,99
IGB01	Guarani	4.821,98	12,40	44,64	59.792,54	215.253,16	10,00	387.455,69
	Serra Geral Sul	4.821,98	3,80	13,68	18.323,52	65.964,69	20,00	237.472,87
	TOTAL	4.821,98					TOTAL	624.928,56
IGB02	Guarani	6.655,05	12,40	44,64	82.522,57	297.081,27	10,00	534.746,28
	Serra Geral Sul	6.655,05	3,80	13,68	25.289,18	91.041,03	20,00	327.747,72
	TOTAL	6.655,05					TOTAL	862.494,00
IGB03	Guarani	1.889,63	12,40	44,64	23.431,42	84.353,13	10,00	151.835,63
	Serra Geral Sul	1.889,63	3,80	13,68	7.180,59	25.850,14	20,00	93.060,50
	TOTAL	1.889,63					TOTAL	244.896,13

Área Estratégica de Gestão (AEG)	Unidade Aquífera	Área na AEG	Potencial JICA 1995		Disponibilidade na BHT		Vazão Outorgável	
			L/s/km²	m³/h/km²	L/s	m³/h	%	m³/dia
IGB04	Guarani	5.547,15	12,40	44,64	68.784,61	247.624,59	10,00	445.724,26
	Serra Geral Sul	5.547,15	3,80	13,68	21.079,17	75.885,01	20,00	273.186,04
	TOTAL	5.547,15					TOTAL	718.910,31
IGB05	Guarani	7.821,82	12,40	44,64	96.990,54	349.165,95	10,00	628.498,71
	Serra Geral Sul	7.821,82	3,80	13,68	29.722,92	107.002,50	20,00	385.208,99
	TOTAL	7.821,82					TOTAL	1.013.707,70
IGM01	Paleozóica Média Superior	47,32	5,60	20,16	264,98	953,93	20,00	3.434,15
	Paleozóica Superior	3.569,21	3,60	12,96	12.849,16	46.256,98	20,00	166.525,14
	Guarani	5.394,23	12,40	44,64	66.888,51	240.798,63	10,00	433.437,53
	Serra Geral Sul	5.095,43	3,80	13,68	19.362,63	69.705,48	20,00	250.939,74
	TOTAL	9.010,76					TOTAL	854.336,56
IGM02	Guarani	9.033,24	12,40	44,64	112.012,14	403.243,71	10,00	725.838,69
	Serra Geral Sul	9.033,24	3,80	13,68	34.326,31	123.574,72	20,00	444.869,00
	TOTAL	9.033,24					TOTAL	1.170.707,69
IT01	Pré-Cambriana	829,15	5,60	20,16	4.643,26	16.715,74	20,00	60.176,67
	Karst	463,51	8,29	29,84	3.842,53	13.831,25	20,00	49.792,49
	Paleozóica Inferior	1.135,75	3,60	12,96	4.088,71	14.719,36	20,00	52.989,71
	Paleozóica Média Superior	521,21	5,60	20,16	2.918,75	10.507,51	20,00	37.827,05
	TOTAL	2.949,63					TOTAL	200.785,92
IT02	Paleozóica Inferior	7,58	3,60	12,96	27,27	98,18	20,00	353,44
	Paleozóica Média Superior	1.467,93	5,60	20,16	8.220,43	29.593,55	20,00	106.536,80
	Paleozóica Superior	506,07	3,60	12,96	1.821,84	6.558,63	20,00	23.611,08
	Guarani	75,98	12,40	44,64	942,12	3.391,62	10,00	6.104,92
	Serra Geral Norte	47,75	4,20	15,12	200,55	721,99	20,00	2.599,16
	TOTAL	2.057,55					TOTAL	139.205,41

