

CAMILA DE VASCONCELOS MÜLLER

ANÁLISE HIDROGEOQUÍMICA NO MUNICÍPIO DE CURITIBA - PARANÁ

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Geologia Ambiental, Curso de Pós-Graduação em Geologia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientador:

Prof. Dr. Ernani F. da Rosa Filho

Co- Orientadores:

Prof. Dr. André Virmond Lima Bittencourt

Prof. Dr. Luiz Eduardo Mantovani

CURITIBA

2007

Muller, Camila de Vasconcelos

Análise hidrogeoquímica no município de Curitiba – Paraná / Camila de Vasconcelos Muller. – Curitiba, 2007.

xiv, 124 f.: il., tabs, grafs.

Orientador: Prof. Dr. Ernani F. da Rosa Filho

Co-orientadores: Prof. Dr. André Virmond Bittencourt

Prof. Dr. Luiz Eduardo Mantovani

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Curso de Pós-Graduação em Geologia.

Inclui Bibliografia.

1. Aquíferos - Curitiba (PR).
2. Hidrogeologia.
3. Águas subterrâneas.
4. Água – Controle de qualidade. I. Rosa Filho, Ernani Francisco da. II. Título. III. Universidade Federal do Paraná.

CDD 551.49

TERMO DE APROVAÇÃO

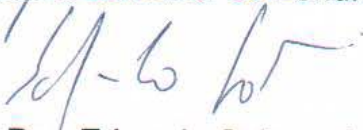
Camila de Vasconcelos Müller

“ANÁLISE HIDROGEOQUÍMICA NO MUNICÍPIO DE CURITIBA - PARANÁ”.

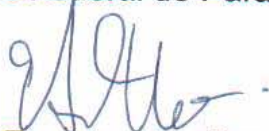
Dissertação de Mestrado aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Geologia, área de concentração em Geologia Ambiental, da Universidade Federal do Paraná, Comissão formada por:



Prof. Dr. José Paulo Peccinini Pinese
Universidade Estadual de Londrina



Prof. Dr. Eduardo Salamuni
Universidade Federal do Paraná



Prof. Dr. Ernani Francisco da Rosa Filho
Universidade Federal do Paraná
Presidente

Curitiba, 04 de junho de 2007.

“No início dos tempos, calor, fogo e convulsões em toda a massa do planeta. Mais tarde surgiram os mares, nas águas o início da vida! Nas rochas ficaram gravados os vestígios da evolução geológica. A crosta terrestre é para o geólogo como que um livro aberto, onde se pode ler a História da Terra através dos tempos!”.

João José Bigarella

AGRADECIMENTOS

Agradeço o financiamento da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Esta dissertação foi realizada com o apoio de toda a equipe do Laboratório de Pesquisas Hidrogeológicas (LPH-UFPR), especialmente acompanhada pelos geólogos: Dr. Ernani F. da Rosa Filho, Dr. André V. L. Bittencourt, Dr. Luiz E. Mantovani e Dr. Eduardo C. Hindi. Agradeço a atenção e colaboração de todos nestes anos juntos.

Agradeço também aos geólogos que contribuíram durante o desenvolvimento do trabalho como Dr. Eduardo Salamuni e M.Sc. Lílian Chavez-kus. Todas as contribuições foram e de grande valia.

Também foi imprescindível a contribuição do professor Dr. José Paulo Peccinini Pinese em sua participação durante a defesa do Título de Mestre.

Muito obrigada a todos os amigos que colaboraram para esta pesquisa e, para não esquecer ninguém, agradeço a todos através do geólogo Esp. Gustavo B. Athayde, sem o qual esta dissertação não seria realizada com tanto entusiasmo e alegria.

Os meus mais sinceros agradecimentos aos meus queridos pais Tarcísio e Elizabeth e aos meus irmãos Fabiana e Gustavo, que sempre apoiaram minha vida pessoal e profissional.

A todos muito obrigada!

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xiii
1. INTRODUÇÃO	01
2. OBJETIVOS	04
2.1 Objetivos Específicos	04
3. MATERIAL E MÉTODOS	05
3.1 Compilação de dados hidroquímicos e hidrogeológicos	05
3.1.1 Procedimentos analíticos laboratoriais	05
3.2 Aquisição e tratamento de dados para o balanço hídrico simplificado	07
3.3 Processamento dos dados hidroquímicos	08
3.4 Estatística Univariada	09
3.4.1 Histogramas	09
3.4.2 Ordenamento de dados	10
3.4.3 Percentil	10
3.4.4 Medidas de tendência central	10
3.4.5 Medidas de dispersão	11
3.4.6 Medida relativa de dispersão	11
3.4.7 Análise da forma da distribuição de uma amostra	12
3.5 Estatística Multivariada	12
3.5.1 Cálculo dos Componentes Principais	13
3.5.2 Scores e Loadings	13
3.6 Obtenção do Grid SRTM 90	14
3.7 Mapas Base	14
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	15
4.1 Clima e Balanço Hídrico	16
4.2 Geomorfologia	21
4.3 Geologia da Área	24
4.3.1 Complexo Atuba	25
4.3.2 Formação Guabirota	27
4.3.3 Depósitos aluvionares	29

5. HIDROGEOLOGIA	30
5.1 Complexo Atuba	30
5.2 Formação Guabirota	32
5.3 Depósitos aluvionares	33
5.4 Mapas Temáticos Hidrogeológicos	34
6. HIDROGEOQUÍMICA	36
6.1 Aquífero Fraturado	36
6.2 Aquífero Granular	37
6.3 Qualidade da água para irrigação	39
7. RESULTADOS	42
7.1 Classificação das águas	42
7.1.1 Águas do tipo bicarbonatadas cloretadas e cloretada-bicarbonatada	47
7.1.2 Águas tipo bicarbonatadas magnesianas	49
7.1.3 Águas do tipo bicarbonatadas sódicas	51
7.1.4 Águas bicarbonatadas cálcicas	53
7.2 Hidrogeoquímica	55
7.3 Avaliação estatística multivariada	60
7.3.1 Fator 1	64
7.3.2 Fator 2	65
7.3.3 Fator 3	67
7.3.4 Fator 4	68
7.3.5 Fator 5	70
7.3.6 Fator 6	71
7.4 Análise numérica e distribuição espacial dos dados	73
7.4.1 Bicarbonato	73
7.4.2 Carbonato	75
7.4.3 Coreto	77
7.4.4 Fluoreto	80
7.4.5 Sulfato	82
7.4.6 Nitrato	84
7.4.7 Sílica	86
7.4.8 Cálcio	89
7.4.9 Magnésio	92
7.4.10 Sódio	94
7.4.11 Potássio	97

7.4.12 Ferro total	99
7.4.13 Condutância específica	102
7.4.14 Potencial hidrogeniônico	104
7.4.15 Dureza total calculada	106
7.4.16 Sólidos totais dissolvidos	108
7.4.17 Turbidez	110
7.4.18 Vazão	113
7.5 Avaliação do “efeito antrópico” nas águas subterrâneas, o exemplo do nitrato como indício de alteração da qualidade natural das águas.	116
8. CONCLUSÃO	119
9. REFERÊNCIAS	121
ANEXO 1 – ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS	125
ANEXO 2 – DADOS HIDRODINÂMICOS	134

RESUMO

Existem dois aquíferos em Curitiba: sedimentar, representado pela Fm. Guabirota e depósitos aluvionares; cristalino/fraturado, representado pelo Complexo Atuba. Utilizando 227 análises físico-químicas, aceitando-se até 5% de DBI, foram determinados cinco tipos de águas: bicarbonatada cálcica, bicarbonatada magnésiana, bicarbonatada sódica, bicarbonatada-cloretada mista e cloretada-bicarbonatada mista. Todos os poços são mostrados no diagrama de Piper e localizados em mapa. SiO_2^- , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Mg^{+2} , STD (sólidos totais dissolvidos), cor, condutância específica e alcalinidade aumentam as concentrações em poços localizados nos aluviões. Concentrações de PO_4^{3-} , NO_3^- , Na^+ , dureza e pH aumentam em poços localizados na Fm. Guabirota. Poços situados sobre o Complexo Atuba têm as menores concentrações médias. A análise estatística multivariada, aplicada em 166 análises físico-químicas, foi suficiente para explicar mais de 73% da variação do sistema. O NO_3^- e Cl^- explicam juntos 8,16% da variância e, mostram influência da atividade antrópica na qualidade da água subterrânea. F^- and SO_4^{2-} são responsáveis juntos por 7,25% da variação total. Na maioria dos poços os parâmetros não excederam o limite de máximo de referência, estabelecido pela Portaria nº 518 do Ministério da Saúde. Alguns poços localizados na Regional da Matriz têm parâmetros acima do limite estabelecido. Uma nova campanha de campo e análise periódicas dos parâmetros são necessárias para o gerenciamento destes recursos.

Palavras chaves: Aquífero; Curitiba, hidrogeoquímica; multivariada; contaminação.

ABSTRACT

Curitiba have two aquifers: a sedimentary, represented for Fm. Guabirota and alluviums deposits and, a crystalline/fractured one, represented by Atuba Complex. Using 227 physical-chemistries water analyses, accepted 5% of DBI, five water types were determined: bicarbonated calcium, bicarbonated magnesium, bicarbonates sodium, bicarbonated chloride mixing and chloride-bicarbonated mixing. All wells are showing in Piper diagrams and located in map. SiO_2^- , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Mg^{+2} , TSD (total solids dissolved), color, specific conductance and alkalinity concentrations increase in wells performed at alluviums sites. Concentrations of PO_4^{3-} , NO_3^- , Na^+ , hardness and acidity raised in the wells performed Fm. Guabirota. Wells situated on Atuba Complex have the lowest average physical-chemistries concentrations. A multivariate statistical analysis was applied in 166 analyses physical-chemistries, being enough to explain more than 73% of total variation of the system. The NO_3^- and Cl^- explain together 8,16% of total variance and, show the human activities influence in the groundwater quality, F^- and SO_4^{2-} are the responsible together for 7,25% of the total variance. Most of studied wells parameters not exceed the maximum reference law limits, Portaria nº 518 of the Health department. Some wells parameters, mainly at Regional Matriz, are above when compare with referencial limits. A new site campaign, sampling water to evaluate the current quality parameters is necessary to management this resource.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Vazamento de esgoto escoando diretamente para galeria pluvial, rua Aflílio Bório, bairro Cristo Rei, em Curitiba.	02
Figura 3.1 - Mapa com a localização dos poços estudados.	06
Figura 4.1 - Mapa de Localização acessos, e divisão regional adotada pela SMMA.	16
Figura 4.2 – Mapa com a Classificação Climática, segundo Köppen	17
Figura 4.3 - Distribuição percentual dos meses com excedentes hídricos no período entre janeiro de 1961 e dezembro de 2005. Os dados de precipitação e temperatura utilizados no cálculo provêm da estação meteorológica do Centro Politécnico de Curitiba, cedidas pelo INMET.	19
Figura 4.4 - Relação entre a distribuição percentual dos meses com excedentes hídricos e a precipitação mensal média no período entre janeiro de 1961 e dezembro de 2005. Os dados de precipitação utilizados provêm da estação meteorológica do Centro Politécnico de Curitiba, cedidas pelo INMET.	20
Figura 4.5 - Saldo hídrico anual acumulado no Centro Politécnico, Curitiba PR, para o período de janeiro de 1961 a dezembro de 2005. Os dados de precipitação e temperatura utilizados no cálculo provêm da estação meteorológica do Centro Politécnico de Curitiba, cedidas pelo INMET.	20
Figura 4.6 - Mapa das bacias hidrográficas e rede de drenagem do Município de Curitiba.	22
Figura 4.7 - Mapa hipsométrico sobreposto a MDE do Município de Curitiba.	23
Figura 4.8 - Mapa geológico do Município de Curitiba. Fonte: Salamuni,E.; Salamuni,R.; Ebert,H.D. (1999).	25
Figura 4.9 - Milonito com fenoblastos lenticulares de FK com 05 milímetros, estiramento de quartzo em níveis milimétricos. Pedreira Marc UTM: W683839 e S7156322.	27
Figura 4.10 - Estria de atrito formada por tectônica de alto ângulo. Pedreira Central em Curitiba. UTM: W662412 e S7187387.	27
Figura 4.11 - Formação Guabirota com camada de 40 cm de areia grossa sobre siltito com espessura de 10 cm. Rua Antonio Buso, em frente à estação da COPEL, bairro Cajuru, coordenadas UTM: W680217, S7181325.	28
Figura 4.12 – Pelitos que gradam para lentes de areia intercaladas com bancos de calcrete (caliche). UTM: W666777 , S7177785.	29

Figura 4.13 - Formação Guabirotuba com lentes de areia grossa intercaladas por silte pastilhado. Rua Antonio Buso, em frente à estação da COPEL, bairro Cajuru, coordenadas UTM: W680217, S7181325.	29
Figura 5.1 - Percolação de água em rochas fraturadas do Complexo Atuba na Pedreira Marc. UTM: W683839 e S7156322.	31
Figura 5.2 - Mapa do contorno estrutural do topo do aquífero cristalino (Complexo Atuba). Fonte dos dados: Chavez-Kus, 2007 (Doutorado em andamento).	32
Figura 5.3 - Mapa de isópacas do aquífero granular. Fonte dos dados: Chavez-Kus, 2007 (Doutorado em andamento).	34
Figura 5.4 – Mapa da altitude do nível dinâmico.	35
Figura 6.1 - Gráfico de Wilcox indicando a qualidade da água para o Aquífero Cristalino (Pré-Cambriano). Fonte: Rosa Filho E. F e Hindi E. C. (2006).	41
Figura 6.2 - Gráfico de Wilcox indicando a qualidade da água para o Aquífero Guabirotuba. Fonte: Rosa Filho E. F e Hindi E. C. (2006).	41
Figura 7.1- Classificação das águas subterrâneas do Município de Curitiba, em porcentagem de poços tubulares analisados.	42
Figura 7.2 - Diagrama de Piper com 227 amostras de água subterrânea em Curitiba.	43
Figura 7.3- Diagrama de Piper com valores de mediana correspondentes aos 5 principais tipos de águas subterrâneas do Município de Curitiba.	43
Figura 7.4- Diagrama de Stiff com valores de mediana correspondentes aos 5 principais tipos de águas subterrâneas do Município de Curitiba.	44
Figura 7.5 – A distribuição espacial dos tipos de águas: Bicarbonatada cálcica, bicarbonatada sódica, bicarbonatada magnesiana, bicarbonatada-cloretada mista e cloretada-bicarbonatada mista.	46
Figura 7.6 – Relação cloreto-nitrato para as águas bicarbonatadas cloretadas e cloretada-bicarbonatada.	47
Figura 7.7 – Águas bicarbonatadas cloretadas mistas e cloretada-bicarbonatada mista.	48
Figura 7.8 – Diagrama de Piper para as águas bicarbonatadas cloretadas e cloretada-bicarbonatada mista.	49
Figura 7.9 – Águas bicarbonatadas magnesianas.	50

Figura 7.10 – Diagrama de Piper para as águas bicarbonatadas magnesianas.	51
Figura 7.11 – Águas bicarbonatadas sódicas.	52
Figura 7.12 – Diagrama de Piper para as águas bicarbonatadas sódicas.	53
Figura 7.13 – Águas bicarbonatadas cálcicas.	54
Figura 7.14 – Diagrama de Piper para as águas bicarbonatadas cálcicas.	55
Figura 7.15- Poço locado sobre o Complexo Atuba, com captação no aquífero fraturado. 2- Poço locado sobre a Fm. Guabirota, com captação no aquífero fraturado. 3- Poço locado sobre a Fm. Guabirota, com captação mista (aquíferos fraturado e granular). 4- Poço locado sobre a Fm. Guabirota, com captação no aquífero granular. 5 Poço locado sobre os Depósitos aluvionares, com captação mista (aquíferos fraturado e granular). 6- Poço locado sobre os Depósitos aluvionares, com captação no aquíferos fraturado. Perfil hipotético e sem escala.	56
Figura 7.16 - Gráficos com as relações entre as concentrações físico e/ou químicas dos parâmetros sílica, bicarbonato, carbonato, cloreto, sulfato, magnésio, sólidos totais dissolvidos calculados, cor, condutância específica e alcalinidade versus a unidade geológica local.	58
Figura 7.17 - Gráficos com as relações entre as concentrações físico-químicas dos parâmetros fosfato, nitrato, sódio, dureza medida e acidez, versus a unidade geológica local.	59
Figura 7.18 – Fluxograma com as etapas da análise estatística multivariada	63
Figura 7.19- Distribuição espacial do Fator 1 , separada em três intervalos de classes.	64
Figura 7.20- Distribuição espacial do Fator 2 , separada em três intervalos de classes.	66
Figura 7.21- Distribuição espacial do Fator 3 , separada em três intervalos de classes.	67
Figura 7.22- Distribuição espacial do Fator 4 , separada em três intervalos de classes.	69
Figura 7.23- Distribuição espacial do Fator 5 , separada em três intervalos de classes.	70
Figura 7.24- Distribuição espacial do Fator 6 , separada em três intervalos de classes.	72
Figura 7.25 - Mapa com a distribuição espacial do isoteores de HCO_3^- .	74
Figura 7.26 - Estatística univariada do íon HCO_3^- .	75
Figura 7.27 - Mapa com a distribuição espacial das isoteores do CO_3^{2-} .	76

Figura 7.28 - Estatística univariada do CO_3^{-2} .	77
Figura 7.29 - Mapa com a distribuição espacial das isotores do Cl^- .	79
Figura 7.30 - Estatística univariada do Cl^- .	80
Figura 7.31 - Mapa com a distribuição espacial das isotores do F^- .	81
Figura 7.32 - Estatística univariada do F^- .	82
Figura 7.33 - Mapa com a distribuição espacial das isotores do SO_4^{-2} .	83
Figura 7.34 – Estatística univariada do SO_4^{-2} .	84
Figura 7.35 - Mapa com a distribuição espacial das iso-concentrações do NO_3^- .	85
Figura 7.36 - Estatística univariada do NO_3^- .	86
Figura 7.37 - Mapa com a distribuição espacial das isotores do SiO_2^- .	88
Figura 7.38 - Estatística univariada da SiO_2^- .	89
Figura 7.39 - Mapa com a distribuição espacial das isotores do Ca^{+2} .	91
Figura 7.40 - Estatística univariada do Ca^{+2} .	92
Figura 7.41 - Mapa com a distribuição espacial das isotores do Mg^{+2} .	93
Figura 7.42- Estatística univariada do Magnésio.	94
Figura 7.43 – Mapa com a distribuição espacial das isotores do Na^+ .	96
Figura 7.44 - Estatística univariada do Na^+ .	97
Figura 7.45 - Mapa com a distribuição espacial dos isotores do K^+ .	98
Figura 7.46 - Estatística univariada do cátion K^+ .	99
Figura 7.47 - Mapa com a distribuição espacial dos isotores de Ferro total.	101
Figura 7.48 - Estatística univariada do cátion Ferro total.	102
Figura 7.49 - Mapa com a distribuição espacial dos iso-valores da condutância específica.	103
Figura 7.50 - Estatística univariada da Condutância Específica.	104
Figura 7.51 - Mapa com a distribuição espacial dos iso-valores do pH.	105
Figura 7.52 - Estatística univariada do pH.	106
Figura 7.53 - Mapa com a distribuição espacial das isotores da dureza calculada.	107
Figura 7.54 - Estatística univariada da dureza calculada.	108

Figura 7.55 - Mapa com a distribuição espacial das isoteores dos STD calculados.	109
Figura 7.56 - Estatística univariada dos STD calculados.	110
Figura 7.57 - Mapa com a distribuição espacial das isovalores da turbidez (UNT).	112
Figura 7.58 - Estatística univariada da turbidez.	113
Figura 7.59 – Mapa com a distribuição espacial dos iso-valores da vazão.	114
Figura 7.60 – Mapa com a distribuição espacial dos iso-valores da vazão.	115
Figura 7.61 - Estatística univariada da vazão dos poços.	116
Figura 7.62- Divisão regional do município de Curitiba, com destaque, em cinza, para a regional da matriz.	117
Figura 6.63- Modelo esquemático da degradação das águas na regional da matriz, Município de Curitiba.	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1- Parâmetros analisados e métodos analíticos conforme a rotina do TECPAR e LPH.	07
Tabela 4.1 - Coluna estratigráfica da Bacia de Curitiba. Fonte: Salamuni E., (2005).	24
Tabela 6.1 - Origem dos constituintes principais das águas subterrâneas (Adaptado de BERNER & BERNER, 1987). Fonte: Gonçalves e Giampá (2006).	36
Tabela 6.2 - Resumo estatístico dos parâmetros químicos da água do aquífero Cristalino. Fonte: Rosa Filho e Hindi, 2006.	37
Tabela 6.3 - Resumo estatístico dos parâmetros químicos da água do aquífero Guabirota. Fonte: Rosa Filho e Hindi, 2006.	39
Tabela 7.1 - Concentrações médias e medianas das águas: bicarbonatada cálcica, bicarbonatada sódica, bicarbonatada magnesiana, bicarbonatada-cloretada e cloretada-bicarbonatada magnesiana-sódica.	45
Tabela 7.2- Matriz de covariância das variáveis avaliadas.	60
Tabela 7.3 – Contribuição de cada componente principal para a variabilidade global.	61
Tabela 7.4- <i>Loading factors</i> das variáveis que compõem os seis componentes principais.	61
Tabela 7.5- Análise físico-química ou amostra 1 do total de 166. Os valores estão em mg/L, exceto o pH.	62
Tabela 7.6- Valores médios e medianos das 15 variáveis, separadas em três intervalos de classes, dentro do Fator 1.	65

Tabela 7.7- Valores médios e medianos das 15 variáveis, separadas em três intervalos de classes, dentro do Fator 2.	66
Tabela 7.8- Valores médios e medianos das 15 variáveis, separadas em três intervalos de classes, dentro do Fator 3.	68
Tabela 7.9- Valores médios e medianos das 15 variáveis, separadas em três intervalos de classes, dentro do Fator 4.	69
Tabela 7.10- Valores médios e medianos das 15 variáveis, separadas em três intervalos de classes, dentro do Fator 5.	71
Tabela 7.11- Valores médios e medianos das 15 variáveis, separadas em três intervalos de classes, dentro do Fator 6.	72

1. INTRODUÇÃO

Sucessivos períodos prolongados de estiagem ocorridos nos últimos anos, o aumento da demanda para consumo e a elevada poluição dos recursos hídricos superficiais dão a medida da importância dos recursos hídricos subterrâneos para o Município de Curitiba.

Os mananciais captados na Serra do Mar, com produção da ordem de 120 L/s (432 m³/h), foram suficientes para abastecer Curitiba até o ano de 1945. Em 1968 iniciou-se a captação junto ao rio Iguaçu, e em 1978 e 1982 foram construídas as barragens de Piraquara I e Passaúna, respectivamente (SANEPAR, 2005).

Atualmente, o abastecimento de Curitiba, assim como na maioria das cidades que compreendem a Região Metropolitana de Curitiba (RMC), é feito pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). As captações são feitas pelo Sistema do Altíssimo Iguaçu (Pólo de Produção do Iraí e Pólo de Produção do Iguaçu), Pólo de Produção do Passaúna e também por poços tubulares profundos que captam 120 L/s de água nos poços situados no aquífero Karst e no aquífero Fraturado (Complexo Atuba).

Os três pólos de produção de água que abastecem o município de Curitiba e Região Metropolitana, Pólo de produção do Iraí, Pólo de produção do Iguaçu e Pólo de produção do Passaúna, totalizam 9,1 m³/s (SANEPAR, 2005).

Todos os rios do município de Curitiba integram a Bacia do Alto Iguaçu. Este sistema fluvial apresenta uma evolução da qualidade de suas águas superficiais classificadas como “poluídas” tendendo a “muito poluídas” (IAP, 2005).

Considerando que a cota per capita de água usada pela SANEPAR é de aproximadamente 200 L/habitante/dia, a demanda total de água para a população de Curitiba, calculada para 1.7997.408 habitantes (IBGE, 2007), é de pouco mais de 4 m³/s. Existe ainda, a demanda dos postos de serviços em geral, como hospitais, shoppings, clubes, academias, restaurantes, escolas, parques, hotéis, motéis, fábricas e indústrias.

Os vazamentos na rede de distribuição das 27 capitais brasileiras causam perdas de aproximadamente 45% do total retirado diariamente dos mananciais que as abastecem (ISA, 2007). Há uma estimativa, com base na diferença entre o volume de água tratada fornecida e o volume de água cobrada, de 40% de perda durante o abastecimento público dos Municípios da RMC (Dalarmi, 1995). Este volume perdido serviria, em parte, para a recarga das águas subterrâneas.

Cabe ressaltar que, a recarga natural dos aquíferos ocorre pela precipitação, com a infiltração de água no solo. A magnitude da recarga depende das condições que são impostas pelas formas de uso e ocupação do território. Os processos de infiltração e

recarga dos aquíferos são dificultados pelo crescimento urbano e impermeabilização do solo nas cidades.

Da mesma forma que ocorrem as perdas durante a distribuição de água, deve-se esperar que haja perda de efluentes por vazamentos na rede pública de esgoto e, nas drenagens retificadas ou canalizadas que atravessam a cidade. No entanto, não há qualquer dado sobre o volume que, possivelmente estaria infiltrando e recarregando os aquíferos subjacentes (Figura 1.1).



Figura 1.1 - Vazamento de efluentes domésticos, escoando diretamente para galeria pluvial, rua Atilio Bório, bairro Cristo Rei, em Curitiba.

Parte da demanda hídrica do Município de Curitiba é suprida por aproximadamente 1500 poços tubulares profundos particulares, porém existem poucos estudos hidrogeoquímicos, qualitativos ou quantitativos no município.

Para abastecer condomínios e postos de serviço em geral, são perfurados poços tubulares profundos sobre sedimentos quaternários, terciários, rochas mesozóicas e rochas do embasamento.

Sendo assim, o perfil construtivo do poço tubular profundo e a análise físico-química correspondente, informam a influência das diferentes unidades geológicas na água subterrânea de Curitiba.

A falta de um banco de dados completo, com informações disponíveis sobre perfis litológicos, perfis construtivos, análises físico-químicas e coordenadas de um mesmo poço, não permite distinguir a água subterrânea proveniente dos sedimentos terciário (Formação Guabirotuba), da água proveniente do embasamento (Complexo Atuba).

No município de Curitiba, ao menos 90% das águas subterrâneas analisadas nesta pesquisa, provêm exclusivamente do Complexo Atuba, que se constitui em aquífero fraturado. A perfuração até esta unidade aquífera pode ocorrer de várias maneiras:

- ultrapassando os sedimentos quaternários e terciários (depósitos aluvionares e Formação Guabirota).
- ultrapassando apenas os sedimentos terciários (Formação Guabirota).
- diretamente sobre as rochas ígneas e metamórficas do Complexo Atuba.

No primeiro e segundo caso, os poços tubulares profundos devem apresentar revestimento até atingir o Complexo Atuba, para evitar entradas de água das camadas superiores. No terceiro caso não há necessidade de revestir o poço.

A fim de se obter maiores vazões, alguns poços apresentam um segmento de filtro na porção alterada do Complexo Atuba, ou nas lentes arcossianas dos sedimentos terciários da Fm. Guabirota. Nestas situações, ocorre a mistura de água de dois níveis, um relacionado ao aquífero granular e outro ao aquífero fraturado.

Algumas análises físico-químicas de águas coletadas em poços tubulares profundos usados para abastecimento privado em Curitiba, apresentaram concentrações dos parâmetros turbidez, cor, pH, NO_3^- e ferro total acima dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 518 do Ministério da Saúde (Brasil, 2004).

Esses valores elevados podem ser indícios de poços mal construídos, infiltração de águas superficiais de baixa qualidade provenientes da rede de drenagem, atividades antrópicas, possíveis vazamentos na rede de esgoto ou a falta deste. Segundo dados do ISA (2007) menos de 50% da população das capitais tem seu esgoto tratado.

Os poços tubulares profundos situados nas imediações destes locais devem ser monitorados com maior frequência, buscando identificar possíveis alterações na qualidade das águas.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é determinar a tipologia, analisar a variação espacial do quimismo das águas e, identificar possíveis contaminações antrópicas nas águas subterrâneas do Município de Curitiba.

2.1 Objetivos Específicos

- Classificar a água subterrânea através da composição química por íons predominantes.
- Analisar e representar os parâmetros físicos e químicos considerados mais representativos das amostras de água em mapas de isovalores.
- Identificar anomalias nos parâmetros físico-químicos que possam significar a degradação da qualidade da água.
- Relacionar as concentrações e anomalias físico-químicas com a geologia, geomorfologia, drenagens ou possíveis influências antrópicas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Compilação de dados hidroquímicos e hidrogeológicos

Na confecção do banco de dados utilizados nesta dissertação, foram catalogados e georreferenciados 227 análises físico-químicas (Anexo 1):

- 91 laudos analíticos provenientes do acervo de análises físico-químicas do LPH (Laboratório de Pesquisas Hidrogeológicas - UFPR);
- 45 análises físico-químicas de Nogueira (1997);
- 91 análises compiladas dos bancos de dados da SUDERHSA (Superintendência de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) e do Geólogo Marcelus Vinicius Klinguelfus Borges.

Foram cedidos, pela Geóloga Lílian Chavez-Kus (Doutorado em andamento na UFPR), 660 dados de poços com as coordenadas X, Y, Z e topo do Complexo Atuba no Município de Curitiba. A partir destas informações foram elaborados os mapas do contorno estrutural do topo do aquífero fraturado e, da isópaca do aquífero granular.

Foram também catalogados e georreferenciados 131 poços outorgados pela SUREHMA (1989) com dados de vazão, nível estático, nível dinâmico e profundidade dos poços (Anexo 2).

A distribuição espacial dos poços tubulares profundos pode ser visualizada na figura 3.1.

3.1.1 Procedimentos analíticos laboratoriais

O estudo do equilíbrio termodinâmico entre os minerais e a água, bem como a classificação da água quanto ao seu conteúdo iônico, dependem de análises físico-químicas que representem fielmente a composição da água no seu estado natural, dissolvidas na água na forma de íons simples ou complexos (Hindi, 1999).

As concentrações totais das espécies iônicas e dos parâmetros físicos foram determinadas conforme descrito na tabela 3.1.

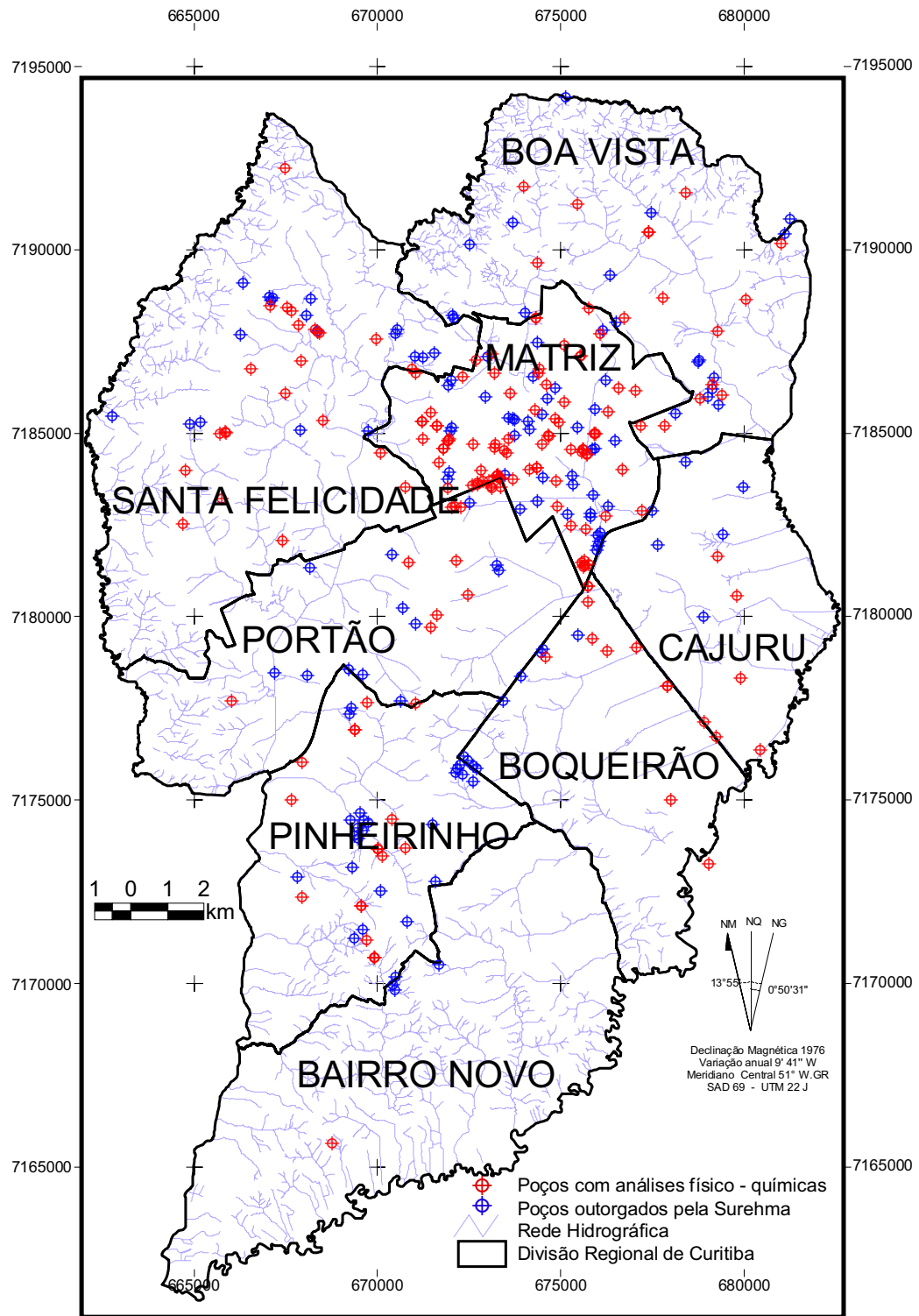


Figura 3.1 - Mapa com a localização dos poços estudados.

Tabela 3.1- Parâmetros analisados e métodos analíticos conforme a rotina do TECPAR e LPH.

Parâmetro	Método Analítico TECPAR	Método Analítico LPH
pH	Potenciometria	Potenciométrico
Condutividade	Condutimetria	-
Turbidez	Turbidimetria	Método Nefelométrico
Cor	Espectrofotometria do visível	Colorímetro
Cloretos	Potenciometria com eletrodos de íons seletivos	Titulométrico - <i>Nitrato de mercúrio</i>
Sulfatos	Turbidimetria	Turbidimétrico
Fluoretos	Potenciometria com eletrodos de íons seletivos	Colorimétrico - <i>Spadnss</i>
Fosfatos	não informado	Colorimétrico - <i>Ácido Ascórbico</i>
Nitritos	não informado	Colorimétrico
Nitratos	Colorimetria	Redução pelo Cádmiio
Nitrogênio total	não informado	<i>Kjeldahl</i>
Nitrogênio orgânico	não informado	
Nitrogênio amoniacal	não informado	<i>Fenato</i>
Sólidos Totais	Gravimetria	Gravimétrico
Sólidos Suspensos	Gravimetria	
Sólidos Totais Dissolvidos	não informado	
Alcalinidade Total	Volumetria	Titulométrico
Alcalinidade à fenolftaleína	não informado	
Carbonatos	Volumetria	
Bicarbonatos	Volumetria	
Hidróxidos	não informado	
Dióxido de Carbono livre	Volumetria	Titulométrico
Acidez	não informado	
Dureza	Complexometria com EDTA	Titulométrico - EDTA
Cálcio	Complexometria com EDTA	Titulométrico - EDTA
Magnésio	Complexometria com EDTA	Titulométrico - EDTA
Sódio	Fotometria de chama	Emissão de chama
Potássio	Fotometria de chama	Emissão de chama
Ferro total	Espectrofotometria de emissão óptica com plasma	<i>Fenantrolina</i>
Sílica solúvel	Espectrofotometria do UV/VIS	<i>Molibdato</i>

3.2 Aquisição e tratamento de dados para o balanço hídrico simplificado

Dados de precipitação e temperatura registrados na Estação Meteorológica do Centro Politécnico em Curitiba, período de janeiro de 1961 a dezembro de 2005 (INMET, 2006), foram utilizados para o cálculo do balanço hídrico climatológico.

O método será explicado no Capítulo 4, item 4.1 referente ao Clima e Balanço Hídrico.

3.3 Processamento dos dados hidroquímicos

Foram selecionados apenas os laudos analíticos que apresentaram o rol mínimo de 32 parâmetros da rotina laboratorial do LPH. A consistência e qualidade dos dados foram avaliadas com base na Diferença de Balanço Iônico (DBI), que mede a diferença relativa entre as concentrações de cátions e ânions expressa em meq/L, aceitando-se diferenças de até 5%.

A diferença de balanço iônico foi calculada após a transformação de unidade das concentrações de mg/L para mEq/L.

Esta transformação obedece a regra de Stabler, definida pela equação:

$$\text{mEq/L} = \frac{\text{concentração em mg/L ou ppm} \div \text{Peso atômico do elemento}}{\text{número de oxidação}}$$

A diferença do balanço iônico é dado pela seguinte fórmula:

$$\text{DBI} = \Sigma \text{cátions} - \Sigma \text{ânions} / \Sigma \text{cátions} + \Sigma \text{ânions}$$

Foi calculada a concentração da dureza conforme Tood (1959), onde o teor de cálcio e magnésio, expresso em carbonato de cálcio é calculado pela seguinte equação:

$$\text{Dureza} = [\text{Ca}^{+2}] \cdot \frac{(\text{CaCO}_3)}{(\text{Ca})} + [\text{Mg}^{+2}] \cdot \frac{(\text{CaCO}_3)}{(\text{Mg})}$$

$$\text{Dureza} = 2,497 [\text{Ca}^{+2}] + 4,115 [\text{Mg}^{+2}]$$

Os sólidos totais dissolvidos foram calculados, somando, para cada amostra, o resultado do somatório dos cátions, com o somatório dos ânions e a concentração da sílica. Deste resultado subtraiu-se a metade da concentração do bicarbonato:

$$\text{STD} = (\Sigma \text{cátions} + \Sigma \text{ânions} + \text{SiO}_2) - \text{HCO}_3^- / 2$$

Os dados validados foram submetidos a análises estatísticas univariadas para determinação de parâmetros descritivos e do tipo de distribuição dos dados.

Após a análise exploratória univariada, a tipologia das águas foi determinada com base na predominância dos cátions e ânions principais, com o auxílio dos diagramas de Piper (1944) e Stiff (1951).

O diagrama triangular de Piper é usado para classificar e representar graficamente o tipo químico da água subterrânea, de acordo com a espécie predominante, e também, para definir a evolução química das águas.

Nesse diagrama, distinguem-se três campos com os dados plotados em % mEq/L:

- campo dos cátions, $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Ca^{2+} e Mg^{2+}
- campo dos ânions, Cl^- , SO_4^{2-} e $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$
- campo dos resultados, onde os pontos encontrados nos campos anteriores são projetados.

O cruzamento do prolongamento dos dois pontos (campo dos cátions e campo dos ânions), define a posição do ponto no campo dos resultados.

O diagrama de Stiff é utilizado para uma comparação qualitativa de águas, onde são usados quatro eixos horizontais paralelos, estendidos para ambos os lados de um eixo vertical zero. As concentrações de quatro cátions e de quatro ânions, em meq/L, são plotadas em cada eixo a esquerda e a direita, respectivamente, e os pontos resultantes são conectados formando um polígono.

Outra forma prática e eficiente de obter informações de um elemento químico é agrupá-lo considerando as repetições de cada poço tubular profundo. Estas informações podem ser adquiridas através das tabelas de frequências absolutas, relativas, acumuladas absolutas e acumuladas relativas.

Para avaliar a distribuição espacial de parâmetros físico-químicos, que variam sistematicamente no espaço, foram traçados mapas de isoconcentrações e/ou isovalores, na escala aproximada de 1:230.000.

3.4 Estatística Univariada

3.4.1 Histogramas

O histograma é um gráfico de barras verticais que permite visualizar tabelas de frequências de uma amostra ou variável.

A quantidade de classes foi determinada conforme a Regra de Storges:

$$K = 1 + 3,322 \log (N),$$

onde (N) corresponde tamanho da amostra.

A amplitude de cada classe foi calculada pela Regra de Lepeltier:

$$A = \text{Log } T - \log t / K,$$

ou seja, a amplitude (A) é o resultado da diferença entre o logaritmo do maior valor da variável (Log T) e o logaritmo do menor valor da mesma variável (log t), dividido pela quantidade de classes calculadas.

3.4.2 Ordenamento de dados

Com o objetivo de trabalhar com as posições relativas dos dados ordenados e também mostrar a tendência destes dados de se agruparem ao redor de um ponto central, foram estudadas as medidas de ordenamento e as medidas de posição, as quais são denominadas como medidas de tendência central.

Medidas de ordenamento e medidas de posição são métodos para analisar os valores de uma série de dados numéricos, seja uma amostra ou a própria população, denominados como medidas de tendência central.

É conveniente dispor de um procedimento que, mantendo o ordenamento crescente dos dados da amostra e a associação com os números naturais, tenha uma mesma medida e permita realizar comparações (Lapponi, 2005).

3.4.3 Percentil

Em um gráfico crescente os valores da escala de ordenada são denominados de percentil, sendo que o menor valor do percentil é 0% e o maior valor é 100% e com os valores ordenados em forma crescente no eixo das abscissas, dispõem-se de uma relação entre uma escala de 0% a 100% e a série de números naturais que representam uma série de dados quantitativos ou amostrados (Lapponi, 2005).

3.4.4 Medidas de tendência central

Se a média é maior que a mediana, que por sua vez é maior que a moda, tem-se uma distribuição inclinada para a direita, inclinação direita ou positiva.

De forma equivalente, a distribuição tem inclinação para a esquerda ou negativa quando a média é menor que a mediana, que por sua vez é menor que a moda.

Quanto mais os valores da média e da mediana se afastarem, maior será a inclinação da distribuição na direção de uma das caudas do histograma.

3.4.5 Medidas de dispersão

Através da primeira propriedade da média, tem-se que a soma dos desvios (valor observado menos a média) de uma amostra ou variável é sempre igual a zero. Portanto, a tentativa inicial de quantificar a variabilidade da amostra é calcular a soma de todos os desvios.

O desvio como medida de variabilidade, utiliza a média dos valores absolutos, denominado desvio absoluto médio (DAM) (Lapponi, 2005).

A segunda propriedade da média diz que a soma dos quadrados dos desvios com relação a própria média de uma variável é sempre um valor mínimo.

Para medir a variabilidade ou variância de uma amostra, utiliza-se a soma dos quadrados dos desvios, pois o resultado é um valor mínimo.

Neste estudo as variáveis são amostras e não populações, portanto define-se a variância da variável X da amostra contendo N dados, como:

$$S^2_x = ((X_1 - \bar{x})^2 + (X_2 - \bar{x})^2 + \dots + (X_n - \bar{x})^2) / n - 1$$

Onde; \bar{x} corresponde a média da variável X.

O desvio padrão (S) da amostra é igual a raiz quadrada da variância:

$$S_x = \sqrt{S^2_x}$$

e, quanto menor o desvio padrão, mais os valores da variável se aproximam de sua média e vice-versa.

3.4.6 Medida relativa de dispersão

O coeficiente de variação (CV) é dado pela relação entre o desvio padrão da variável e sua média.

Esta medida permite a comparação de distribuições, pois seu resultado é o desvio padrão por unidade de média que, em geral, é representado em porcentagem (%), sendo que a variável com menor CV tem menor dispersão ou variabilidade (Lapponi, 2005).

Em uma população normal o coeficiente de variação é menor que 0,4; entre 0,4 e 0,6 não há consenso entre os estatísticos. Em uma população lognormal este coeficiente é maior que 0,6 e, se maior que 1,2, a população segue a distribuição de Sichel (Biondi, 2004).

3.4.7 Análise da forma da distribuição de uma amostra

A inclinação de uma distribuição é medida pelo coeficiente de inclinação da distribuição.

O coeficiente de curtose compara a distribuição de frequências da amostra com a distribuição normal.

O resultado positivo do coeficiente de curtose mostra que a distribuição de frequências está concentrada ao redor da média. Se negativo, o resultado da distribuição é achatada, plana e, se for igual a zero, a distribuição é normal (Lapponi, 2005).

3.5 Estatística Multivariada

A assinatura geoquímica é de grande complexidade, já que foi construída pela integração e superposição de fatores naturais e antrópicos. Resulta do somatório de um complexo e variado conjunto de formas de ocorrência dos elementos, provenientes de fontes naturais: litotipos, estruturas geológicas; ou artificiais: uso do solo, depósito de resíduos sólidos urbanos, efluentes industriais (Licht, 2001).

No caso de uma única variável ter sido medida em indivíduos de uma amostra, no sentido estatístico, a análise de tais dados é feita por intermédio da estatística univariada.

Se os valores de diversas variáveis forem obtidos em cada um dos indivíduos dessa mesma amostra, as técnicas para a análise desses dados são fornecidas pela estatística multivariada ou multidimensional.

A Análise de Componentes Principais (PCA) é uma técnica da estatística multivariada que, visa resumir o comportamento de um processo descrito por dezenas de variáveis em um número muito menor de variáveis, reduz a ordem de um problema, determinando um número menor de variáveis que descreve um determinado conjunto de dados (Seixas Filho *et al.*, 2006).

É possível reduzir o número de dimensões de um conjunto de dados através da correlação entre as variáveis do sistema, o que torna redundante a informação contida nesses dados. Um pequeno número de variáveis pode ser suficiente para explicar a maior parte da variação estatísticas deste conjunto de dados.

A técnica de PCA consiste em escolher um novo conjunto de coordenadas de tal forma que a direção de maior variabilidade fique alinhada com a primeira nova coordenada, chamada primeira componente principal, a segunda direção de maior variabilidade fique alinhada com a segunda componente principal e assim por diante (Seixas Filho *et al.*, 2006).

Para concluir sobre a contribuição de uma variável na variabilidade geral do sistema, todas as variáveis devem ser normalizadas para média 0 e variância 1. Isso evita que variáveis que tenham uma grande magnitude em relação às demais, devido à diferença de escala ou unidade, possam dar a aparência de que contribuem muito para a variabilidade total do sistema (Seixas Filho *et al.*, 2006).

A normalização dos dados é conseguida subtraindo-se o valor da variável pela média dos valores da variável e, dividindo o resultado pelo desvio-padrão da variável.

Depois de normalizar os dados, as componentes principais passam a corresponder a uma rotação das coordenadas originais. Representar os dados no novo conjunto de coordenadas corresponde a projetar os dados originais nas componentes principais, o que vale realizar uma rotação no conjunto de dados originais (Seixas Filho *et al.*, 2006).

Para a análise multivariada dos dados hidroquímicos foram utilizadas as versões 6.0 e 7.0 do programa STATISTICA.

3.5.1 Cálculo dos Componentes Principais

Dada uma tabela, calcula-se a matriz de covariância, de preferência depois da normalização dos dados. A matriz de covariância é simétrica e mostra a influência de uma variável sobre a outra. No caso de dados normalizados, a matriz de covariância corresponde à matriz correlação e os elementos da diagonal são todos iguais a 1 (Seixas Filho *et al.*, 2006).

As direções de máxima variância são dadas pelos autovalores da matriz de covariância. Os autovalores fornecem o percentual da variância total associado à nova variável. A soma dos autovalores será igual à variância total.

3.5.2 Scores e Loadings

Os scores correspondem às projeções dos pontos originais no novo sistema de coordenadas formado pelos componentes principais. O score de um ponto em relação a uma componente principal correspondente à distância da origem até a projeção do ponto naquela componente (Seixas Filho *et al.*, 2006).

Loadings são os vetores unitários que dão as direções das componentes principais. Os coeficientes destes vetores são chamados de *loading factors* e representam a correlação entre a variável e a componente principal. Ou seja, através dos

loading factors pode-se quantificar o peso que a variável exerce naquela componente (Seixas Filho *et al.*, 2006).

3.6 Obtenção do *Grid SRTM 90*

Os dados numéricos utilizados para a confecção do Modelo Digital de Elevação e do mapa hipsométrico (Figura 4.6) foram obtidos via *Internet* (USGS, 2006), em grade formato *.bil*, para toda a exposição da área de estudo.

O projeto SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), é uma missão conjunta entre NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), NIMA (*National Imagery Agency*), DLR (*Das Deutsche Zentrum Für Luft- and Raumfahrt* - agência espacial alemã) e ASI (*Agenzia Spaziale Italiana*), que tem por objetivo gerar um modelo digital de elevação para cerca de 80% das áreas continentais do planeta.

As grades originais são fornecidas em graus decimais no datum WGS84, com resolução horizontal reduzida para aproximadamente 90 metros (SRTM90).

3.7 Mapas Base

Para o presente estudo, foi utilizado o Mapa Geológico de Salamuni, Salamuni, Ebert (1999), cedido pelo Prof. Eduardo Salamuni em formato DXF.

O mapa com a divisão regional do Município de Curitiba, pertence à Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA).

Para a elaboração dos mapas: contorno estrutural do topo do aquífero fraturado e mapa de isópacas do aquífero granular, foram processados 660 dados de poços com as coordenadas X, Y, Z e topo do Complexo Atuba, cedidos por Chavez-Kus, 2007 (Doutorado em andamento na UFPR).

A partir de 131 poços outorgados pela SUREHMA (1989) foi confeccionada a distribuição espacial dos valores de iso-vazão.

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O município de Curitiba localiza-se na porção centro-leste do Estado do Paraná, tendo como municípios vizinhos, Almirante Tamandaré, Colombo, Pinhais, São José dos Pinhais, Fazenda Rio Grande, Araucária, Campo Largo e Campo Magro. A área de estudo abrange toda a área do município, cuja superfície é de 436 km².

Além das rodovias federais BR-116 e BR-277, o acesso ao Município se dá pelas rodovias estaduais, como a Rodovia do Cerne (PR-090) ligando Campo Magro a Curitiba; Rodovia dos Minérios (PR-092) entre Curitiba, Almirante Tamandaré, Rio Branco do Sul e Cerro Azul, e PR-415 entre Curitiba, Pinhais e Piraquara.

Segundo a divisão regional adotada pela SMMA (Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Curitiba), observada na figura 4.1, o município é dividido em 8 unidades regionais: Bairro Novo, Boa Vista, Boqueirão, Cajuru, Matriz, Pinheirinho, Portão, Santa Felicidade. Este mapa com a divisão regional será o mapa base para diversos mapas desta dissertação.