Área Estratégica de Gestão (AEG)	Unidade Aquífera	Área na AEG	Potencial JICA 1995		Disponibilidade na BHT		Vazão Outorgável	
			L/s/km²	m³/h/km²	L/s	m³/h	%	m³/dia
IVA01	Paleozóica Média Superior	56,32	5,60	20,16	315,39	1.135,39	20,00	4.087,42
	Paleozóica Superior	3.206,52	3,60	12,96	11.543,46	41.556,45	20,00	149.603,21
IVA01	Guarani	300,69	12,40	44,64	3.728,58	13.422,90	10,00	24.161,21
	Serra Geral Norte	47,75	4,20	15,12	200,55	721,99	20,00	2.599,16
	TOTAL	3.563,53					TOTAL	180.451,00
IVA02	Paleozóica Média Superior	110,07	5,60	20,16	616,37	2.218,92	20,00	7.988,12
	Paleozóica Superior	4.039,50	3,60	12,96	14.542,20	52.351,94	20,00	188.466,97
	Guarani	5.049,77	12,40	44,64	62.617,11	225.421,59	10,00	405.758,86
	Serra Geral Norte	4.285,57	4,20	15,12	17.999,39	64.797,82	20,00	233.272,15
	TOTAL	9.199,33					TOTAL	835.486,10
IVA03	Guarani	10.367,20	12,40	44,64	128.553,24	462.791,65	10,00	833.024,98
	Serra Geral Norte	10.367,19	4,20	15,12	43.542,19	156.751,87	20,00	564.306,73
	Caiuá	136,54	4,20	15,12	573,48	2.064,53	20,00	7.432,29
	TOTAL	10.503,74					TOTAL	1.404.763,99
IVB01	Guarani	2.725,62	12,40	44,64	33.797,67	121.671,60	10,00	219.008,88
	Serra Geral Norte	2.725,62	4,20	15,12	11.447,60	41.211,35	20,00	148.360,85
	Caiuá	2.591,03	4,20	15,12	10.882,33	39.176,39	20,00	141.035,00
	TOTAL	5.316,65					TOTAL	508.404,73
IVB02	Guarani	177,78	12,40	44,64	2.204,53	7.936,29	10,00	14.285,32
	Serra Geral Norte	177,78	4,20	15,12	746,69	2.688,10	20,00	9.677,16
	Caiuá	7.889,89	4,20	15,12	33.137,55	119.295,17	20,00	429.462,60
	TOTAL	8.067,68					TOTAL	453.425,08
PI01	Guarani	1.831,53	12,40	44,64	22.711,01	81.759,62	10,00	147.167,31
	Serra Geral Norte	1.831,53	4,20	15,12	7.692,44	27.692,77	20,00	99.693,99
	Caiuá	374,72	4,20	15,12	1.573,81	5.665,71	20,00	20.396,55
	TOTAL	2.206,25					TOTAL	267.257,85
PI02	Guarani	700,54	12,40	44,64	8.686,63	31.271,89	10,00	56.289,39
	Serra Geral Norte	700,54	4,20	15,12	2.942,25	10.592,09	20,00	38.131,53
	Caiuá	313,65	4,20	15,12	1.317,33	4.742,41	20,00	17.072,66
	TOTAL	1.014,19					TOTAL	111.493,58