FONTE: IAPAR (2007).

Figura 4.2: Mapa com a Classificação Climática, segundo Köppen.

Os ventos vindos dos quadrantes setentrionais (N, NE, NW), portadores de chuva, predominam em 43% dos dias com vento. Os ventos dos quadrantes meridionais (S, SE, SW), correspondem a 30,6%. Os ventos marítimos de E (leste) e SE (sudeste) se elevam na passagem pela Serra do Mar, provocando chuvas orográficas. Os ventos de W correspondem a 7,9% e as calmarias 15,5% (Maack, 1981).

Salamuni (1981) observou que o maior índice pluviométrico médio no período entre 1931 e 1979 foi historicamente, verificado no mês de janeiro e o menor, no mês de julho. A temperatura média anual no mesmo período é 16,5°C. A temperatura média do mês mais quente era 20,4°C e do mês mais frio foi 12,7°C.

Utilizando os dados de precipitação e temperatura observados na Estação Meteorológica do Centro Politécnico em Curitiba, cedidos pelo INMET, objetivou-se calcular o excedente hídrico ou o déficit hídrico no período de janeiro de 1961 a dezembro de 2005.

A estes dados foi aplicado de forma simplificada o balanço hídrico climatológico desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955), sendo este método uma das várias maneiras de se monitorar a variação do armazenamento de água, tanto na escala diária como em escalas maiores como a mensal, utilizando-se valores médios anuais (normal climatológica).

Nesse método, a evapotranspiração potencial não corrigida de cada mês é dada pela expressão:

$$ETP_m = C\theta^a$$

onde “ θ ” corresponde a temperatura média mensal em °C, “C” e “a” são os mesmos para todos os meses e calculados em função do índice térmico anual “I”, dado pelas seguintes expressões:

$$a = A_1 I^3 - A_2 I^2 - A_3 I - A_4$$

sendo:

$$A_1 = 675 \times 10^{-3}; A_2 = 771 \times 10^{-7}; A_3 = 179 \times 10^{-4}; A_4 = 492 \times 10^{-3}$$

e,

$$C = 16,2 (10/I)^a$$

Onde o índice térmico anual “I” é dado em função dos índices térmicos mensais “ i ”, ou seja:

$$I = \sum_{i=1}^{12} i e i = (\theta/5)^{1,514}$$

Para obter a evapotranspiração potencial (ETP) em milímetros, multiplica-se os valores de ETP por um coeficiente de correção K que leva em conta a latitude (insolação) e o número de dias de cada mês. Os resultados podem ser utilizados para fins de zoneamento agroclimático, demanda potencial de água das culturas irrigadas e no conhecimento do regime hídrico.

O maior índice térmico no período de 1961 a 2005, corresponde ao mês de janeiro e o menor em agosto. A temperatura média anual é de 17,1°C, sendo as temperaturas do mês mais quente, em média, de 20,9 °C e o mês mais frio, em média de 13,1°C.

Os meses com maior evapotranspiração são respectivamente, janeiro, dezembro e fevereiro.

A infiltração das águas para o subsolo somente torna-se efetiva depois que ocorre um acréscimo no volume de água contida no solo, respectiva a sua capacidade de campo, fator fundamental para a determinação da recarga de aquíferos.

Atualmente há recarga artificial (involuntária) do aquífero da região de Curitiba em função da perda (aproximadamente 40%) de volume, por vazamento na rede de distribuição da SANEPAR, equivalente a mais de 3 m³/s.

Conforme ensaio realizado por Rosa Filho *et al.*, (1998c) na localidade da Fazenda Canguiri, município de Pinhais-PR, situado a uma distância de 15 km a nordeste de Curitiba, os sedimentos da Formação Guabirota apresentam capacidade de campo entre 100 a 150 mm. A partir deste resultado e tendo em vista que os sedimentos da Formação Guabirota também ocorrem na maior parte do município de Curitiba, considerou-se que a capacidade de campo em Curitiba é 100 mm/mês e, este valor foi

utilizado para o cálculo do balanço hídrico climatológico no município de Curitiba que será apresentado a seguir.

Considerando a capacidade de campo de Curitiba e, os resultados do balanço hídrico, apenas 128 meses (23,7%) do total de 540 meses analisados (janeiro de 1961 a dezembro de 2005) apresentaram excedentes hídricos. Observa-se no gráfico da figura 4.3 que janeiro, setembro, fevereiro e outubro, respectivamente, são os meses com maior excedente hídrico. Abril, agosto, novembro e dezembro são os meses com menores excedentes hídricos.

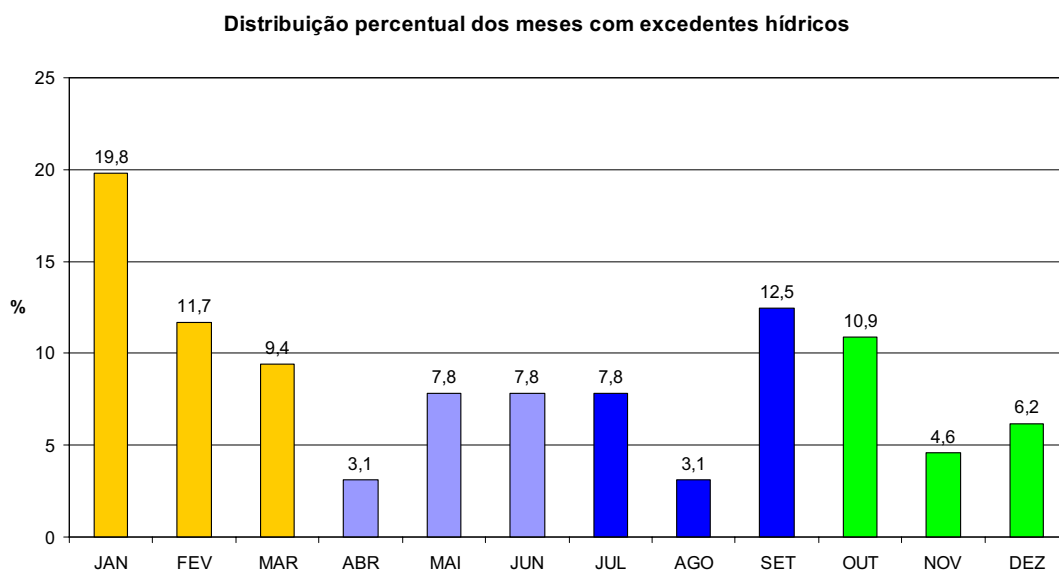


Figura 4.3 - Distribuição percentual dos meses com excedentes hídricos no período entre janeiro de 1961 e dezembro de 2005. Os dados de precipitação e temperatura utilizados no cálculo provêm da estação meteorológica do Centro Politécnico de Curitiba, cedidas pelo INMET.

O excedente hídrico, como já é esperado, está intimamente relacionado ao valor das precipitações médias mensais (Figura 4.4).

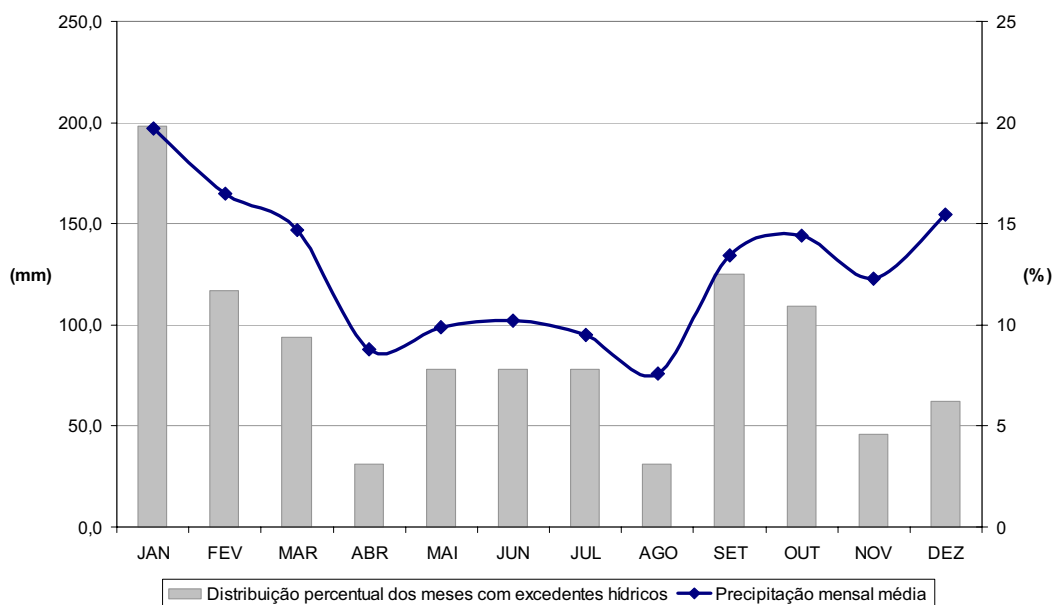


Figura 4.4 - Relação entre a distribuição percentual dos meses com excedentes hídricos e a precipitação mensal média no período entre janeiro de 1961 e dezembro de 2005. Os dados de precipitação utilizados provêm da estação meteorológica do Centro Politécnico de Curitiba, cedidas pelo INMET.

No balanço hídrico anual, apenas o ano de 1985 apresentou déficit hídrico (Figura 4.5). Porém, ao analisar os meses individualmente, durante o mesmo período (janeiro de 1961 a dezembro de 2005), apenas 23,7% dos meses apresentaram excedentes hídricos. Este fato pode ser explicado pela distribuição concentrada da precipitação no decorrer do ano.

Saldo anual acumulado (mm)

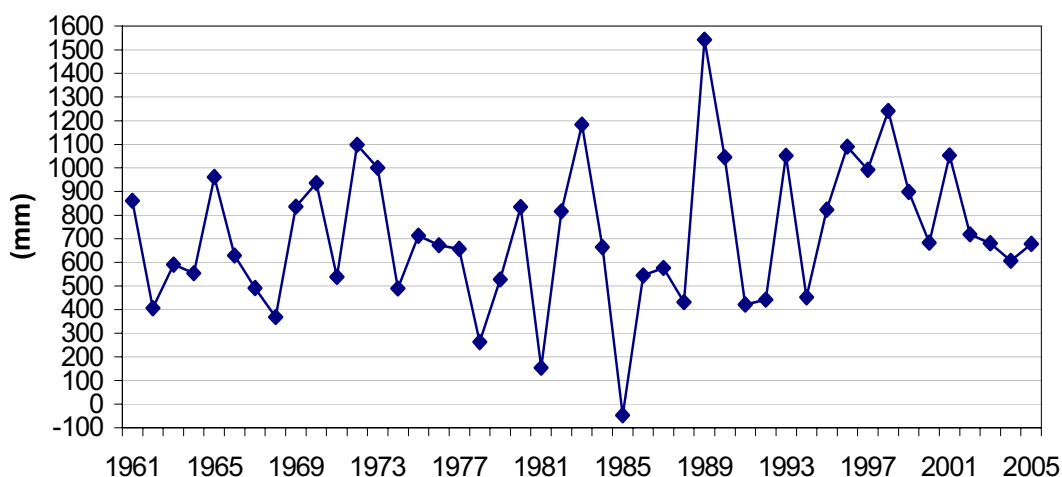


Figura 4.5 - Saldo hídrico anual acumulado no Centro Politécnico, Curitiba PR, para o período de janeiro de 1961 a dezembro de 2005. Os dados de precipitação e temperatura utilizados no cálculo provêm da estação meteorológica do Centro Politécnico de Curitiba, cedidas pelo INMET.

4.2 Geomorfologia

Segundo Maack (1947), o planalto de Curitiba situa-se no Primeiro Planalto Paranaense, sendo este último limitado a leste pelas escarpas da Serra do Mar e a oeste pelo Segundo Planalto Paranaense, denominado de Campos Gerais.

A litologia e os componentes estruturais são os fatores mais relevantes na configuração dos padrões geomorfológicos da região. As bacias hidrográficas e a rede de drenagem do Município de Curitiba podem ser observadas na figura 4.6.

Na figura 4.7 é observado o mapa hipsométrico do Município de Curitiba, sobreposto ao Modelo Digital de Elevação (MDE).

Salamuni (1981) separa três domínios morfológicos na área. O domínio I é observado ao norte de Curitiba, caracterizado por linhas de cristas constituídas por rochas mais resistentes e vales esculpidos nas rochas de menor resistência e, dependendo das encaixantes, os diques de diabásio ora constituem cristas de direção NW-SE, ora vales assim direcionados. Nesta mesma região observa-se um padrão de drenagem retangular a sub-retangular passando para um padrão sub-retangular a dendrítico.

Na região nordeste e sudoeste de Curitiba ocorre o domínio II de Salamuni (1981) com o predomínio de gnaisses e migmatitos, com vertentes convexas e drenagem dendrítica. Nesta região são comuns os vales simétricos, onde os rios são encaixados e controlados pela tectônica, como por exemplo, o rio Barigui.

O domínio III de Salamuni (1981) é na região central e sul, com predomínio de colinas suavemente arredondadas constituídas pelos depósitos da Formação Guabirota entremeados por planícies de inundações com relevo muito suave.

Segundo Salamuni (1998), a região correspondente ao município de Curitiba foi dividida em três zonas homólogas. A porção norte foi denominada de Sistema de colinas - unidade de topo plano (Complexo Atuba e Formação Guabirota), a porção central e sul foram denominadas de Sistema de colinas - unidade de topo alongado (Formação Guabirota e Complexo Atuba) e, a área correspondente ao vale do rio Iguaçu, limite leste e sul de Curitiba foi inserida no Sistema de planícies aluvionais ou terrenos aluvionares.

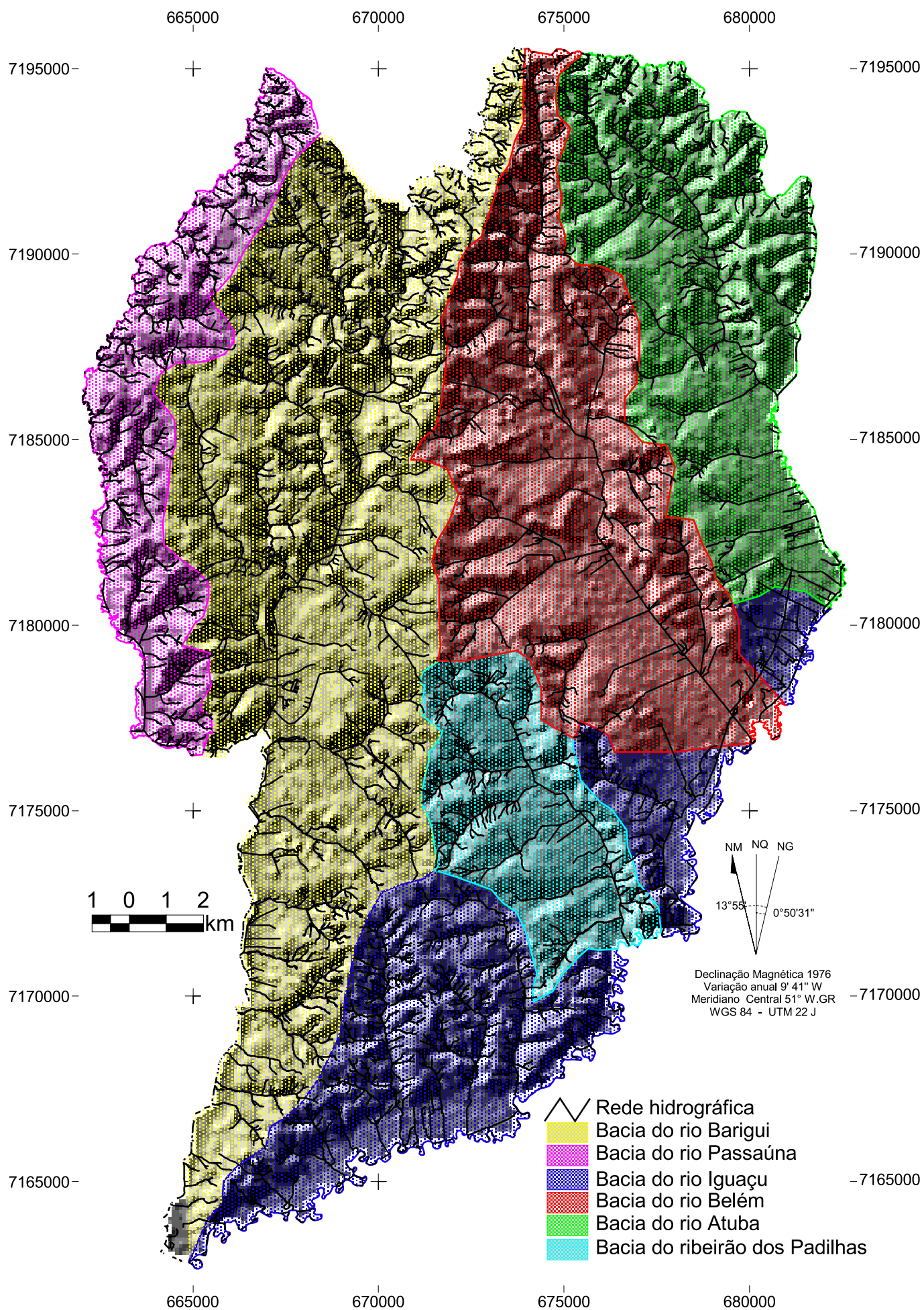


Figura 4.6 - Mapa das bacias hidrográficas e rede de drenagem do Município de Curitiba.

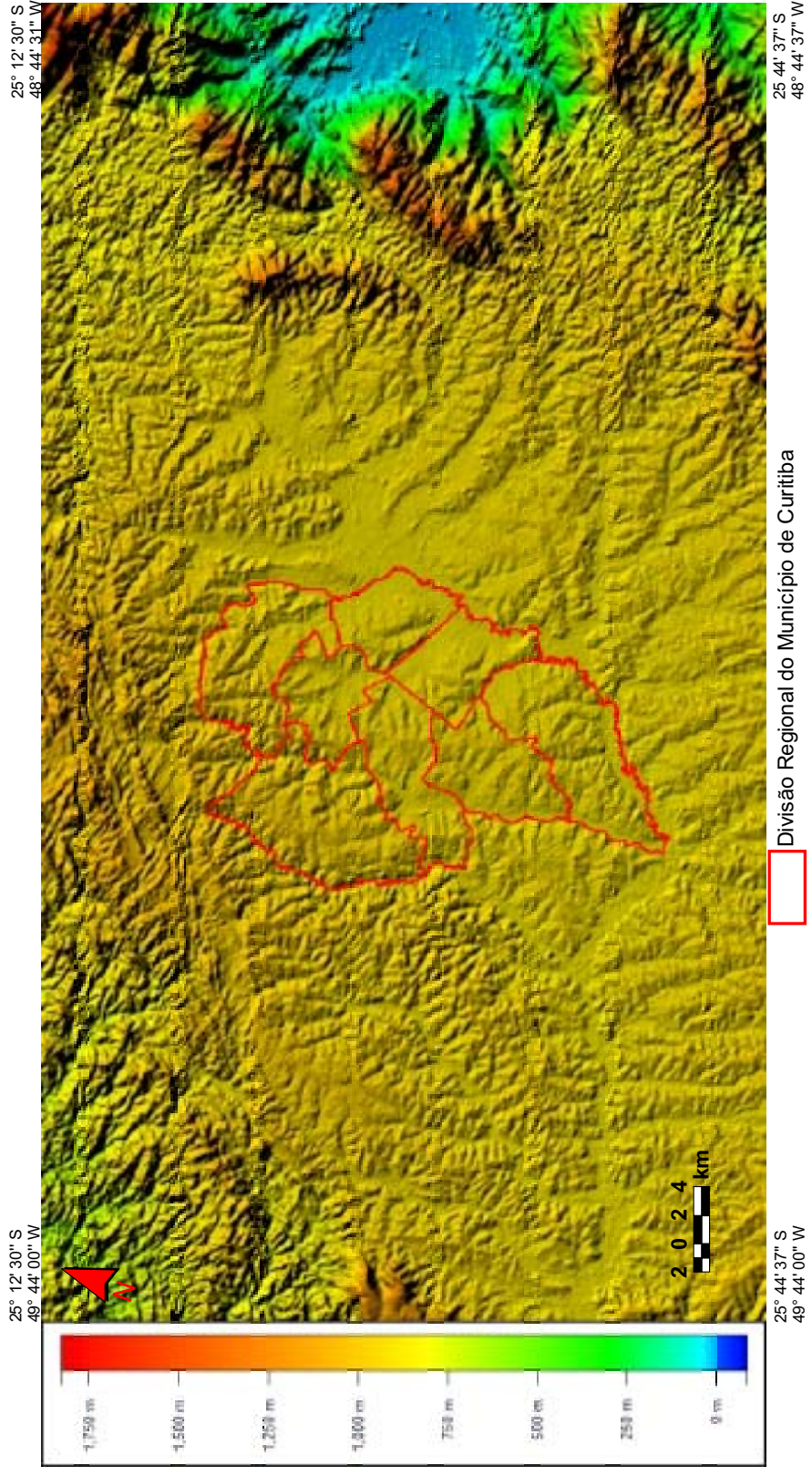


Figura 4.7 - Mapa hipsométrico sobreposto ao Modelo Digital de Elevação do Município de Curitiba.

Posteriormente, Chavez-Kus (2003) definiu quatro zonas homólogas na área partindo da densidade de textura das drenagens, sinuosidade dos elementos texturais de drenagens, angularidade, tropia, assimetria e lineações de drenagem, sendo: (1) padrão de treliça, (2ª) padrão sub-dendrítico (menor densidade de drenagem, (2b) padrão sub-dendrítico (maior densidade de drenagem) e (3) padrão retangular.

Chavez-Kus (2003) determina que as drenagens de 2ª e 3ª ordem, localizadas sobre as litologias do Complexo Atuba, obedecem uma arquitetura geométrica bem definida onde o terreno colinoso reflete um controle tectônico, com densa rede fluvial na forma de treliça. Sobre os sedimentos da Bacia de Curitiba, as drenagens se organizam de acordo com um padrão retangular ou sub-dendrítico, indicando um forte controle litológico-estrutural aos canais de drenagens e grandes vales alinhados principalmente nas direções N-S, N20-30E e N13-25SW.

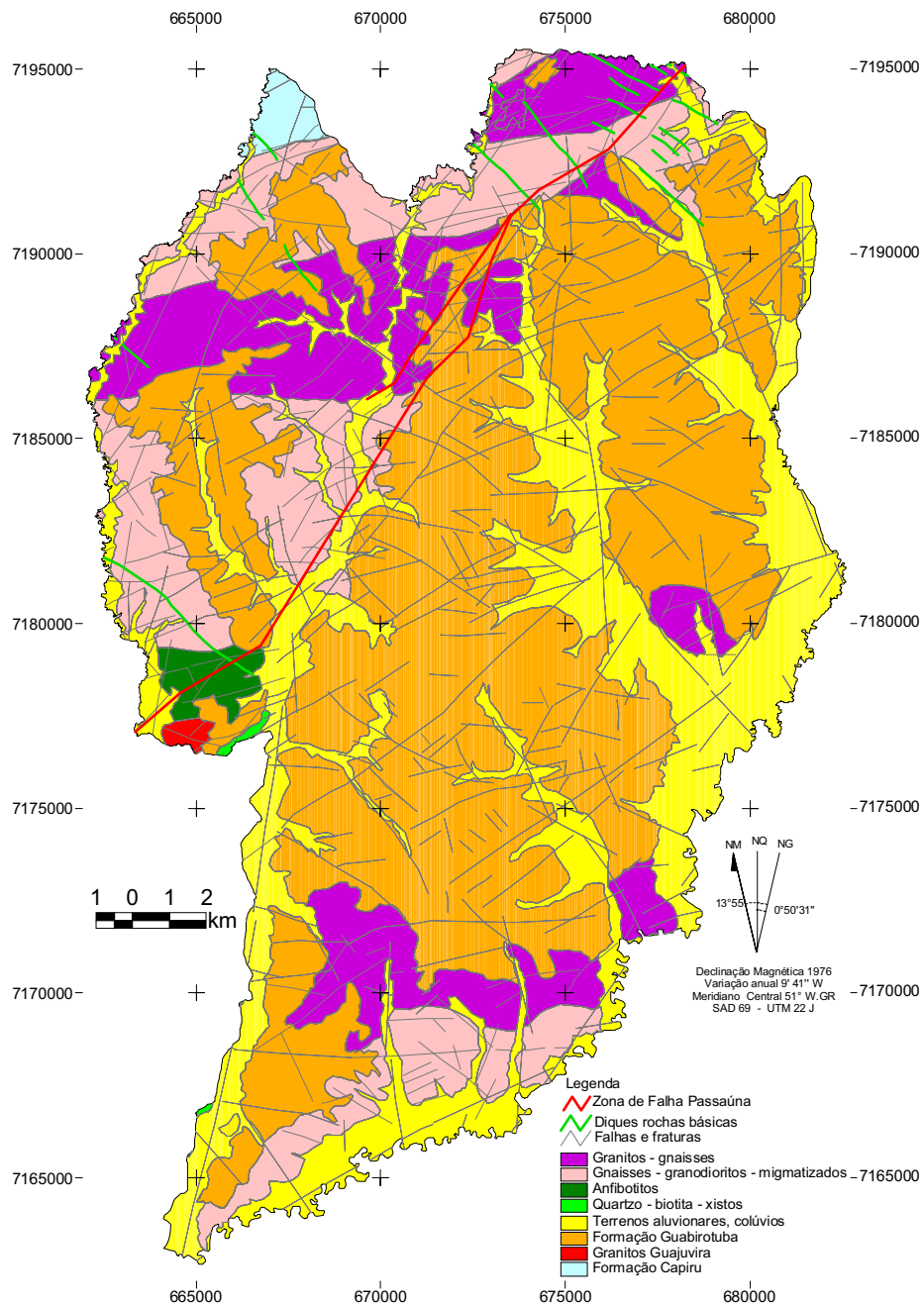
4.3 Geologia da Área

A região de Curitiba está situada sobre distintas unidades litoestratigráficas (Tabela 4.1 e Figura 4.8), sendo predominantes os sedimentos da Formação Guabirotuba (superfície) e o Complexo Atuba (subsuperfície).

Tabela 4.1 - Coluna estratigráfica da Bacia de Curitiba.

IDADE	UNIDADE GEOLÓGICA	LITOLOGIA PRINCIPAL
Quaternário (superior) Holoceno	Aluviões e depósitos Coluvionares secundários	Depósitos arenosos pouco selecionados a selecionados, friáveis e em parte com matriz argilosa
Quaternário (inferior) Pleistoceno a Holoceno	Formação Tinguis	Colúvios argilosos, cascalheiras e lentes de areias Arcosianas (Fm. Guabirotuba retrabalhada)
Terceário (médio a superior) Oligomioceno – Mioceno a Plioceno	Formação Guabirotuba	Argilitos, arenitos arcosianos, conglomerados com matriz areno-argilosa, lentes de arenitos quartzosos e depósitos carbonáticos restritos (calcretes e caliches)
Jurássico- Cretáceo	Formação Serra Geral	Diques de diabásio e dioritos (lamprófiros)
Proterozóico superior a Cambriano	Maçiços graníticos da Serra do Mar	Granitos alcalinos
Proterozóico superior	Grupo Açungui (Formação Capiçu)	Quartzitos, filitos, mármore dolomíticos e calcíticos
Proterozóico inferior a arqueano	Complexo Atuba (antigo Complexo Costeiro)	Migmatitos, ortognaisse, xistos, quartzitos restritos e granitos orogênicos deformados

Fonte: Salamuni E., (2005).



Fonte: Salamuni, Salamuni, Ebert, (1999).

Figura 4.8 - Mapa geológico do Município de Curitiba.

4.3.1 Complexo Atuba

Para Siga Jr. *et al.* (1995), o Domínio Curitiba constitui uma faixa alongada e estreita, de direção NE-SW, cujo embasamento seria representado por gnaisses bandados, gnaisses graníticos e migmatitos denominados de Complexo Atuba.

O padrão estrutural como um todo é resultado de uma tectônica essencialmente cisalhante, com transporte relativo para sul-sudeste. Os migmatitos do Complexo Atuba, segundo Siga Jr. *et al.* (1995), foram gerados no Paleoproterozóico (2000 ± 200 Ma) e remigmatizados no Neoproterozóico (600 ± 20 Ma). Trata-se de uma unidade gerada em ambiente profundo, com metamorfismo na fácies anfibolito, acrescida à borda do Domínio Luís Alves durante o Neoproterozóico, decorrente de processos globais que envolveram aglutinações de massas continentais.

Este Complexo é composto principalmente de para-gnaisses cisalhados e intensamente dobrados que afloram a oeste, norte e nordeste de Curitiba. Normalmente encontram-se intemperizados e geram regolitos com espessura média de 5 a 10 m.

Fuck; Trein; Marini (1967), descreveram a composição mineralógica dos migmatitos ou “gnaisse granitizados” com quartzo, plagioclásio, microclínio, biotita, hornblenda, muscovita, almandina, diopsídio, hiperstênio e minerais acessórios de zircão, titanita, apatita, fluorita, alanita e pistacita. Como minerais secundários os autores descrevem sericita, clorita, tremolita-actinolita, calcita, epidoto e zoisita. A xistosidade e composição mineralógica é correspondente ao grau de metamorfismo da fácies anfibolito.

De acordo com Salamuni (1998), o embasamento da Bacia de Curitiba é constituído por metamorfitos cuja feição principal é uma superfície Sn penetrativa, normalmente orientada para NE-SW, com mergulhos maiores do que 45° para NW.

Muitos autores concordam que nas zonas de alto grau de metamorfismo regional, estão presentes condições físico-químicas que permitem a migmatização.

Salamuni (2005) descreve para o Complexo Atuba, uma paragênese de grau metamórfico médio a alto, com cristalização da granada, hornblenda e biotita, gerada por tectônica tangencial de baixo a médio ângulo, a qual produziu imbricamento tectônico, dobras de cisalhamento, gnaissificação e migmatização (Figuras 4.9).

Um retrometamorfismo na fácies xisto-verde, zona da biotita até clorita foi responsável pela recristalização de muscovita e biotita, derivada de hornblenda e quartzo (Salamuni, 2005).

Superimposto aos referidos conjuntos ocorreram eventos de tectônica rúptil (Figura 4.10) que são caracterizados através de famílias de fraturas com direções N-S, NW-SE e NE-SW, presentes por toda a área em escalas locais a regionais (Salamuni, 2005).

Salamuni (2005) supõe idade pós-cretácea para os eventos rúpteis apontando que o movimento dos blocos estruturais condicionou morfoestruturas, tais como escarpas de falha, erosão de parte dos sedimentos da bacia de Curitiba e controle das manchas de sedimentos da Formação Guabirotuba.



Figura 4.9 - Milonito com fenoblastos lenticulares de FK com 05 milímetros, estiramento de quartzo em níveis milimétricos. Pedreira Marc UTM: W683839 e S7156322.

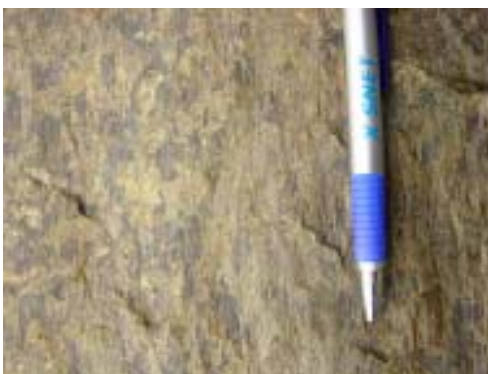


Figura 4.10 - Estria de atrito formada por tectônica de alto ângulo. Pedreira Central em Curitiba. UTM: W662412 e S7187387

4.3.2 Formação Guabirota

A Formação Guabirota é a principal unidade sedimentar da Bacia de Curitiba. Estes depósitos assentam de forma discordante sobre o Complexo Atuba, sendo compostos predominantemente por argilas e siltes esverdeados, que gradam para sedimentos mais grossos nas bordas da bacia (Bigarella e Salamuni, 1959; Becker, 1982; Salamuni, Salamuni, Ebert, 1999).

Muitas vezes os sedimentos mais grossos estão sobre os sedimentos mais finos devido ao deslocamento dos meandros primitivos dos rios, o que acarretou em uma variedade na orientação e volume dos depósitos (Figura 4.11).

A Formação Guabirota (Figura 4.12 e 4.13) foi depositada durante o Oligo-Mioceno (Salamuni, 1998), em ambiente de leques aluvionares coalescentes, caracterizada por amplos vales de canais anastomosados, apresentando uma espessura máxima de 80m na porção central da bacia de Curitiba (Bigarella e Salamuni, 1959).



Figura 4.11 - Formação Guabirota com camada de 40 cm de areia grossa sobre siltito com espessura de 10 cm. Rua Antonio Buso, em frente à estação da COPEL, bairro Cajuru, coordenadas UTM: W680217, S7181325.

Esta formação apresenta-se exposta notadamente no município de Curitiba. Possui eixo maior com direção aproximada de N45°E, tendo área de 900 km². Seu relevo compreende colinas suavemente arredondadas, com cotas entre 900 e 950 m. O padrão de drenagem é marcado por drenagens retilíneas de 3ª ordem influenciado por um horizonte superior de solo orgânico, mais poroso que os sedimentos argilosos que predominam na bacia (CPRM, 2000a).

A concentração de terras raras (lantanita, neodímio, praseodímio, gadolínio, samário e európio) encontrados nos depósitos de caliche faz-se ao longo do sistema de drenagem pretérita, caracterizada por depósitos de areia arcosiana contendo estratificação cruzada. Os sedimentos arcosianos apresentam uma estratificação incipiente e indicam uma tendência de transporte para sul ou sudeste, porém acredita-se na hipótese do transporte ter-se desenvolvido ou modificado durante a evolução da bacia (Giusti, 1989).



Figura 4.12 – Pelitos que gradam para lentes de areia intercaladas com bancos de calcrete (caliche). UTM: W666777 , S7177785.



Figura 4.13 - Formação Guabirota com lentes de areia grossa intercaladas por silte pastilhado. Rua Antonio Buso, em frente à estação da COPEL, bairro Cajuru, coordenadas UTM: W680217, S7181325.

4.3.3 Depósitos aluvionares

Os depósitos aluvionares constituem importantes componentes litológicos da Bacia de Curitiba. Ocorrem nas planícies de inundação das diversas drenagens de Curitiba.

Os depósitos são constituídos principalmente por areias finas a grossas e cascalhos, com matriz siltico-argilosa a siltico-arenosa (Salamuni, Salamuni, Ebert, 1999).

Vastas planícies aluviais estendem-se nas zonas dos migmatitos, especialmente ao longo dos rios Passaúna, Barigui e Belém. A estratificação dos sedimentos aluviais é irregular, às vezes com uma incipiente estratificação cruzada. As cores são geralmente claras nas camadas de arenitos, avermelhadas nos siltitos e escuras nas argilas orgânicas (Lopes, 1966).

5. HIDROGEOLOGIA

Os sistemas aquíferos do município de Curitiba e arredores podem ser classificados em três grupos distintos, de acordo com a natureza litológica e propriedades hidráulicas:

- Sistemas Aquíferos sedimentares, representados pelas camadas arenosas da Formação Guabirota e depósitos aluvionares.
- Sistema Aquífero fraturado, representado pelo Complexo Atuba.
- Sistema Aquífero cárstico, representado pela Formação Capiru.

Estudos hidrogeológicos e hidroquímicos do aquífero Karste, localizado no extremo norte de Curitiba, devem ser consultados em Hindi (1999).

São de interesse deste estudo apenas os aquíferos sedimentares e cristalinos, presentes na área.

Curitiba situa-se em sua maior parte sobre os sedimentos inconsolidados da Formação Guabirota, que armazenam água entre os interstícios dos grãos arenosos, depositados principalmente nas lentes intercaladas dos sedimentos pelíticos.

Sob a Formação Guabirota, e aflorante na porção nordeste e sul da área, ocorrem rochas do Complexo Atuba. Estas rochas armazenam e transmitem água por meio de sistemas interligados de falhas e/ou diáclases abertas.

5.1 Complexo Atuba

Os migmatitos, bem como as rochas granitóides e gnáissicas, representam as unidades aquíferas do embasamento cristalino da Região Metropolitana de Curitiba (RMC). Estas rochas ocupam uma área de aproximadamente 7.500 km², no Primeiro Planalto Parananense, numa faixa que abrange o município de Curitiba, parte dos municípios de Araucária, Almirante Tamandaré, Campina Grande do Sul, Campo Largo, Colombo, Piraquara, Quatro Barras e São José dos Pinhais.

O Complexo Atuba é um aquífero do tipo secundário no qual o armazenamento e fluxo da água estão associados às feições estruturais, como falhas e diáclases (Figura 5.1).

As entradas de água, em geral, estão localizadas no intervalo entre 40 e 80 m, embora ocorram registros de contribuições em profundidades até abaixo de 250 m. Para Salamuni (1998), em função da maior espessura dos sedimentos e do menor grau de fraturamento das rochas do embasamento em relação às bordas da bacia, é de se esperar que menores vazões sejam encontradas na porção central da Bacia de Curitiba.



Figura 5.1 - Percolação de água em rochas fraturadas do Complexo Atuba na Pedreira Marc. UTM: W683839 e S7156322.

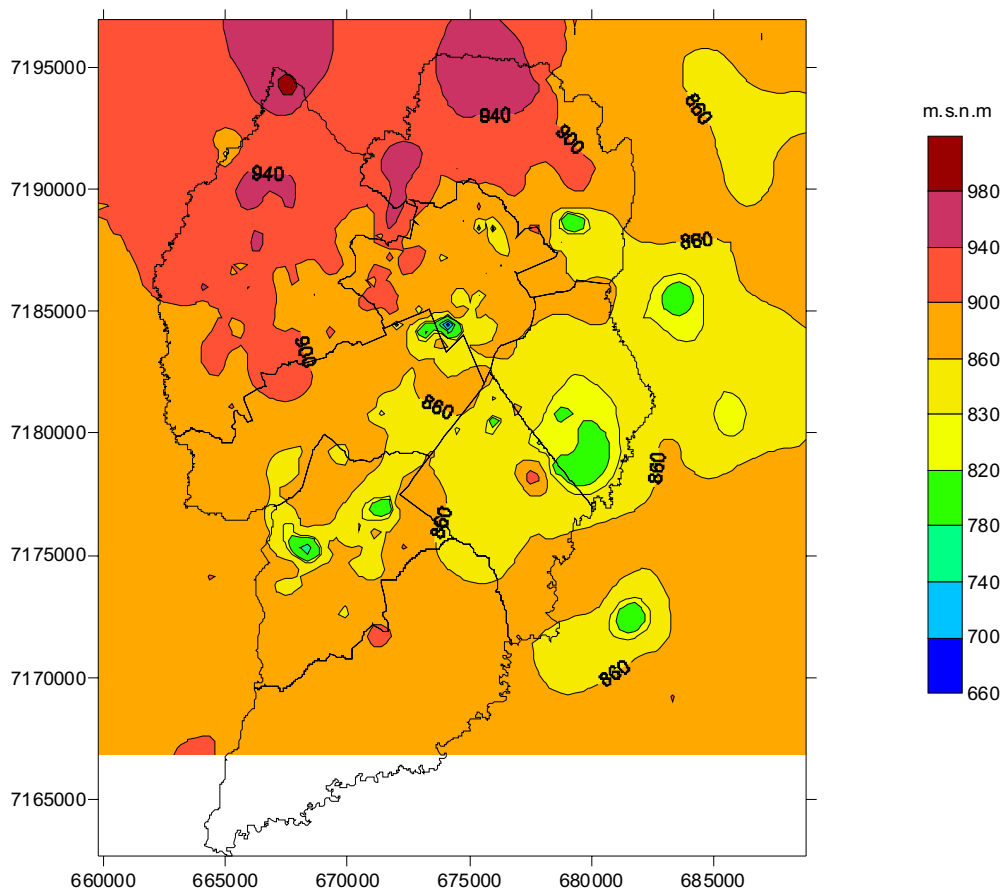
Segundo Chavez-Kus (2003), a média da profundidade dos poços tubulares profundos é 112 m e a mediana da entrada de água é de 84 m. As entradas de água podem ocorrer através de fraturas conectadas às porções saturadas da cobertura de solo ou da Formação Guabirotuba.

A figura 5.2 mostra o mapa do contorno estrutural do topo do aquífero fraturado, em metros sobre o nível do mar (m.s.n.m.), elaborado a partir de informações obtidas com a análise dos poços tubulares profundos, dados estes, cedidos por Chavez-Kus, 2007 (doutorado em andamento).

Os poços tubulares profundos que captam água do aquífero fraturado produzem em média 6,2 m³/h e, são utilizados para atender condomínios, indústrias, hospitais e postos de serviços. Estima-se que o volume anual produzido é de aproximadamente 5,7 x 10⁶ m³/ano e os valores máximos de capacidade específica raramente superam 300 L/h/m (Rosa Filho *et al.*, 2002).

O banco de dados da Superintendência de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (SUDERHSA) e os cadastros de poços das empresas de perfuração totalizavam até o ano de 2005, aproximadamente 1.500 poços na RMC. Esses poços produzem em média 4 m³/h (Rosa Filho e Hindi, 2006).

A Sanepar opera 55 poços que estão localizados em 41 localidades (12 municípios), cuja produção corresponde a 3.234.746 m³/ano (0,10 m³/s). Acrescentando os 1.500 poços particulares utilizados por vários condomínios e postos de serviços da RMC, com uma taxa média de bombeamento de cerca de 10 h/dia, é explotado deste aquífero mais 5.184.000 m³/ano (0,16 m³/s), portanto estima-se que o volume explotado através dos dois grupos de poços, da Sanepar e privados, é da ordem de 8.500.000 m³/ano, ou seja, 0,27 m³/s. (Rosa Filho e Hindi, 2006).



Fonte dos dados: Chavez-Kus, 2007 (Doutorado em andamento).

Figura 5.2: Mapa do contorno estrutural do topo do aquífero fraturado (Complexo Atuba).

A produção do conjunto dos poços corresponde a cerca de 20% da demanda da cidade. Essas águas, portanto, são fundamentais na complementação do abastecimento da população da RMC. Tendo em conta que o Complexo Atuba também ocorre nas cidades vizinhas de Curitiba, suas águas também podem ser usadas para irrigar as plantações de hortaliças existentes no cinturão verde da cidade (Rosa Filho e Hindi, 2006).

5.2 Formação Guabirotuba

Trata-se de um aquífero do tipo primário, no qual o armazenamento e fluxo da água estão associados à porosidade natural das lentes de areias arcólicas. Sob o ponto de vista hidráulico a superfície freática e as águas das chuvas representam a principal fonte de recarga do aquífero Guabirotuba (Rosa Filho *et al.*, 1996a).

Salamuni (1981) afirma que os sedimentos da Formação Guabirotuba possuem grande capacidade de armazenamento, porém, considera como aquífero apenas as lentes arcossianas, que apresentam distribuição vertical e horizontal limitadas, correspondendo a no máximo 15% do total dos sedimentos da Formação.

Rosa Filho, Udluft, Heinrichs, (1998c) realizaram investigações nos sedimentos da Formação Guabirotuba, nas imediações do Parque Castelo Branco, no Município de Pinhais, a 15 km a nordeste de Curitiba. Os autores determinaram que as camadas arenosas arcossianas, que intercalam os sedimentos pelíticos, apresentam variações quanto a espessura, mas ocorrem de forma relativamente contínua, sendo que estas camadas arenosas, via de regra basais, apresentam espessuras entre 4 e 18 m. Naquele local o sentido do escoamento das águas subterrâneas é de sudeste para noroeste com velocidade de fluxo de 3×10^{-6} m/s. Mais ao norte da região investigada pelos autores, a velocidade é de 5×10^{-6} m/s.

O comportamento hidráulico do aquífero pode ser confinado, semi-confinado e às vezes livre. As porosidades total e efetiva são em média 38% e 28%, respectivamente. O coeficiente de permeabilidade calculado através do Método Theis, varia de $1,22 \times 10^{-4}$ m/s e $1,96 \times 10^{-4}$ m/s e, para transmissividade valores entre 1×10^{-3} m²/s e 2×10^{-3} m²/s. O coeficiente de armazenamento está entre $5,4 \times 10^{-3}$ e $9,2 \times 10^{-4}$ (Rosa Filho *et al.*, 1996b).

Para Rosa Filho *et al.* (1998b) o aquífero Guabirotuba é o mais produtivo na região nordeste da Bacia de Curitiba, onde as vazões dos poços atingem 80 m³/h, sendo que na parte da Bacia de Curitiba onde as lentes de areias arcossianas são de menor espessura, as vazões médias são restritas a 5 m³/h/poço. O volume disponível de água que pode ser utilizada no sistema de abastecimento público é de $12,6 \times 10^6$ m³/ano, ou seja, 0,40 m³/s.

5.3 Depósitos aluvionares

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).

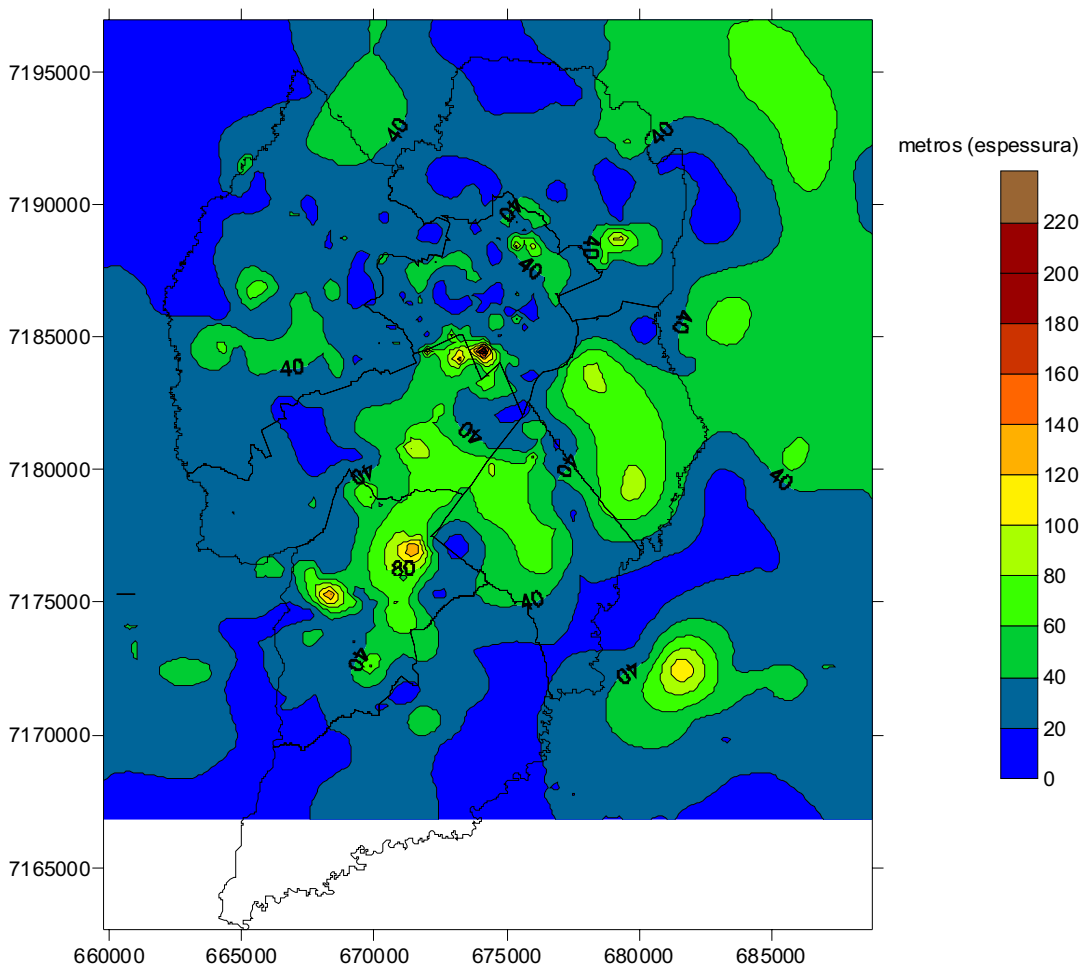
Ensaio realizado por Rocha (1996), mostraram que uma única cava resultante da exploração de areia, cujas dimensões eram 320 m x 80 m x 2,5 m, tinha capacidade de produzir cerca de 360 m³/h e que esse volume seria alimentado por águas do aquífero aluvionar. Após 24 horas de bombeamento, o rebaixamento do nível da água na cava foi

igual a 0,41 m. E embora estes resultados sejam indicativos de que esses sedimentos representem excelentes reservatórios de água, os mesmos, lamentavelmente, não são reconhecidos como tal. Não se cogita, por esta razão, a possibilidade de preservar essas áreas para o aproveitamento do seu potencial hídrico (Rosa Filho e Hindi, 2006).

5.4 Mapas Temáticos Hidrogeológicos

A partir do mapa de contorno estrutural do topo do aquífero cristalino e, do mapa hipsométrico, foi elaborado o mapa de isópacas do aquífero sedimentar (Fm. Guabirota e depósitos aluvionares), o qual é apresentado na figura 5.3.