Área Estratégica de Gestão (AEG)	Unidade Aquífera	Área na AEG	Potencial JICA 1995		Disponibilidade na BHT		Vazão Outorgável	
			L/s/km²	m³/h/km²	L/s	m³/h	%	m³/dia
PI03	Guarani	418,21	12,40	44,64	5.185,76	18.668,73	10,00	33.603,72
	Serra Geral Norte	418,21	4,20	15,12	1.756,47	6.323,28	20,00	22.763,81
	Caiuá	1.475,25	4,20	15,12	6.196,04	22.305,73	20,00	80.300,63
	TOTAL	1.893,45					TOTAL	136.668,15
PN1 01	Paleozóica Superior	88,16	3,60	12,96	317,39	1.142,61	20,00	4.113,39
	Guarani	1.150,65	12,40	44,64	14.268,00	51.364,81	10,00	92.456,66
	Serra Geral Norte	829,31	4,20	15,12	3.483,10	12.539,18	20,00	45.141,04
	TOTAL	1.238,81					TOTAL	141.711,09
PN2 01	Guarani	720,67	12,40	44,64	8.936,32	32.170,77	10,00	57.907,38
	Serra Geral Norte	720,67	4,20	15,12	3.026,82	10.896,55	20,00	39.227,58
	TOTAL	720,67					TOTAL	97.134,96
PN3 01	Guarani	1.701,62	12,40	44,64	21.100,11	75.960,39	10,00	136.728,70
	Serra Geral Norte	1.701,62	4,20	15,12	7.146,81	25.728,52	20,00	92.622,67
	Caiuá	117,57	4,20	15,12	493,78	1.777,59	20,00	6.399,33
	TOTAL	1.819,19					TOTAL	235.750,69
PN3 02	Guarani	443,78	12,40	44,64	5.502,87	19.810,35	10,00	35.658,62
	Serra Geral Norte	443,78	4,20	15,12	1.863,88	6.709,96	20,00	24.155,84
	Caiuá	1.519,43	4,20	15,12	6.381,59	22.973,72	20,00	82.705,39
	TOTAL	1.963,21					TOTAL	142.519,86
PN4 01	Caiuá	4.158,89	4,20	15,12	17.467,33	62.882,40	20,00	226.376,66
	TOTAL	4.158,89					TOTAL	226.376,66
PQ 01	Guarani	7.526,07	12,40	44,64	93.323,27	335.963,77	10,00	604.734,79
	Serra Geral Norte	7.526,07	4,20	15,12	31.609,49	113.794,18	20,00	409.659,04
	TOTAL	7.526,07					TOTAL	1.014.393,83
PQ02	Guarani	6.899,07	12,40	44,64	85.548,46	307.974,46	10,00	554.354,03
	Serra Geral Norte	6.975,81	4,20	15,12	29.298,40	105.474,25	20,00	379.707,29
	Caiuá	2.775,98	4,20	15,12	11.659,11	41.972,79	20,00	151.102,06
	TOTAL	9.675,05					TOTAL	1.085.163,37
PQ03	Guarani	4.361,83	12,40	44,64	54.086,67	194.712,00	10,00	350.481,60
	Serra Geral Norte	4.361,83	4,20	15,12	18.319,68	65.950,84	20,00	237.423,02
	Caiuá	2.451,40	4,20	15,12	10.295,87	37.065,12	20,00	133.434,42
	TOTAL	6.813,22					TOTAL	721.339,04

Área Estratégica de Gestão (AEG)	Unidade Aquífera	Área na AEG	Potencial JICA 1995		Disponibilidade na BHT		Vazão Outorgável	
			L/s/km²	m³/h/km²	L/s	m³/h	%	m³/dia
PR01 01	Caiuá	1.629,43	4,20	15,12	6.843,59	24.636,94	20,00	88.692,98
	TOTAL	1.629,43					TOTAL	88.692,98
PR02 01	Caiuá	2.919,79	4,20	15,12	12.263,12	44.147,22	20,00	158.930,00
	TOTAL	2.919,79					TOTAL	158.930,00
PR03 01	Guarani	3.185,31	12,40	44,64	39.497,83	142.192,19	10,00	255.945,95
	Serra Geral Norte	3.185,31	4,20	15,12	13.378,30	48.161,87	20,00	173.382,74
	Caiuá	74,86	4,20	15,12	314,42	1.131,92	20,00	4.074,91
	TOTAL	3.260,17					TOTAL	433.403,60
PR03 02	Guarani	1.457,21	12,40	44,64	18.069,36	65.049,68	10,00	117.089,43
	Serra Geral Norte	1.457,21	4,20	15,12	6.120,27	22.032,96	20,00	79.318,64
	TOTAL	1.457,21					TOTAL	196.408,07
PR03 03	Guarani	3.992,57	12,40	44,64	49.507,84	178.228,21	10,00	320.810,78
	Serra Geral Norte	3.992,57	4,20	15,12	16.768,79	60.367,66	20,00	217.323,57
	TOTAL	3.992,57					TOTAL	538.134,35
RB01	Pré-Cambriana	648,65	5,60	20,16	3.632,44	13.076,77	20,00	47.076,36
	Karst	565,67	8,29	29,84	4.689,39	16.879,55	20,00	60.766,39
	Paleozóico Inferior	109,82	3,60	12,96	395,34	1.423,24	20,00	5.123,67
	TOTAL	1.324,14					TOTAL	112.966,42
RB02	Pré-Cambriana	2.639,66	5,60	20,16	14.782,07	53.215,46	20,00	191.575,66
	Karst	1.904,20	8,29	29,84	15.785,81	56.821,30	20,00	204.556,67
	Paleozóica Inferior	47,05	3,60	12,96	169,38	609,76	20,00	2.195,12
	TOTAL	4.590,90					TOTAL	398.327,45
RB03	Pré-Cambriana	853,12	5,60	20,16	4.777,47	17.198,88	20,00	61.915,98
	Karst	186,64	8,29	29,84	1.547,27	5.569,42	20,00	20.049,93
	Guabirotuba	35,72	3,53	12,71	126,08	453,88	20,00	1.633,98
	TOTAL	1.075,48					TOTAL	83.599,89
RB04	Pré-Cambriana	1.586,81	5,60	20,16	8.886,15	31.990,13	20,00	115.164,49
	Karst	1.018,30	8,29	29,84	8.441,72	30.386,12	20,00	109.390,02
	TOTAL	2.605,11					TOTAL	224.554,51