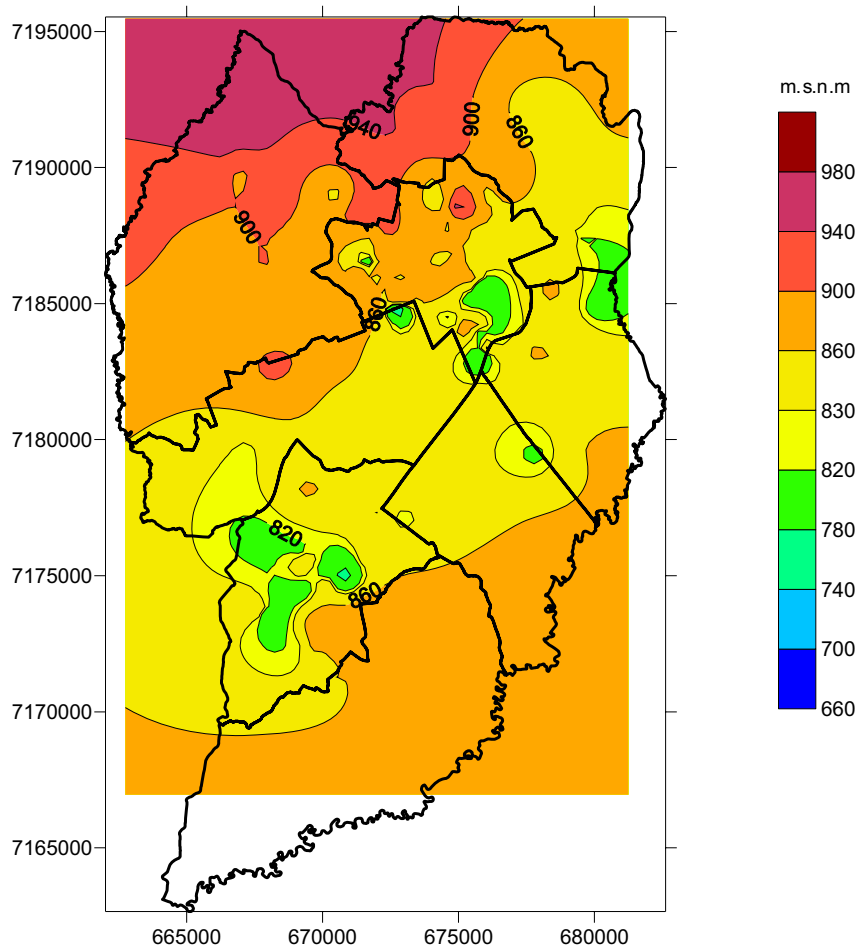
Observa-se neste mapa que as maiores espessuras situam-se na porção central do município e possuem orientação segundo *trend* NE-SW.



Fonte dos dados: Chavez-Kus, 2007 (Doutorado em andamento).

Figura 5.3 - Mapa de isópacas do aquífero granular.

A partir do nível dinâmico e coordenadas X, Y, Z dos poços outorgados em SUREHMA (1989) e confeccionado o mapa com a cota (m.s.n.m.) do nível dinâmico, apresentado na figura 5.4.



Fonte de dados: SUREHMA (1998).

Figura 5.4 – Mapa da altitude do nível dinâmico.

Estes mapas temáticos visam auxiliar na elaboração do modelo conceitual simplificado de avaliação do “efeito antrópico” nas águas subterrâneas, descrito na página 122, capítulo 7.

6. HIDROGEOQUÍMICA

Vários processos químicos, físicos e biológicos que ocorrem na água subterrânea controlam sua composição química e definem sua qualidade.

A composição química das águas subterrâneas depende da natureza das rochas e da solubilidade de seus minerais, bem como do tempo de contato entre a rocha matriz e a água. As modificações mais significativas na composição são controladas pelos processos de interação água-rocha e por afluxos de espécies químicas provenientes de efluentes que se infiltram através da superfície do terreno (Rosa Filho, Bittencourt, Hindi, 1998a).

O estudo hidrogeoquímico tem por finalidade identificar e quantificar as principais propriedades e constituintes químicos das águas subterrâneas. As diferentes origens dos constituintes principais das águas subterrâneas são mostradas, de forma resumida, na tabela 6.1.

Tabela 6.1 - Origem dos constituintes principais das águas subterrâneas (Adaptado de BERNER & BERNER, 1987).

Componentes	Origem
Na ⁺	Dissolução do NaCl, poluição, intemperismo de plagioclásio, chuvas.
K ⁺	Intemperismo da biotita e K-feldspato, degradação da bio massa, dissolução de aerossóis.
Mg ²⁺	Intemperismo de anfibólio, piroxênio, biotita, clorita, dolomita, olivina e chuva.
Ca ²⁺	Intemperismo da calcita, plagioclásio, dolomita, dissolução de aerossóis e degradação da biomassa.
HCO ₃ ⁻	Intemperismo da calcita, dolomita e silicatos.
SO ₄ ²⁻	Intemperismo da pirita, dissolução do CaSO ₄ , poluição e chuvas.
Cl ⁻	Dissolução do NaCl, poluição e chuvas.
H ₄ SiO ₄	Intemperismo de silicatos.

Fonte: Gonçalves e Giampá (2006).

Foram identificados nos sedimentos ativos de drenagens do Município de Curitiba, anomalias de alumínio, bário, chumbo, cobre, potássio, escândio, estanho, estrôncio, níquel, ferro, zinco, fósforo, ítrio, magnésio, mercúrio, nióbio, zircônio e vanádio (MINEROPAR, 2001).

6.1 Aquífero Fraturado

Em termos de qualidade, as águas do aquífero fraturado (Complexo Atuba), não apresentam restrições para o consumo humano. Elas são classificadas como bicarbonatadas cálcio-magnesianas e contém 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 CaCO₃. Entre os

cátions, predominam o Ca^{+2} (2 a 20 mg/L) e o Mg^{+2} (0,5 a 12 mg/L) em relação ao Na^+ (1 a 3 mg/L) e ao K^+ (1 a 2 mg/L) (Rosa Filho *et al.*, 2002).

As amostras de águas coletadas em poços do aquífero fraturado, com exceção dos íons NO_3^- , F^- e ferro total, não apresentaram concentrações acima dos valores máximos permissíveis. A presença de NO_3^- na água subterrânea não tem origem natural, estando associada à infiltração de efluentes domésticos.

A utilização desse recurso para fins de abastecimento público, principalmente 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 (Rosa Filho e Hindi, 2006). A tabela 6.2 apresenta um resumo estatístico dos parâmetros químicos da água do aquífero Cristalino, com Valores Máximos Permitidos (VMP), estabelecidos na Portaria N.º 518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde.

Tabela 6.2 - Resumo estatístico dos parâmetros químicos da água do aquífero fraturado.

Parâmetro	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	VMP
Alcalinidade total (mg/L)	206,23	5,94	79,80	65,16	*
Dureza total (mg/L)	204,48	6,78	63,42	49,01	500
STD (mg/L)	379,00	18,00	126,69	120,00	1000
SiO_2^- (mg/L)	75,20	0,50	32,05	35,00	*
HCO_3^- (mg/L)	251,60	7,25	95,72	78,67	*
CaCO_3^{-2} (mg/L)	10,73	0,00	0,48	0,00	*
Cl^- (mg/L)	22,90	0,04	2,73	1,47	250
F^- (mg/L)	18,00	0,01	0,84	0,18	1,5
PO_4^{3-} (mg/L)	4,76	0,01	0,33	0,15	*
SO_4^{2-} (mg/L)	40,80	0,01	2,48	0,50	250
NO_3^- (mg/L)	70,72	0,02	3,22	0,51	45
NO_2^- (mg/L)	0,04	0,00	0,01	0,01	3
Ca^{2+} (mg/L)	55,28	1,21	16,33	12,09	*
Mg^{2+} (mg/L)	22,71	0,09	5,60	4,40	*
Na^+ (mg/L)	36,60	0,70	10,76	8,19	200
K^+ (mg/L)	16,15	0,01	2,00	1,89	*
ferro total(mg/L)	35,00	0,01	0,74	0,09	0,3

* VMP (valor máximo permitido) não especificado.

Fonte: Rosa Filho e Hindi, 2006.

6.2 Aquífero Granular

As águas do aquífero Guabirotuba não raramente apresentam teores de ferro total e manganês acima do limite adequado para o consumo humano. 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. Exceção a região da bacia hidrográfica do Irai, onde existem camadas arcoseanas contínuas com espessuras de até 10m (Rosa Filho e Hindi, 2006).

De modo geral, considera-se que o aquífero Guabirota é localizado e não pode ser tratado como um reservatório capaz de fornecer água em abundância. Algumas indústrias e chácaras podem utilizar essas águas para consumo humano (desde que extraído o excesso de ferro e manganês), bem como para utilização na irrigação (Rosa Filho e Hindi, 2006).

Estudos hidroquímicos realizados por Rosa Filho; Bittencourt; Hindi (1998a), nos sedimentos da Formação Guabirota, mostram que as concentrações dos STD variam entre 90 e 297 mg/L e os valores de pH situam-se entre 6,7 e 8,1 mg/L. Os mesmos autores identificaram que os teores de ferro estão entre 0,07 e 1,04 mg/L, as concentrações de Na^+ variam de 7,1 a 24 mg/L, de Ca^{2+} entre 3,83 e 28,4 mg/L, de Mg^{2+} entre 1,16 e 28,4 mg/L e, os teores do K^+ não ultrapassam 2,0 mg/L.

As camadas aquíferas da Formação Guabirota têm a composição de suas águas tendendo à bicarbonatadas sódicas, condicionadas por intercalações com as argilas montmoriloníticas (Bittencourt, 2006).

As argilas esmectitas ou montmoriloníticas (filossilicatos de estrutura 2:1), são produzidas em ambientes sob intemperismo bissialico e apresentam maior capacidade de troca catiônica, maior deficiência de carga e maior capacidade sortiva que os sedimentos produzidos por intemperismo monossilico (Bittencourt, 2006).

A capacidade de troca catiônica (CTC) das argilas presentes na Formação Guabirota favorece a sorção (incorporação não estequiométrica), absorção (atração de íons ou moléculas às superfícies do corpo sólido em contato) e quimisorção de elementos contaminantes. A tabela 6.3 apresenta um resumo estatístico dos parâmetros químicos da água do aquífero Guabirota.

Tabela 6.3 - Resumo estatístico dos parâmetros químicos da água do aquífero Guabirotuba.

Parâmetro	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	VMP
Alcalinidade total (mg/L)	247,50	4,46	101,53	106,49	*
Dureza total (mg/L)	286,69	2,94	84,87	81,00	500
STD (mg/L)	419,00	11,00	156,74	152,00	1000
SiO ₂ ⁻ (mg/L)	103,50	2,30	38,49	38,02	*
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	301,95	5,43	122,54	124,49	*
CaCO ₃ ²⁻ (mg/L)	8,76	0,00	0,64	0,00	*
Cl ⁻ (mg/L)	41,52	0,04	4,63	1,75	250
F ⁻ (mg/L)	3,52	0,01	0,35	0,18	1,5
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	5,36	0,00	0,59	0,15	*
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	65,21	0,50	4,45	0,50	250
NO ₃ ⁻ (mg/L)	74,00	0,02	3,65	0,13	45
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0,59	0,00	0,02	0,01	3
Ca ²⁺ (mg/L)	81,85	0,65	22,13	21,05	*
Mg ²⁺ (mg/L)	35,47	0,31	7,24	6,10	*
Na ⁺ (mg/L)	50,60	0,80	13,86	10,60	200
K ⁺ (mg/L)	5,00	0,01	2,18	2,00	*
ferro total(mg/L)	9,00	0,01	0,70	0,12	0,3

* VMP (valor máximo permitido) não especificado
Fonte: Rosa Filho e Hindi, 2006.

No aproveitamento dos aquíferos aluvionares, deve-se levar em conta a sua vulnerabilidade à contaminação, por serem rasos e apresentarem condutividade hidráulica elevada. Além disso, as áreas marginais ao rio Iguaçu, na RMC, são afetadas por flutuações de nível do rio que pode se tornar influente, isto é, passa a recarregar o aquífero freático em períodos de cheias, com água de qualidade imprópria para consumo (Rosa Filho e Hindi, 2006).

6.3 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 STD 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 de salinidade total, pode ser medida

indiretamente pelo valor da condutividade elétrica da água, já que estas duas grandezas são linearmente dependentes (Rosa Filho e Hindi, 2006).

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 Ca^{2+} e Mg^{2+} 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:

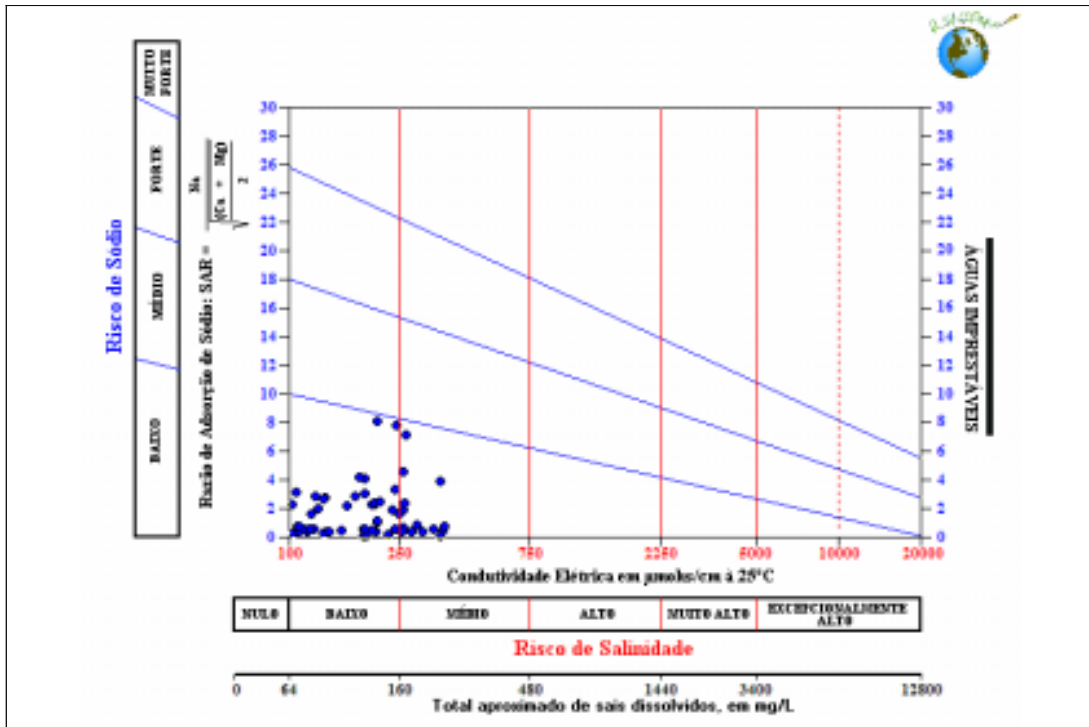
$$SAR = \frac{[\text{Na}^+]}{\sqrt{\frac{1}{2}([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}])}}$$

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.

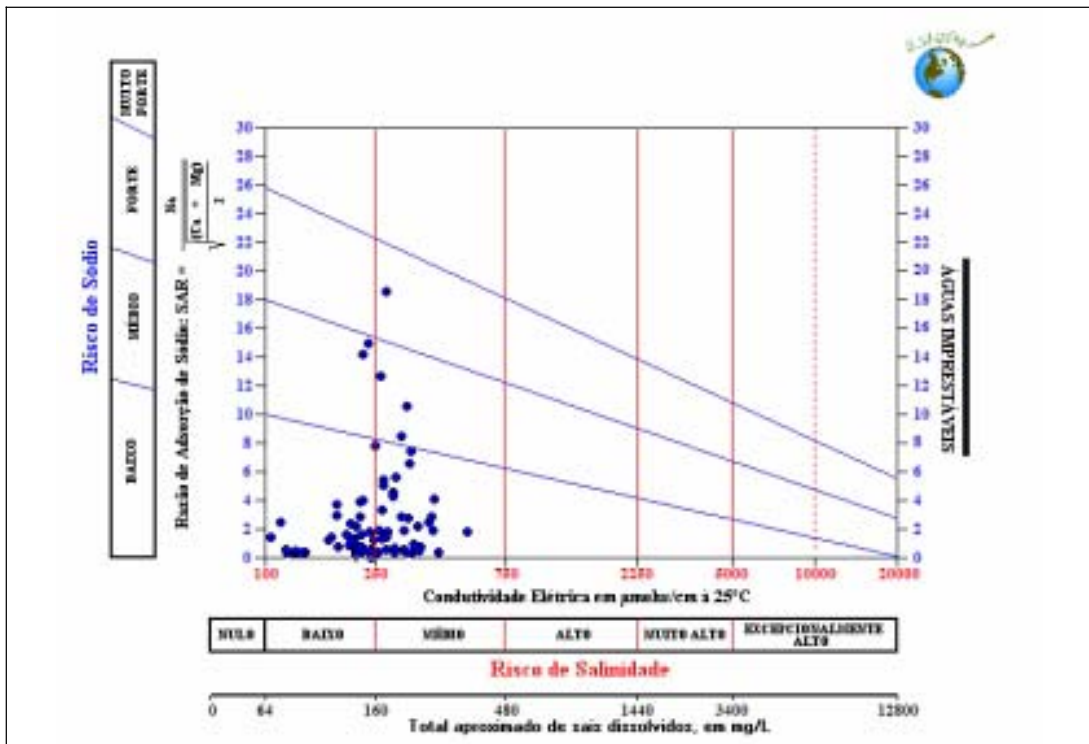
O gráfico de Wilcox da figura 6.1 mostra a qualidade da água para o aquífero fraturado. As águas deste aquífero apresentam risco de sódio baixo e de salinidade variando de baixo a médio. Portanto, não há restrições ao seu uso para irrigação.

O gráfico de Wilcox da figura 6.2 mostra a qualidade da água para o aquífero Guabirota. Neste aquífero as águas apresentam risco de sódio variando de baixo a forte e de salinidade variando de baixo a médio. Não apresentam restrições ao uso para irrigação.



Fonte: Rosa Filho E. F e Hindi E. C. (2006).

Figura 6.1 - Gráfico de Wilcox indicando a qualidade da água para o Aquífero Fraturado (Complexo Atuba).



Fonte: Rosa Filho E. F e Hindi E. C. (2006).

Figura 6.2 - Gráfico de Wilcox indicando a qualidade da água para o Aquífero Guabirotuba.

7. RESULTADOS

7.1 Classificação das águas

Para avaliar a tipologia e a variação do quimismo da água subterrânea, foram utilizadas 227 análises físico-químicas de água de poços tubulares profundos. Em estudos hidroquímicos, é necessário que as concentrações das espécies determinadas nas análises físico-químicas, normalmente expressas em mg/L, sejam convertidas para molalidade, uma vez que a combinação entre os elementos ocorre na relação direta entre o número de moles.

Os tipos de água foram determinados inicialmente com base na presença de mais de 50% dos compostos químicos. As águas cujos compostos químicos não atingiram 50%, foram denominadas pelos compostos químicos que apresentaram as duas maiores porcentagens, respectivamente.

Esta metodologia determinou inicialmente nove tipos principais de águas: bicarbonatada cálcica (40,5%); bicarbonatada cálcica-magnésiana (16,7%); bicarbonatada cálcica-sódica (16,3%); bicarbonatada sódica (11,9%); bicarbonatada sódica-cálcica (4,8%); bicarbonatada magnésiana (3,5%); bicarbonatada magnésiana cálcica (3,1%); bicarbonatada cloretada (2,6%) e cloretada-bicarbonatada magnésiana-sódica (0,4%). As porcentagens referentes às 227 análises físico-químicas podem ser visualizadas na figura abaixo 7.1.

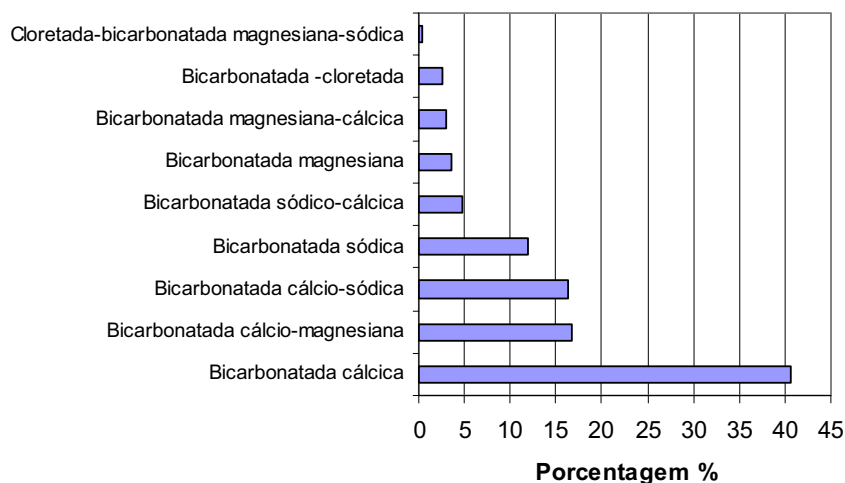


Figura 7.1- Classificação das águas subterrâneas do Município de Curitiba, em porcentagem de poços tubulares analisados.

As nove classificações foram resumidas a cinco tipos principais: bicarbonatada cálcica (73,5%); bicarbonatada sódica (16,7%), bicarbonatada magnésiana (6,6%), bicarbonatada-cloretada (2,6%) e cloretada-bicarbonatada magnésiana-sódica (0,4%).

No diagrama de Piper, campo correspondente aos cátions, são observadas duas tendências evolutivas para as águas. Primeiramente, as águas com predomínio do cátion Ca^{2+} , evoluem para águas mistas, próximo ao campo do Mg^{2+} e, secundariamente, as águas cálcicas evoluem para o vértice das águas sódicas.

No campo correspondente aos ânions, observa-se que a evolução das águas parte do vértice do HCO_3^- em direção ao vértice do Cl^- .

No campo dos resultados do Diagrama de Piper, observam-se 2 evoluções para as águas. A primeira é a tendência das águas bicarbonatadas cálcicas e bicarbonatadas magnesianas migrarem para o campo correspondente ao tipo de água bicarbonatada sódica que, localiza-se separada dos demais tipos e, a segunda tendência evolutiva das águas bicarbonatadas cálcicas e bicarbonatadas magnesianas é a migração para o campo das águas cloretadas mistas.

No diagrama de Piper, são agrupadas na forma gráfica, as composições químicas de diferentes águas levando em consideração a relação/razão entre os íons maiores. Com isso, as diferenças quantitativas são mascaradas. Por esta razão, foi elaborado um diagrama de Stiff a partir dos valores medianos de cada um dos cinco tipos de água (Figura 7.4).

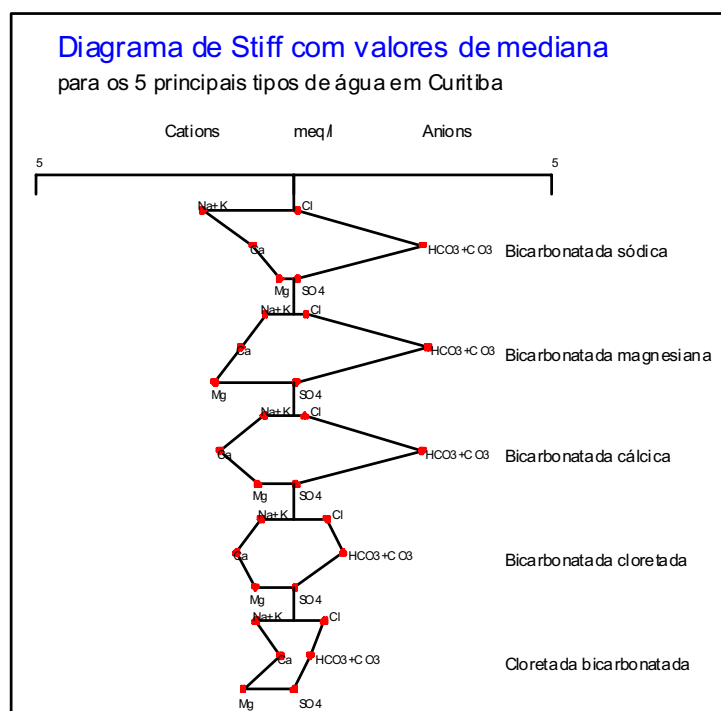


Figura 7.4- Diagrama de Stiff com valores de mediana correspondentes aos 5 principais tipos de águas subterrâneas do Município de Curitiba.

No diagrama de Stiff, observa-se que o Ca^{2+} é o segundo cátion mais abundante nas águas bicarbonatadas sódicas e magnesianas e, é o cátion mais abundante nas águas bicarbonatadas cloretadas. O $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ formam os cátions menos abundantes nas águas bicarbonatadas magnesianas, cálcicas e cloretadas.

As concentrações médias e as medianas dos cinco tipos de águas são observadas na tabela 7.1 e, a localização espacial dos tipos de água é visualizada na figura 7.5.

Tabela 7.1 – Concentrações médias e medianas das águas: bicarbonatada cálcica, bicarbonatada sódica, bicarbonatada magnesiana, bicarbonatada-cloretada e cloretada-bicarbonatada magnesiana-sódica.

TIPOS DE ÁGUAS	Bicarbonatada-cloretada mista e cloretada-bicarbonatada mista		Bicarbonatada magnesiana		Bicarbonatada sódica		Bicarbonatada cálcica	
	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana
Turbidez (UT)	4,59	0,30	3,67	2,00	0,69	0,50	0,98	0,50
Cor (uH)	7,14	5,00	19,42	6,50	3,36	2,50	3,86	2,50
Condutividade $\mu\text{Scm/s}$	258,21	258,00	297,56	300,00	268,57	255,50	274,28	263,50
pH	6,19	6,25	7,46	7,63	8,14	8,20	7,54	7,66
Dureza (mg/L)	98,86	98,46	103,13	101,90	100,37	91,04	107,06	103,95
STD (mg/L)	217,00	209,00	198,81	199,00	195,80	186,90	189,14	182,60
SiO_2 (mg/L)	25,08	31,65	27,81	28,00	19,55	21,55	28,21	32,75
HCO_3^- (mg/L)	61,27	52,32	148,47	158,00	154,50	149,09	149,37	150,42
CO_3^{2-} (mg/L)	0,00	0,00	0,01	0,00	4,06	1,50	0,86	0,00
Cl^- (mg/L)	26,33	21,00	11,16	8,00	4,51	1,80	10,12	6,93
F (mg/L)	0,06	0,01	0,76	0,24	0,64	0,33	0,17	0,00
PO_4^{3-} (mg/L)	0,76	0,11	1,77	0,02	2,32	0,01	0,29	0,00
SO_4^{2-} (mg/L)	0,36	0,50	9,09	1,20	8,58	2,45	4,40	1,00
NO_3^- (mg/L)	47,56	47,74	7,01	2,87	0,12	0,02	5,29	0,80
Ca^{2+} (mg/L)	19,79	20,16	20,26	20,89	15,20	15,88	30,01	28,95
Mg^{2+} (mg/L)	10,02	9,72	20,06	18,30	4,19	3,55	9,17	8,73
Na^+ (mg/L)	15,23	15,00	12,02	12,30	42,92	40,15	14,44	12,30
K^+ (mg/L)	3,06	3,60	2,17	1,50	2,12	1,80	2,49	2,10
Ferro total (mg/L)	0,24	0,12	0,58	0,13	0,36	0,02	0,25	0,07
N (nº de amostras)	6+1		13		38		169	

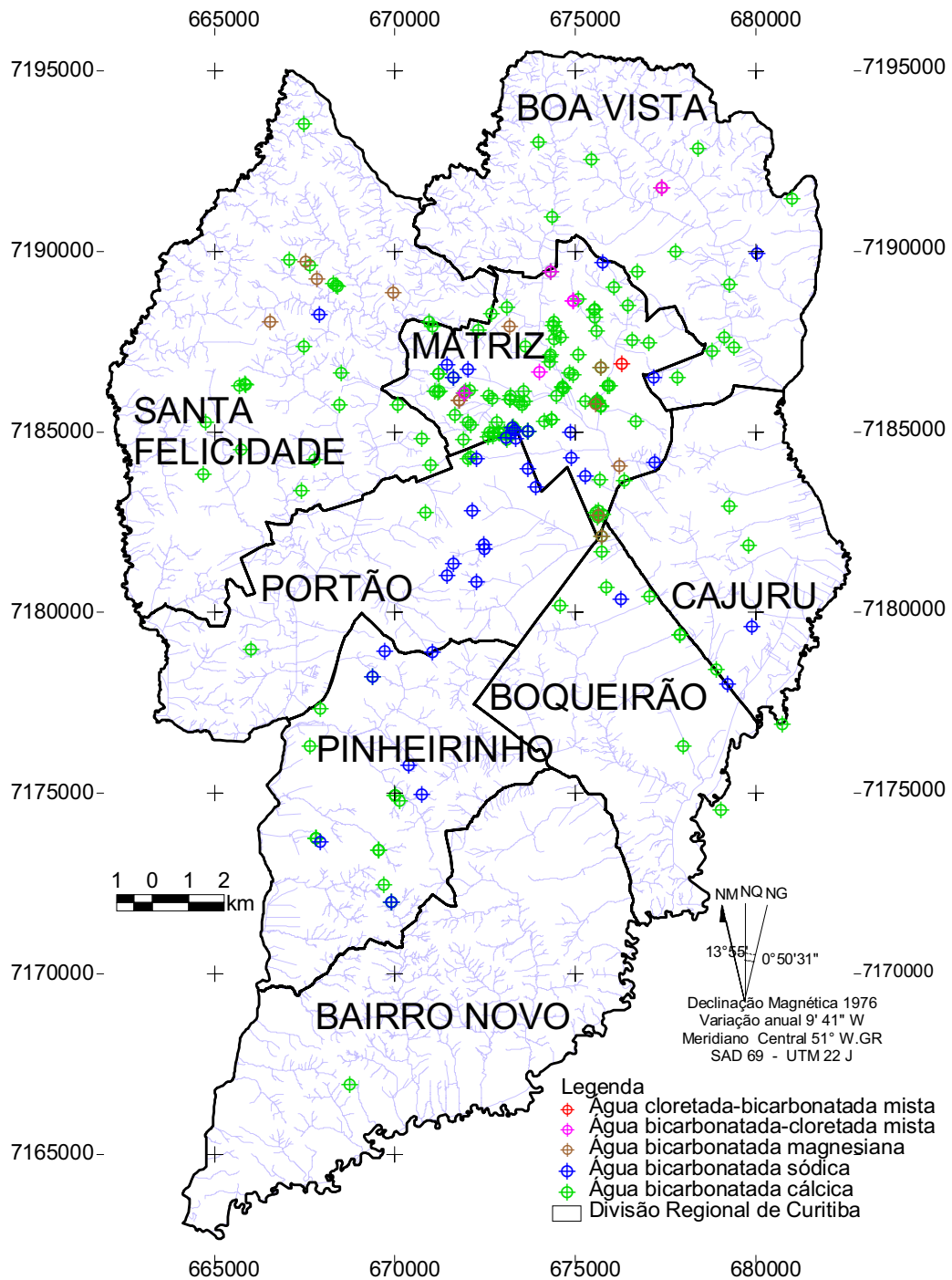


Figura 7.5 – A distribuição espacial dos tipos de águas: bicarbonatada cálcica, bicarbonatada sódica, bicarbonatada magnésiana, bicarbonatada-cloretada mista e cloretada-bicarbonatada mista.

A seguir, os cinco tipos principais de água serão apresentados em mapas e diagramas para uma melhor análise. Ressalta-se que para a elaboração dos diagramas de

Piper apresentados a seguir, foram incluídas as análises físico-químicas de poços perfurados no Município que não apresentavam coordenadas X, Y e Z. Também foram incluídas as diferentes análises físico-químicas coletadas de um mesmo poço. Portanto, o número de poços encontrado nos diagramas de Piper pode ser diferente do número de poços plotados espacialmente nos mapas a seguir.

7.1.1 Águas do tipo bicarbonatadas cloretadas e cloretada-bicarbonatada

As águas tipo bicarbonatadas cloretadas mistas foram determinadas em 6 poços tubulares e, o tipo de água cloretada-bicarbonatada mista foi determinada apenas em 1 poço tubular.

A predominância de Cl^- nas águas, bem como de SO_4^{2-} e NO_3^- , e suas relações com HCO_3^- , indicam provável contaminação causada por efluentes domésticos e/ou industriais (Rosa Filho *et al.*, 1998b).

A relação $\text{Cl}^- \times \text{NO}_3^-$, para as águas do tipo bicarbonatada cloretada e cloretada-bicarbonatada, apresenta coeficiente de determinação (R^2) de 0,87 (Figura 7.6), indicando a influência antrópica na degradação da qualidade destas águas. Segundo a Portaria do Ministério da Saúde, nº 518 de 2004, o valor máximo permitido para o nitrato são 45 mg/L.

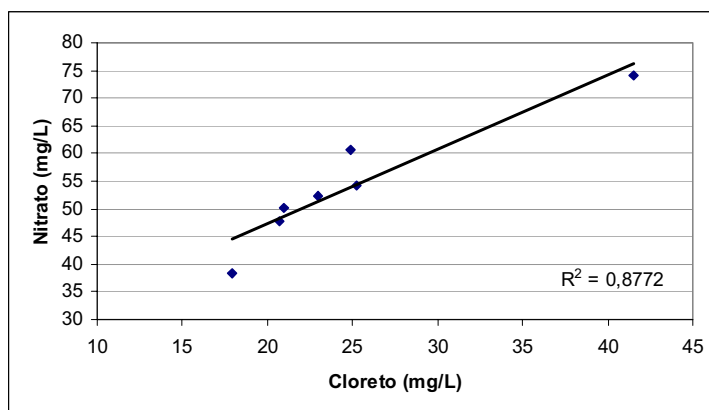


Figura 7.6 – Relação cloreto-nitrato para as águas bicarbonatadas-cloretadas e cloretada-bicarbonatada.

Estes 7 poços estão localizados na porção norte do município, nas regionais Matriz e Boa Vista, geograficamente situados nas bacias hidrográficas dos rios Belém e Atuba.

Estes tipos de água ocorrem em poços situados sobre os sedimentos da Formação Guabirota, exclusivamente ao sul da Falha do Passaúna e, apresentam-se distribuídos com direção preferencial NE-SW (Figura 7.7).

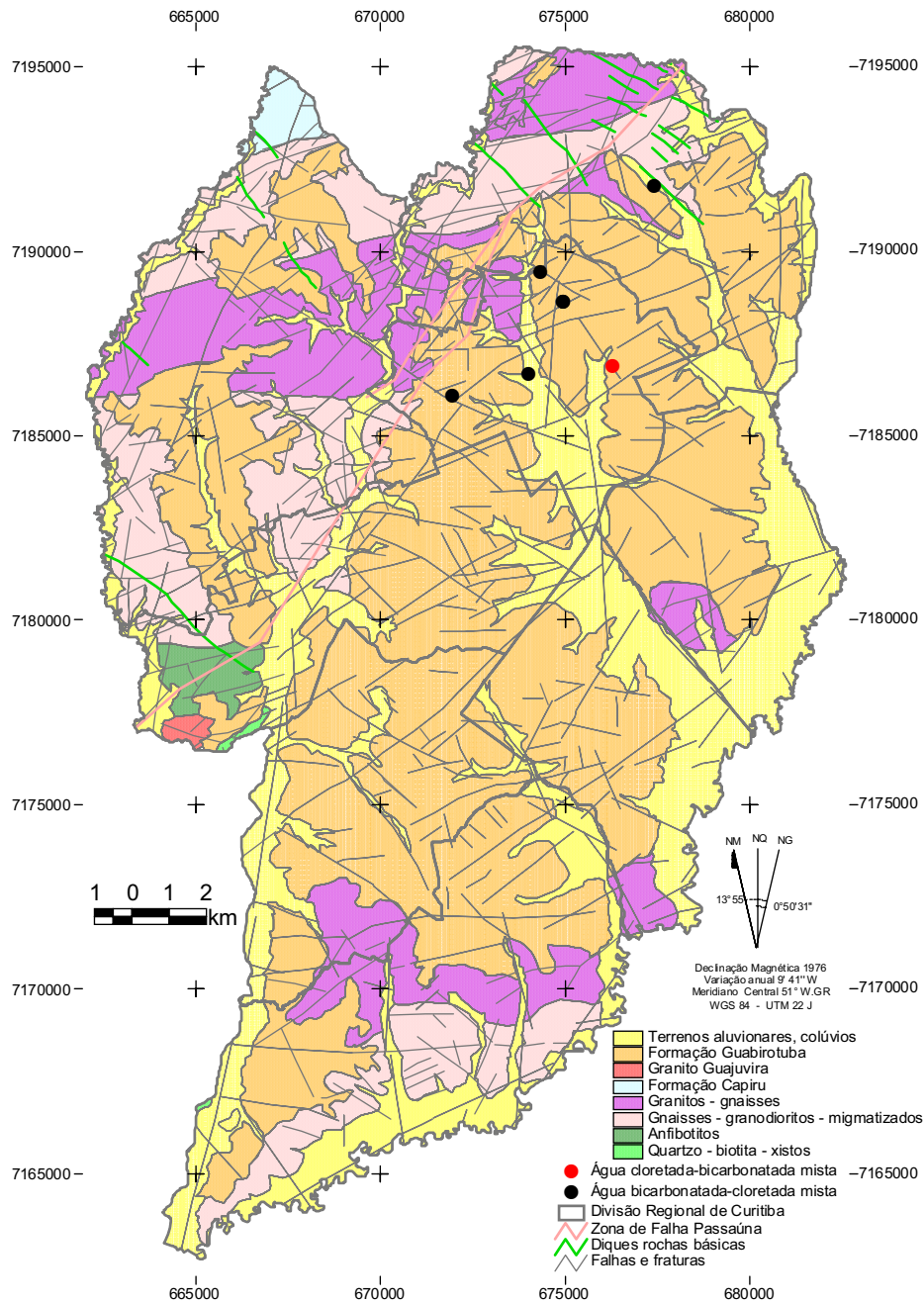


Figura 7.7 – Águas bicarbonatadas cloretadas mistas e cloretada-bicarbonatada mista.

O diagrama de Piper elaborado para as águas tipo bicarbonatadas-cloretadas e cloretada-bicarbonatada pode ser observado na figura 7.8.

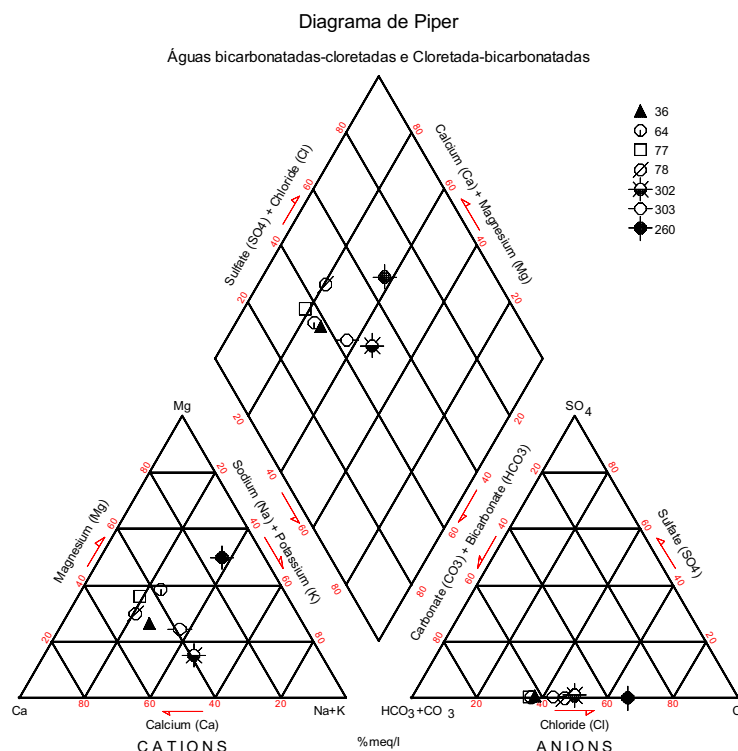


Figura 7.8 – Diagrama de Piper para as águas bicarbonatadas cloretadas e cloretada-bicarbonatada mista.

Nestas águas, o HCO_3^- representa em média 37,45% do total dos ânions, com mediana de 43,03% e, o Cl^- representa em média 29,52% do total dos ânions, com mediana de 29,20%. O Ca^{2+} apresenta mediana de 39,01%, seguido pela mediana do Mg^{2+} com 29,88% e Na^+ com 24,05%.

7.1.2 Águas tipo bicarbonatadas magnesianas

As águas tipo bicarbonatada magnesiana foram determinadas em 13 poços tubulares, nas regionais de Santa Felicidade, Matriz e Boa Vista, situados nas bacias hidrográficas dos rios Barigui, Belém e Atuba. A distribuição espacial dos poços com este tipo de água possui direção preferencial NW-SE.

Nas regionais da Matriz e Boa Vista, 8 poços estão locados sobre a Formação Guabirota e aluviões. Na regional de Santa Felicidade, 3 poços encontram-se sobre o Complexo Atuba e 1 poço está situado sobre a Formação Guabirota (Figura 7.9).

A predominância do Mg^{2+} em relação ao Ca^{2+} pode indicar o intemperismo dos silicatos (Gonçalves e Giampá, 2006).

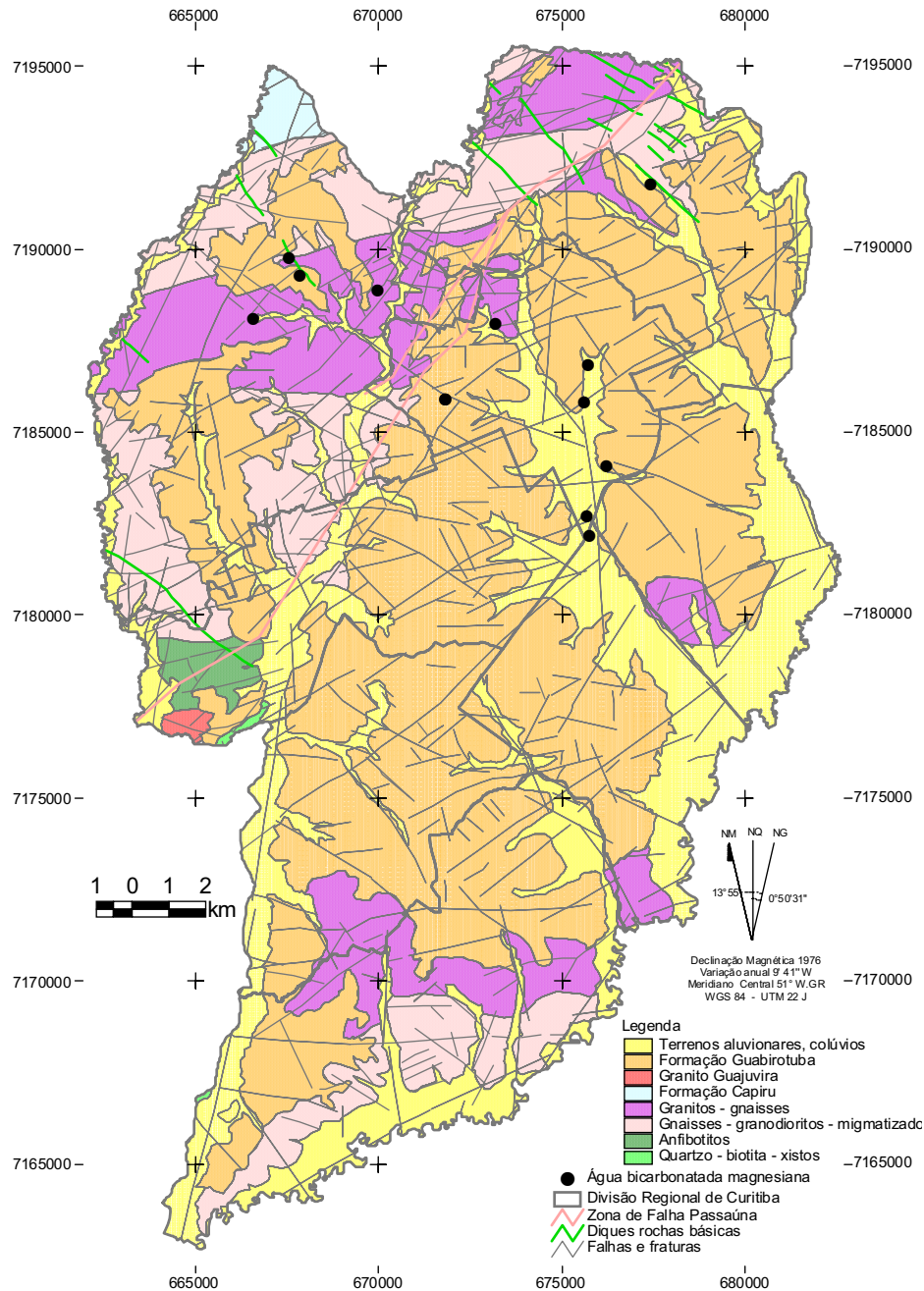


Figura 7.9 – Águas bicarbonatadas magnesianas.

O HCO_3^- representa em média 77,89% dos ânions neste tipo de água e, com relação ao total dos cátions, o Mg^{2+} representa em média 48,74%, seguido pelo Ca^{2+} com 31,29% e Na^+ com 16,97%.

O diagrama de Piper elaborado para este tipo de água é observado na figura 7.10.

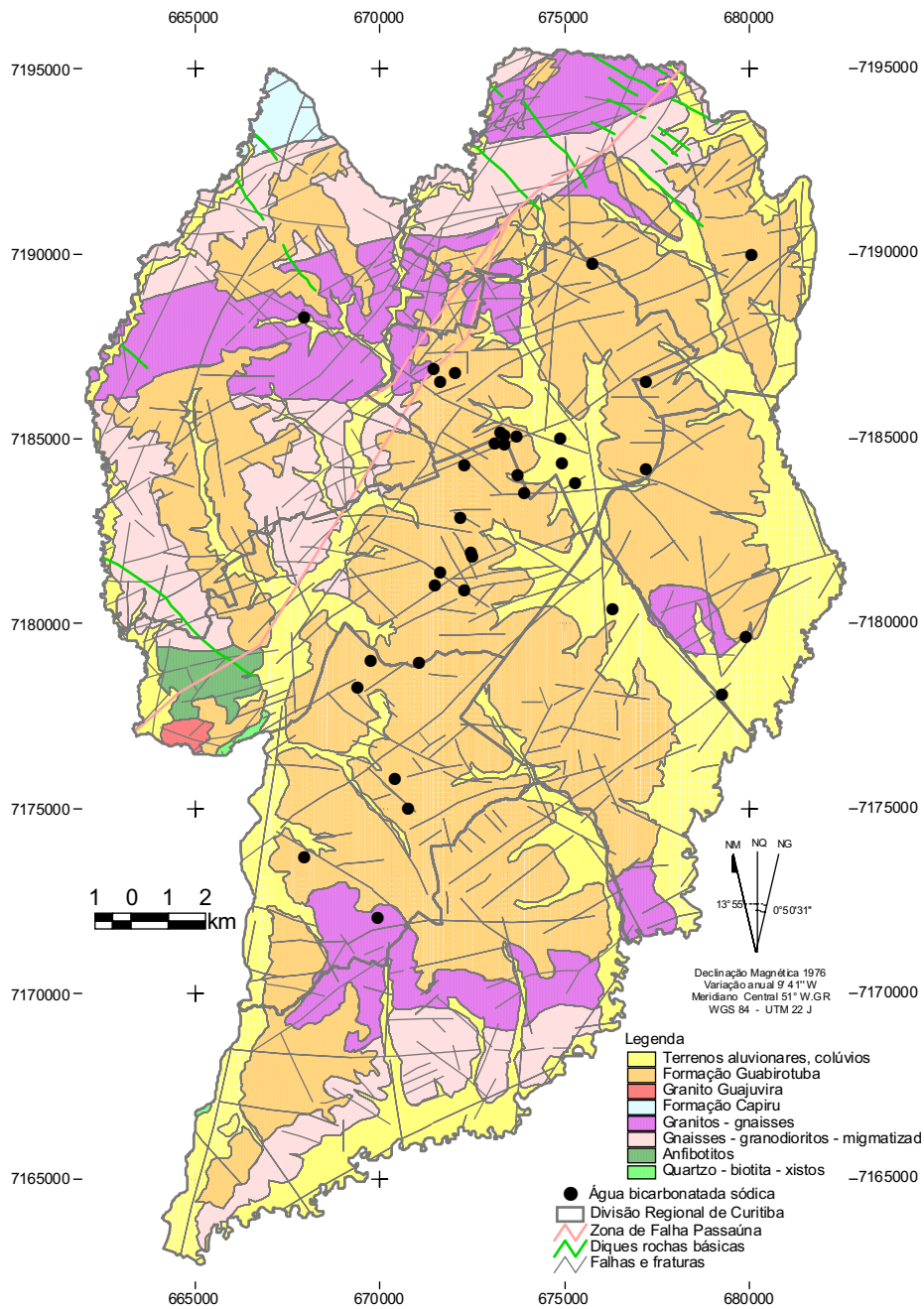


Figura 7.11 – Águas bicarbonatadas sódicas.

Este tipo de água apresenta, em relação ao total dos ânions, uma média de 84,26% de HCO_3^- e, para o total de cátions, média de 61,11% para o Na^+ , média de 25,45% para o Ca^{2+} e média de 11,30% para o Mg^{2+} .

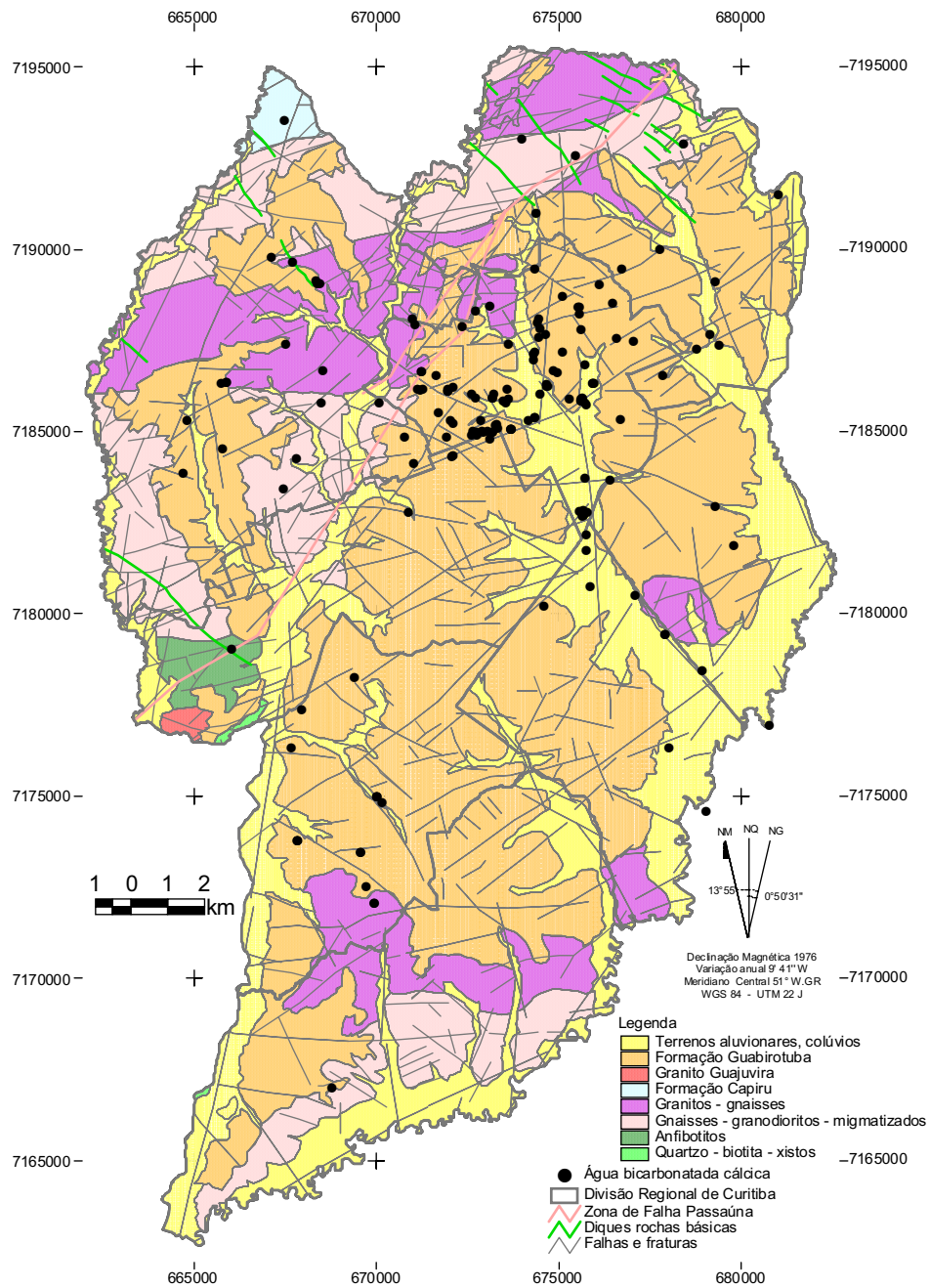


Figura 7.13 – Águas bicarbonatadas cálcicas.