Área Estratégica de Gestão (AEG)	Unidade Aquífera	Área na AEG	Potencial JICA 1995		Disponibilidade na BHT		Vazão Outorgável	
			L/s/km²	m³/h/km²	L/s	m³/h	%	m³/dia
TIA01	Pré-Cambriana	0,94	5,60	20,16	5,27	18,97	20,00	68,28
	Karst	0,05	8,29	29,84	0,41	1,48	20,00	5,33
	Paleozóica Inferior	1.000,21	3,60	12,96	3.600,76	12.962,73	20,00	46.665,82
	Paleozóica Média Superior	4.101,99	5,60	20,16	22.971,15	82.696,13	20,00	297.706,08
	Paleozóica Superior	522,82	3,60	12,96	1.882,16	6.775,76	20,00	24.392,73
	TOTAL	5.626,01					TOTAL	368.838,25
TIA02	Pré-Cambriana	329,81	5,60	20,16	1.846,91	6.648,88	20,00	23.935,96
	Karst	18,51	8,29	29,84	153,47	552,41	20,00	1.988,66
	Paleozóica Inferior	1.996,85	3,60	12,96	7.188,67	25.879,23	20,00	93.165,22
	Paleozóica Média Superior	4.368,44	5,60	20,16	24.463,25	88.067,69	20,00	317.043,68
	Paleozóica Superior	717,71	3,60	12,96	2.583,76	9.301,54	20,00	33.485,54
	TOTAL	7.431,32					TOTAL	469.619,06
TIA03	Pré-Cambriana	1.164,74	5,60	20,16	6.522,53	23.481,11	20,00	84.531,98
	Karst	69,31	8,29	29,84	574,57	2.068,18	20,00	7.445,47
	Paleozóica Inferior	1.745,05	3,60	12,96	6.282,18	22.615,85	20,00	81.417,06
	Paleozóica Média Superior	83,27	5,60	20,16	466,32	1.678,76	20,00	6.043,52
	TOTAL	3.062,37					TOTAL	179.438,03
TIB01	Paleozóica Média Superior	89,90	5,60	20,16	503,42	1.812,31	20,00	6.524,31
	Paleozóica Superior	1.621,73	3,60	12,96	5.838,22	21.017,58	20,00	75.663,29
	Guarani	2.841,39	12,40	44,64	35.233,26	126.839,74	10,00	228.311,53
	Serra Geral Norte	2.654,98	4,20	15,12	11.150,92	40.143,30	20,00	144.515,88
	TOTAL	4.553,02					TOTAL	455.015,02
TIB02	Guarani	1.152,83	12,40	44,64	14.295,11	51.462,41	10,00	92.632,34
	Serra Geral Norte	1.152,83	4,20	15,12	4.841,89	17.430,82	20,00	62.750,94
	TOTAL	1.152,83					TOTAL	155.383,29
TIB03	Paleozóica Superior	59,86	3,60	12,96	215,51	775,85	20,00	2.793,05
	Guarani	3.007,62	12,40	44,64	37.294,44	134.259,98	10,00	241.667,96
	Serra Geral Norte	2.984,79	4,20	15,12	12.536,12	45.130,03	20,00	162.468,12
	Caiuá	19,54	4,20	15,12	82,07	295,45	20,00	1.063,61
	TOTAL	3.087,02					TOTAL	407.992,73
ÁREA TOTAL		198.858,43	-	-	-	-		



Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos



Secretaria de Recursos Hídricos
e Ambiente Urbano

Ministério do
Meio Ambiente