O HCO_3^- representa em média 83,63% do total de ânions neste tipo de água, com relação ao total dos cátions, o Ca^{2+} representa em média 50,08%, seguido pelo Mg^{2+} com 25,43% e Na^+ com 21,86% do total de cátions existentes nas águas.

O diagrama de Piper para as águas bicarbonatadas cálcicas pode ser observado na figura 7.14.

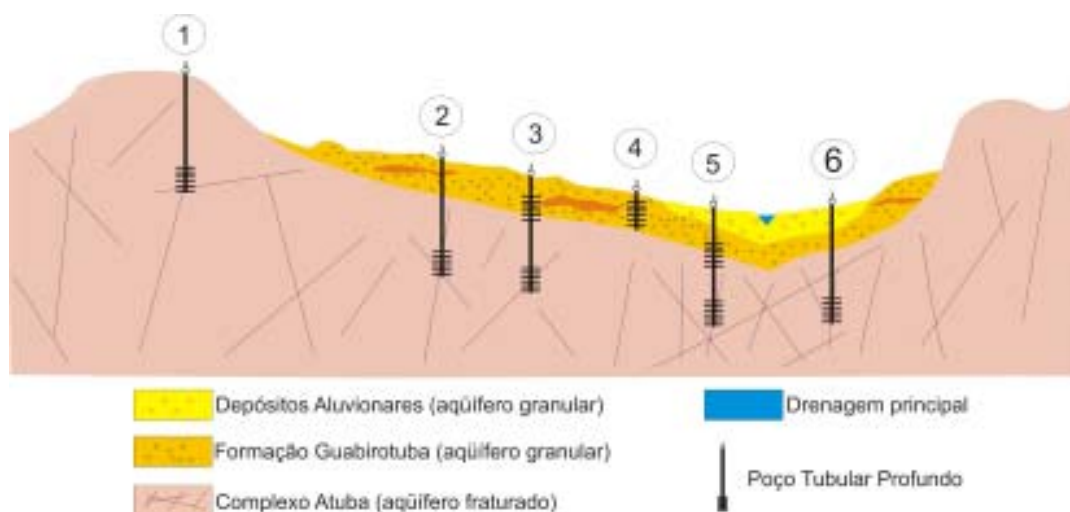


Figura 7.15- 1-Poço locado sobre o Complexo Atuba, com captação no aqüífero fraturado. 2- Poço locado sobre a Fm. Guabirotuba, com captação no aqüífero fraturado. 3- Poço locado sobre a Fm. Guabirotuba, com captação mista (aqüíferos fraturado e granular). 4- Poço locado sobre a Fm. Guabirotuba, com captação no aqüífero granular. 5 Poço locado sobre os depósitos aluvionares, com captação mista (aqüíferos fraturado e granular). 6- Poço locado sobre os depósitos aluvionares, com captação no aqüífero fraturado. Perfil hipotético e sem escala.

A comparação da localização geográfica dos poços com a litologia, objetiva verificar se há influência da geologia na tipologia das águas, uma vez que a interação água / rocha se processa de forma diferenciada para cada aqüífero.

Em poços situados diretamente sobre o Complexo Atuba, a interação água / rocha dar-se-á apenas com as rochas do Complexo (caso 1 da figura 7.15).

Em contrapartida, nos poços situados sobre os depósitos aluvionares e sedimentos da Formação Guabirotuba, a água precipitada irá interagir com estes litotipos durante sua infiltração, até atingir o aqüífero fraturado (assumindo para a área um modelo onde a recarga do aqüífero subterrâneo, Complexo Atuba, dá-se essencialmente por fraturas sub-verticais).

Desta forma, poços situados sobre os depósitos aluvionares ou sedimentos da Formação Guabirotuba, apresentam quimismo diferenciado dos poços locados sobre o Complexo Atuba, ainda que capturem água de um mesmo aqüífero (fraturado).

A poluição das águas superficiais e depósitos aluvionares por atividades antrópicas e os vazamentos existentes na rede de esgoto, contribuem para a degradação da qualidade da água que abastecerá os aqüíferos profundos.

Uma vez que os depósitos aluvionares estão condicionados às drenagens e que as drenagens possuem notável controle estrutural, é de se esperar nos sistemas de fraturas conectados uma interação entre as águas superficiais e subterrâneas. Para Chavez-Kus (2003), esta conectividade ocorre principalmente nos sistemas de fraturas de direção N-S e N05-15W.

Aspectos hidrodinâmicos e condicionantes estruturais à exploração de água não são objetivos deste trabalho e, são apresentados de forma detalhada, principalmente nos trabalhos de Salamuni R. (1981), Salamuni E. (1998) e Chavez-Kus (2003).

Com o intuito de avaliar a relação existente entre a localização geográfica, os litotipos sotopostos ao aquífero fraturado e a distribuição estatística dos teores, os poços tubulares foram separados com base em sua litologia aflorante (Complexo Atuba, Formação Guabirota ou depósitos aluvionares) e, analisados os teores dos seguintes parâmetros: SiO_2^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , SO_4^{2-} , Mg^{2+} , STD calculados, cor, condutância específica, alcalinidade.

A análise dos resultados da composição química média das águas dos poços tubulares profundos, apresentada sob a forma de mapas, gráficos e tabelas, permite tecer as seguintes considerações (Figura 7.16):

- As menores concentrações dos parâmetros químicos acima citados ocorrem em poços localizados sobre o Complexo Atuba.
- Os poços construídos na Formação Guabirota possuem valores intermediários e, os poços construídos em terrenos aluvionares apresentam os valores mais elevados.
- Em poços localizados sobre os sedimentos da Formação Guabirota, há maiores concentrações de PO_4^{3-} , NO_3^- , Na^+ , dureza e acidez quando comparados às outras unidades geológicas (Figura 7.17).

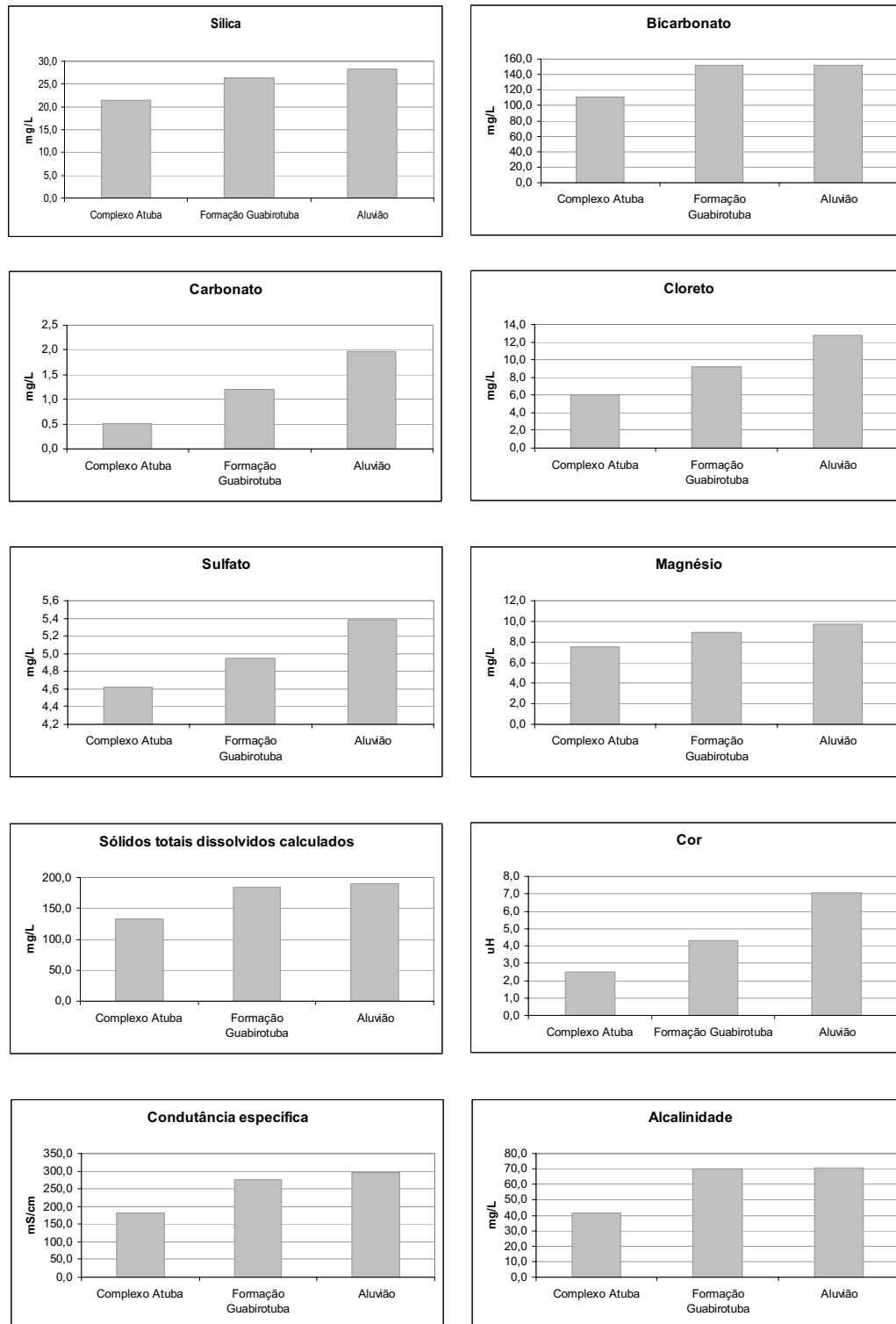


Figura 7.16 - Gráficos com as relações entre as concentrações físico e/ou químicas dos parâmetros sílica, bicarbonato, carbonato, cloreto, sulfato, magnésio, sólidos totais dissolvidos calculados, cor, condutância específica e alcalinidade versus a unidade geológica aflorante.

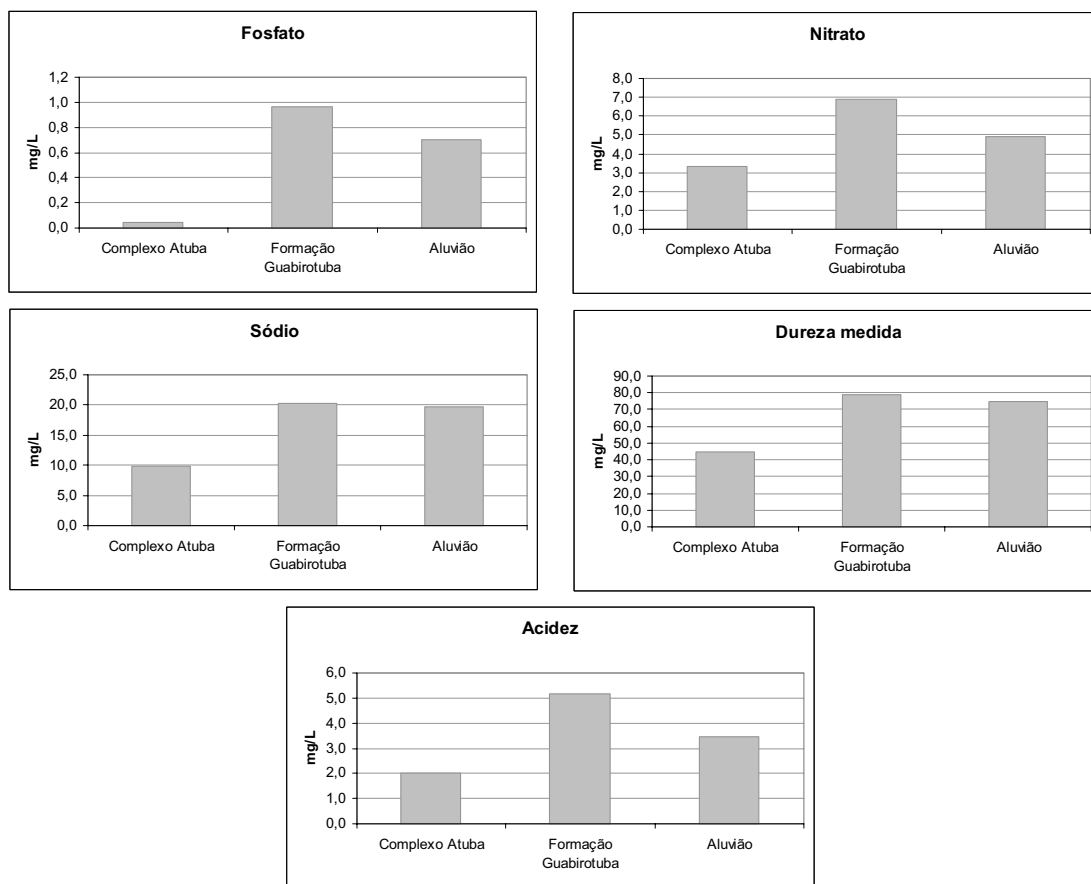


Figura 7.17 - Gráficos com as relações entre as concentrações físico-químicas dos parâmetros fosfato, nitrato, sódio, dureza medida e acidez, versus a unidade geológica aflorante.

Uma das origens de fosfato em quantidades excessivas nas águas superficiais é relacionada às descargas de esgotos sanitários. Nestas, os detergentes superfosfatados constituem a principal fonte, além da própria matéria fecal que é rica em proteínas. Outras fontes seriam efluentes industriais, fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios (IAP, 2005).

Sabe-se que os rios de Curitiba contribuem para a recarga das águas subterrâneas e, segundo IAP (2005) os rios encontram-se poluídos. Portanto, acredita-se que devido a conectividade estrutural entre estes sistemas, as águas superficiais degradam a qualidade das águas subterrâneas, principalmente em períodos de estiagem prolongada.

Segundo Custodio e Llamas (2001) a ocorrência do nitrato em águas subterrâneas pode estar relacionada ao processo de nitrificação, decomposição de matéria orgânica, relacionada à contaminação urbana, industrial ou agrícola. Muitas vezes o nitrato é um indicador de contaminação, com teores mais elevados na parte superior do aquífero livre.

7.3 Avaliação estatística multivariada

Os dados hidroquímicos utilizados na análise multivariada provêm de 166 das 227 análises físico-químicas existentes, onde foram analisadas 15 variáveis: pH, STD, HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , F^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , NO_3^- , SiO_2^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ e Ferro total. Optou-se pela não utilização de 61 análises por não apresentarem todas as 15 variáveis nos respectivos laudos analíticos.

Após a normalização dos dados foi calculada a matriz de covariância, que é simétrica e mostra a influência de uma variável sobre a outra (Tabela 7.2). Na matriz de covariância, a diagonal é ocupada pelas variâncias de cada variável que, neste caso, são todos iguais a 1.

Tabela 7.2- Matriz de covariância das variáveis avaliadas.

	pH	STD	SiO_2^-	HCO_3^-	CO_3^{2-}	Cl^-	F^-	PO_4^{3-}	SO_4^{2-}	NO_3^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Ferro total
pH	1,00	0,15	0,13	0,00	0,21	-0,25	0,09	0,01	0,14	-0,28	-0,26	-0,22	0,30	-0,10	0,07
STD	0,15	1,00	0,44	0,18	0,05	0,09	0,25	0,22	0,12	0,28	0,19	0,20	0,12	-0,09	0,13
SiO_2^-	0,13	0,44	1,00	0,00	-0,13	0,13	0,12	0,09	-0,04	0,15	0,18	0,17	-0,21	-0,13	0,00
HCO_3^-	0,00	0,18	0,00	1,00	0,14	0,12	-0,07	0,07	0,09	-0,28	0,65	0,51	0,27	0,05	0,03
CO_3^{2-}	0,21	0,05	-0,13	0,14	1,00	-0,06	-0,03	-0,07	0,10	-0,19	-0,15	-0,18	0,54	0,04	-0,04
Cl^-	-0,25	0,09	0,13	0,12	-0,06	1,00	-0,19	-0,05	-0,08	0,55	0,51	0,48	-0,18	0,06	-0,09
F^-	0,09	0,25	0,12	-0,07	-0,03	-0,19	1,00	0,13	0,29	-0,09	-0,24	-0,16	0,31	-0,09	0,02
PO_4^{3-}	0,01	0,22	0,09	0,07	-0,07	-0,05	0,13	1,00	-0,07	-0,01	0,04	-0,02	0,23	0,00	0,74
SO_4^{2-}	0,14	0,12	-0,04	0,09	0,10	-0,08	0,29	-0,07	1,00	-0,15	-0,02	0,03	0,28	-0,06	-0,09
NO_3^-	-0,28	0,28	0,15	-0,28	-0,19	0,55	-0,09	-0,01	-0,15	1,00	0,16	0,25	-0,26	0,09	-0,04
Ca^{2+}	-0,26	0,19	0,18	0,65	-0,15	0,51	-0,24	0,04	-0,02	0,16	1,00	0,54	-0,33	0,02	-0,03
Mg^{2+}	-0,22	0,20	0,17	0,51	-0,18	0,48	-0,16	-0,02	0,03	0,25	0,54	1,00	-0,36	0,09	-0,03
Na^+	0,30	0,12	-0,21	0,27	0,54	-0,18	0,31	0,23	0,28	-0,26	-0,33	-0,36	1,00	-0,05	0,14
K^+	-0,10	-0,09	-0,13	0,05	0,04	0,06	-0,09	0,00	-0,06	0,09	0,02	0,09	-0,05	1,00	0,08
Ferro total	0,07	0,13	0,00	0,03	-0,04	-0,09	0,02	0,74	-0,09	-0,04	-0,03	-0,03	0,14	0,08	1,00

As direções de máxima variância são dadas pelos autovetores da matriz de covariância e a variação total medida pelas variâncias será igual ao número de variáveis. Os autovalores fornecem o percentual da variância total associado às “novas variáveis” e, a soma dos autovalores será igual a variância total (Seixas Filho *et al*, 2006).

Com os autovetores da matriz de covariância foram calculados os 6 componentes principais dos dados que são responsáveis por 73% da variabilidade total do sistema (Tabela 7.3).

Tabela 7.3 – Contribuição de cada componente principal para a variabilidade global.

Componente	Autovalor	Variabilidade explicada pela componente	Variabilidade acumulada (%)
1	3,1028	3,102/15= 20,68%	20,6853
2	2,1840	2,184/15= 14,55%	35,2451
3	1,8033	1,803/15= 12,02%	47,2673
4	1,6072	1,607/15= 10,71%	57,9816
5	1,2245	1,224/15= 8,16%	66,1452
6	1,0877	1,087/15= 7,25%	73,3967

A partir dos *loading factors*, que são os coeficientes dos vetores unitários que dão as direções das componentes, são indicadas as variáveis que possuem maior influência na própria componente (Tabela 7.4).

Tabela 7.4- *Loading factors* das variáveis que compõem os seis componentes principais.

	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5	Fator 6
pH	-0,1751	0,4599	0,0059	-0,4824	-0,3471	0,0571
STD	0,1876	0,1820	0,2348	-0,6301	0,3516	-0,2866
SiO ₂ ⁻	0,1010	-0,1470	0,0476	-0,8005	0,1743	0,0301
HCO ₃ ⁻	0,8863	0,2597	0,0807	0,0220	-0,2300	-0,0749
CO ₃ ⁻	-0,0226	0,8733	-0,0989	0,0779	0,0006	0,0499
Cl ⁻	0,4089	-0,0143	-0,1021	0,0340	0,7149	0,1327
F ⁻	-0,2130	-0,0197	0,1315	-0,1774	-0,0248	-0,7887
PO ₄ ³⁻	0,0293	0,0080	0,9237	-0,0508	-0,0011	-0,0528
SO ₄ ²⁻	0,1199	0,1270	-0,1635	0,0200	-0,1080	-0,7495
NO ₃ ⁻	-0,0702	-0,1610	-0,0028	-0,0694	0,9035	0,0632
Ca ²⁺	0,8567	-0,1771	-0,0011	-0,0677	0,1762	0,1205
Mg ²⁺	0,7475	-0,2279	-0,0403	-0,0545	0,2866	0,0161
Na ⁺	-0,0976	0,7726	0,2133	0,0930	-0,1580	-0,3877
K ⁺	0,0513	0,0947	0,1236	0,4709	0,2497	0,0870
Ferro	-0,0143	0,0143	0,9113	0,0259	-0,0490	0,0761

Com a análise multivariada fatorial, são criadas “novas” variáveis ou “fatores”, dependentes das correlações das variáveis originais, cada uma delas caracterizada por seu *loading factor*.

Os *loading factors* (Tabela 7.3) foram multiplicados por suas respectivas variáveis originais e somados. Como foram capturados seis fatores, obtiveram-se seis “novas”

variáveis, que substituem as 15 originais. Exemplo: A partir dos valores determinados na análise físico química referente a amostra 1 (Tabela 7.5) e, dos valores determinados na tabela 7.4 (coluna correspondente ao Fator 1), foi realizado o seguinte cálculo para a determinação da “nova” variável da amostra 1, correspondente ao fator 1.

Tabela 7.5- Análise físico-química ou amostra 1 do total de 166. Os valores estão em mg/L, exceto o pH.

pH	STD	SiO ₂ ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Cl ⁻	F ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Ferro total
8,13	281	32,16	147,12	7,45	1,39	0,71	0,01	11,9	0,02	20,44	1,46	42	1,40	0,01

“Nova” variável da amostra 1 no Fator 1 = $(8,13*(-0,18)) + (281*0,19) + (32,16*0,1) + (147,12*0,89) + (7,45*(-0,02)) + (1,39*0,41) + (0,71*(-0,21)) + (0,01*0,03) + (11,9*0,12) + (0,02*(-0,07)) + (20,44*0,86) + (1,46*0,75) + (42*(-0,1)) + (1,40*0,05) + (0,01*(-0,01)) = 202,3213$

Cada uma destas 6 “novas” variáveis ou fatores possui 166 amostras (originadas das 166 análises físico-químicas). As 6 “novas” variáveis/fatores foram separadas em 3 intervalos de classes e, cada fator foi plotado separadamente, com seus respectivos intervalos de classes para possibilitar a visualização dos maiores e menores valores.

A figura 7.18 apresenta o fluxograma das etapas seguidas na análise multivariada e, a seguir é apresentado o resultado obtido em cada um dos seis fatores separadamente.

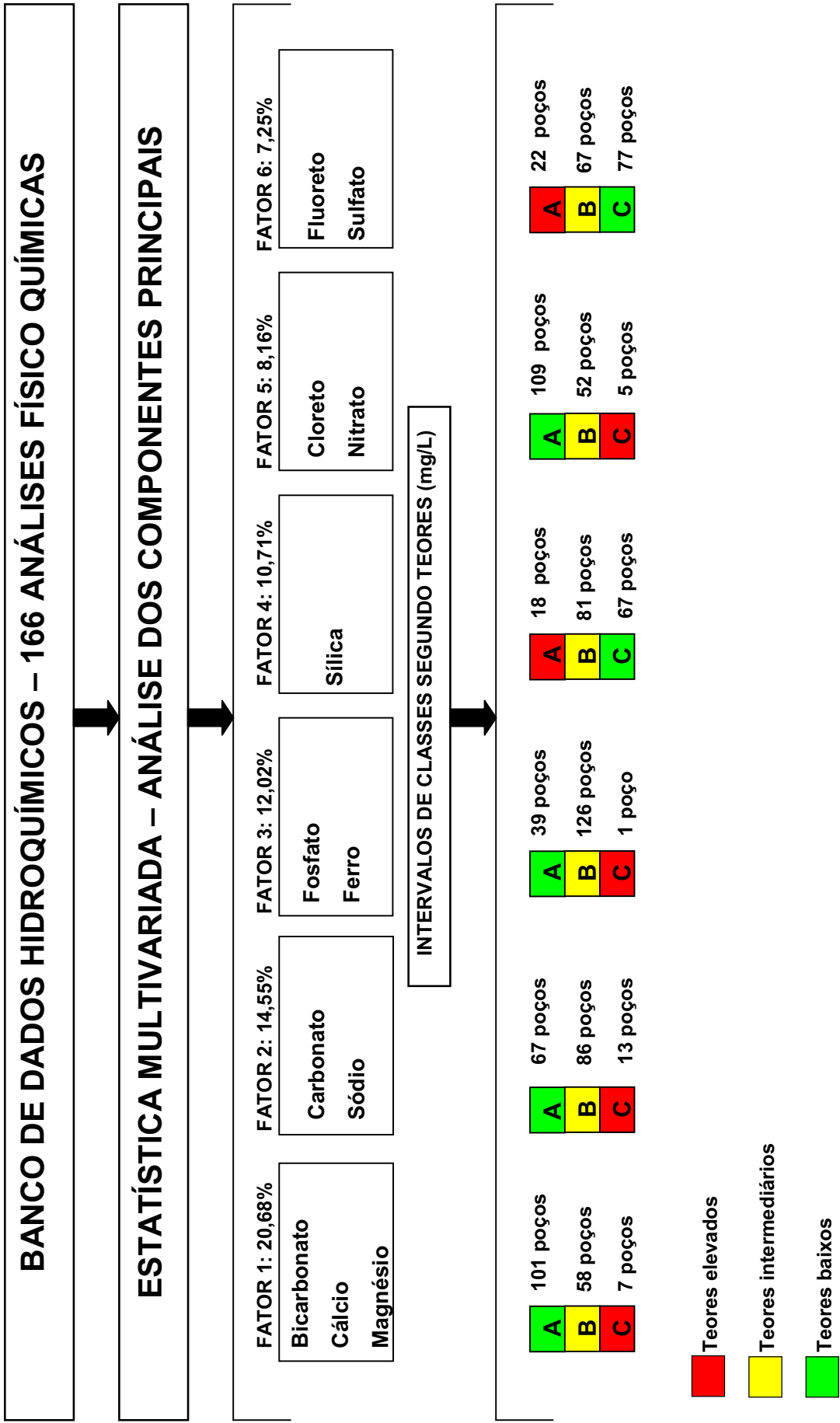


Figura 7.18- Fluxograma com as etapas da análise estatística multivariada.

7.3.1 Fator 1

No fator principal 1, responsável por 20,68% da variância total (Tabela 7.2), nota-se que o ânion HCO_3^- , seguido pelos cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} exercem maior peso (Tabela 7.3).

O Intervalo de classe A tem 101 poços com valores entre 74,39 e 195,63; o HCO_3^- , Ca^{2+} e Mg^{2+} apresentam os menores teores neste intervalo de classe e estão dispersos por toda a área; a classe B é composta por 58 poços onde os valores variam entre 196,96 e 303,99; o HCO_3^- , Ca^{2+} e Mg^{2+} apresentam os teores intermediários e distribuem-se principalmente ao sul da Falha do Passaúna.

A classe C representada por 7 poços com valores entre 316,93 e 428,84, apresenta os teores mais elevados de HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} e, localizam-se principalmente na regional da Matriz (Figura 7.19).

As médias e medianas de cada uma das 15 variáveis dentro do Fator 1, o qual está separado nos três intervalos de classes citados acima, podem ser visualizadas na tabela 7.6.

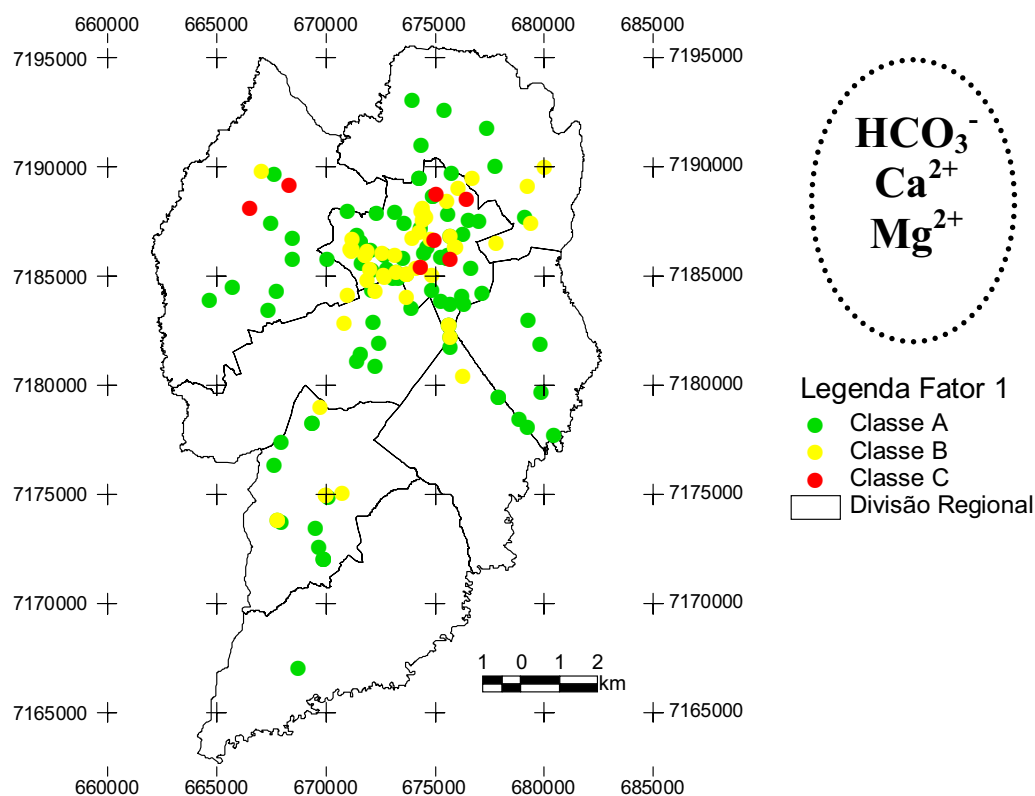


Figura 7.19- Distribuição espacial do Fator 1, separado em três intervalos de classes.

Tabela 7.6- Valores médios e medianos das 15 variáveis, separadas em três intervalos de classes, dentro do Fator 1.

Fator 1	Classe A		Classe B		Classe C	
	N= 101		N= 58		N= 7	
	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana
Profundidade (m)	135,48	117,50	157,35	120,00	109,63	103,25
Vazão (m ³ /h)	7,29	5,00	5,28	3,50	6,88	6,33
Turbidez (UT)	1,22	0,50	0,92	0,50	1,53	0,88
Cor (uH)	4,91	2,50	5,13	2,50	6,43	5,00
Condutividade $\mu\text{Scm/s}$	211,86	220,00	282,75	313,50	442,00	452,00
pH	7,44	7,63	7,65	7,81	6,48	7,46
Dureza calculada (mg/L)	81,27	79,25	125,06	118,15	246,25	247,64
STD calculados (mg/L)	152,82	154,64	215,70	212,43	302,83	276,78
SiO ₂ ⁻ (mg/L)	22,82	28,80	30,40	21,35	24,64	35,06
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	120,46	127,49	181,90	181,91	283,67	291,20
CO ₃ ²⁻ (mg/L)	1,23	0,00	1,45	0,00	1,67	0,00
Cl ⁻ (mg/L)	7,71	5,30	10,27	7,59	19,78	21,50
F ⁻ (mg/L)	0,31	0,00	0,28	0,14	0,14	0,13
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	0,42	0,00	1,51	0,02	0,59	0,06
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	4,75	0,50	5,41	0,65	7,58	7,79
NO ₃ ⁻ (mg/L)	6,38	0,59	6,55	0,21	6,93	0,52
Ca ²⁺ (mg/L)	20,59	20,16	31,65	32,09	59,66	58,60
Mg ²⁺ (mg/L)	7,26	6,80	11,19	10,10	23,64	24,60
Na ⁺ (mg/L)	18,33	12,70	23,03	19,40	13,66	12,80
K ⁺ (mg/L)	2,20	2,00	2,56	1,99	2,09	1,90
Ferro total (mg/L)	0,27	0,06	0,39	0,08	0,07	0,05

7.3.2 Fator 2

No fator 2 responsável por 14,55% variância global (Tabela 7.2), exercem maior peso os ânions CO₃²⁻ e Na⁺ (Tabela 7.3).

A classe A apresenta 67 poços com valores entre -1,88 e 54,58, nesta classe o CO₃²⁻ e o Na⁺ apresentam os menores teores e estão dispersos por toda área; a classe B tem 86 poços com valores entre 54,98 e 106,05; o CO₃²⁻ e o Na⁺ apresentam os teores intermediários nesta classe e, estão localizados principalmente ao sul da Falha do Passaúna.

A classe C com 13 poços, tem intervalo de classe entre 114,90 e 167,73; os poços da classe C apresentam em média os teores mais elevados de CO₃²⁻ e Na⁺. (Figura 7.20).

As médias e medianas de cada uma das 15 variáveis dentro do Fator 2, o qual está separado nos três intervalos de classes citados acima, podem ser visualizadas na tabela 7.7.

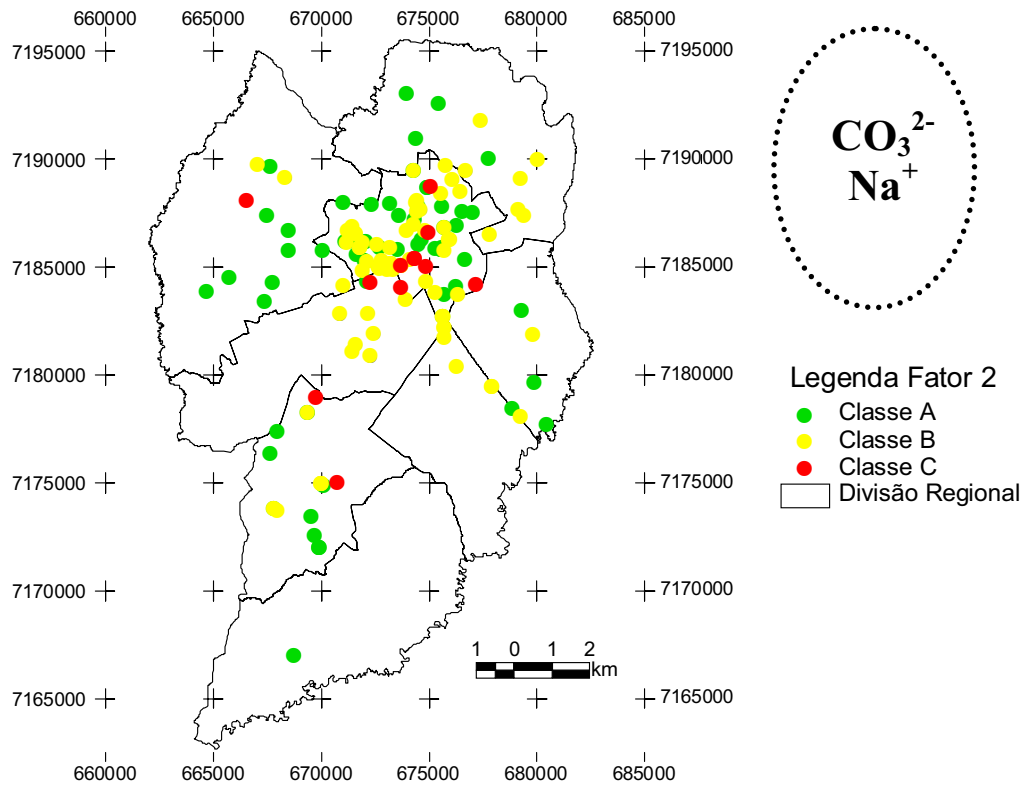


Figura 7.20- Distribuição espacial do Fator 2, separada em três intervalos de classes.

Tabela 7.7- Valores médios e medianos das 15 variáveis, separadas em três intervalos de classes, dentro do Fator 2.

Fator 2	Classe A		Classe B		Classe C	
	N= 67		N= 86		N= 13	
	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana
Profundidade (m)	126,72	101,50	145,76	117,00	215,50	201,00
Vazão (m^3/h)	7,16	5,25	6,41	4,11	3,76	3,00
Turbidez (UT)	1,45	0,34	0,87	0,50	1,15	0,70
Cor (uH)	5,73	0,00	4,27	2,50	6,73	5,00
Condutividade $\mu\text{Scm/s}$	203,11	207,00	263,05	267,50	358,54	340,00
pH	7,16	7,44	7,63	7,86	6,73	8,00
Dureza calculada (mg/L)	91,11	88,64	111,44	110,21	115,22	106,75
STD calculados (mg/L)	147,74	147,30	196,02	193,58	254,51	243,74
SiO_2^- (mg/L)	24,10	31,30	26,57	31,55	26,26	31,00
HCO_3^- (mg/L)	114,02	116,40	166,34	160,42	212,15	209,64
CO_3^{2-} (mg/L)	0,38	0,00	1,40	0,00	5,69	3,00
Cl^- (mg/L)	9,35	6,86	8,92	6,58	9,20	3,60
F^- (mg/L)	0,18	0,00	0,32	0,17	0,69	0,34
PO_4^{3-} (mg/L)	0,41	0,00	0,48	0,02	5,03	0,02
SO_4^{2-} (mg/L)	2,79	0,50	5,95	0,50	11,40	11,90
NO_3^- (mg/L)	8,06	2,30	5,78	0,17	2,78	0,02
Ca^{2+} (mg/L)	22,93	21,24	28,06	26,93	29,36	31,10
Mg^{2+} (mg/L)	8,22	8,31	10,05	8,78	10,18	5,82
Na^+ (mg/L)	11,33	10,30	22,54	20,40	45,00	42,00
K^+ (mg/L)	2,31	2,30	2,49	1,99	1,02	1,70
Ferro total (mg/L)	0,33	0,06	0,21	0,07	0,76	0,02

7.3.3 Fator 3

No fator 3, responsável por 12,02% da variância total (tabela 7.2), exercem maior peso os íons PO_4^{3-} e ferro total (Tabela 7.3).

A classe A deste fator é composta por 126 poços com valores entre 4,68 e 63,44. Neste intervalo de classe ocorrem os menores teores médios de PO_4^{3-} e ferro total que se distribuem por toda a área.

A classe B é composta por 39 poços com valores que variam entre 65,36 e 105,09. Nesta classe os poços apresentam teores médios intermediários de PO_4^{3-} e ferro total e, estão localizados principalmente ao sul da Falha do Passaúna.

Na classe C, ocorre apenas um poço com valor de 181,10 que apresentou o teor mais elevado de ferro total = 8,9mg/L e PO_4^{3-} = 61,26mg/L (Figura 7.21).

As médias e medianas de cada uma das 15 variáveis dentro do Fator 3, o qual está separado nos três intervalos de classes citados acima, podem ser visualizadas na tabela 7.8.

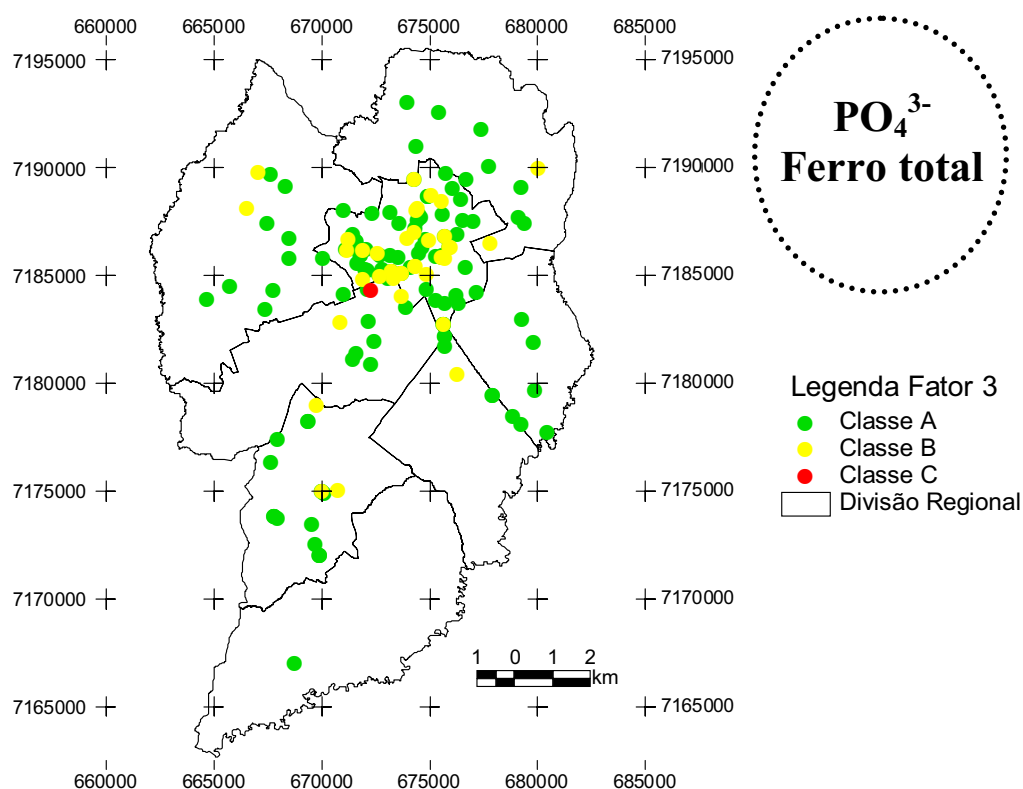


Figura 7.21- Distribuição espacial do Fator 3 , separada em três intervalos de classes.

Tabela 7.8- Valores médios e medianos das 15 variáveis, separadas em três intervalos de classes, dentro do Fator 3.

Fator 3	Classe A		Classe B		Classe C	
	N= 39		N= 126		N=1	
	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana
Profundidade (m)	131,24	113,00	177,93	141,00	-	-
Vazão (m ³ /h)	6,89	5,00	5,54	4,93	-	-
Turbidez (UT)	0,99	0,50	1,60	0,50	0,55	0,55
Cor (uH)	4,64	2,50	6,42	2,50	2,50	2,50
Condutividade $\mu\text{Scm/s}$	226,10	137,50	307,82	320,00	398,00	398,00
pH	7,38	7,68	7,79	7,85	7,83	7,83
Dureza calculada (mg/L)	94,80	91,41	131,66	127,95	106,75	106,75
STD calculados (mg/L)	165,33	166,00	228,37	218,33	327,49	327,49
SiO ₂ ⁻ (mg/L)	23,25	30,80	32,75	32,16	33,72	33,72
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	136,85	139,55	185,65	182,36	219,01	219,01
CO ₃ ²⁻ (mg/L)	1,11	0,00	2,07	0,00	0,00	0,00
Cl ⁻ (mg/L)	8,39	5,63	11,65	8,28	1,47	1,47
F ⁻ (mg/L)	0,25	0,00	0,46	0,20	0,01	0,01
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	0,25	0,00	1,05	0,06	61,26	61,26
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	4,68	0,50	6,57	1,60	0,50	0,50
NO ₃ ⁻ (mg/L)	5,71	0,35	9,06	0,87	0,02	0,02
Ca ²⁺ (mg/L)	24,07	23,19	32,47	31,71	33,16	33,16
Mg ²⁺ (mg/L)	8,43	7,87	12,29	10,92	5,82	5,82
Na ⁺ (mg/L)	17,95	13,70	24,40	19,80	70,00	70,00
K ⁺ (mg/L)	2,37	2,00	2,40	1,97	2,60	2,60
Ferro total (mg/L)	0,23	0,07	0,33	0,05	8,90	8,90

7.3.4 Fator 4

No fator 4, responsável por 10,71% da variância total (Tabela 7.2), o SiO₂⁻ exerce maior peso (Tabela 7.3).

Neste fator, o intervalo de classe A tem 18 poços com valores entre -275,67 e -179,84; o SiO₂⁻ apresenta os teores médios mais elevados e, os poços concentram-se principalmente na regional da Matriz.

A classe B tem 81 poços com valores entre -179,84 e -88,74; os poços deste intervalo de classe apresentam os teores intermediários de SiO₂⁻ e, estão situados principalmente ao sul da Falha do Passaúna.

Na classe C os valores variam entre -87,02 e 6,80 em 67 poços que apresentam os menores teores médios de SiO₂⁻ e, distribuem-se por toda a área (Figura 7.22).

A tabela com as médias e medianas de cada uma das 15 variáveis dentro do Fator 4, o qual está separado em três intervalos de classes (A, B e C), podem ser visualizadas na tabela 7.9.

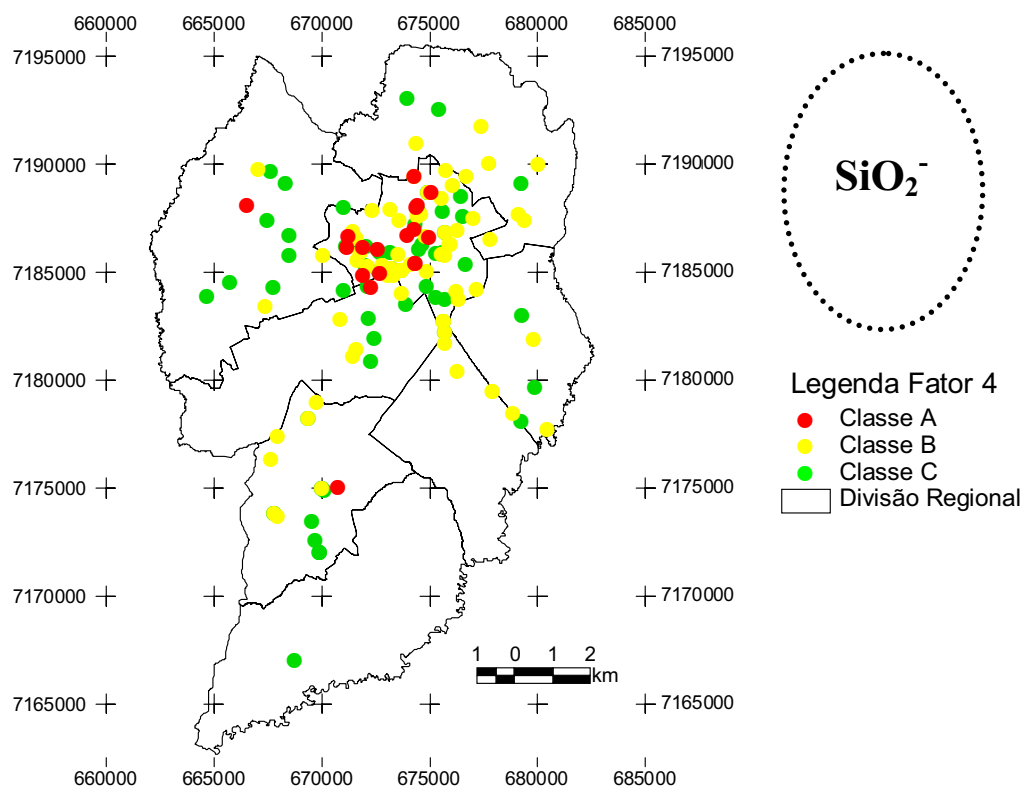


Figura 7.22- Distribuição espacial do Fator 4, separada em três intervalos de classes.

Tabela 7.9- Valores médios e medianos das 15 variáveis, separadas em três intervalos de classes, dentro do Fator 4.

Fator 4	Classe A		Classe B		Classe C	
	N= 18		N= 81		N= 67	
	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana
Profundidade (m)	205,13	186,00	146,48	130,00	124,09	100,00
Vazão (m^3/h)	3,95	3,68	6,85	5,00	6,90	5,00
Turbidez (UT)	1,28	0,53	1,42	0,50	0,74	0,00
Cor (uH)	5,14	2,50	8,25	5,00	1,10	0,00
Condutividade $\mu\text{Scm/s}$	311,22	345,00	250,84	257,00	223,45	247,50
pH	7,68	7,72	7,64	7,75	7,22	7,69
Dureza calculada (mg/L)	162,38	164,16	92,02	97,18	101,64	97,18
STD calculados (mg/L)	256,52	248,16	178,43	179,52	164,10	158,43
SiO_2^- (mg/L)	36,64	35,08	31,98	32,40	14,79	0,00
HCO_3^- (mg/L)	188,66	182,03	142,05	141,31	146,28	148,85
CO_3^{2-} (mg/L)	1,79	0,00	1,19	0,00	1,37	0,10
Cl^- (mg/L)	17,24	15,06	6,46	5,23	10,15	7,25
F^- (mg/L)	0,26	0,20	0,50	0,24	0,06	0,00
PO_4^{3-} (mg/L)	3,92	0,07	0,65	0,05	0,17	0,00
SO_4^{2-} (mg/L)	6,38	1,60	5,85	0,50	3,85	1,18
NO_3^- (mg/L)	16,35	5,81	6,05	0,34	4,31	0,23
Ca^{2+} (mg/L)	41,83	39,78	22,67	22,44	26,01	24,53
Mg^{2+} (mg/L)	14,08	13,15	8,61	7,63	8,91	8,78
Na^+ (mg/L)	20,98	18,22	20,87	14,70	18,13	14,50
K^+ (mg/L)	2,01	1,50	2,28	1,97	2,60	2,30
Ferro total (mg/L)	0,64	0,07	0,28	0,06	0,24	0,06

7.3.5 Fator 5

Os ânions NO_3^- e Cl^- exercem maior peso no quinto fator (Tabela 7.3), responsável por 8,16% da variância total (Tabela 7.2).

No Fator 5, o intervalo de classe A tem 109 poços com valores entre -48,05 e 40,04; estes poços apresentam os menores teores de NO_3^- e Cl^- que estão distribuídos por toda a área.

Na classe B, ocorrem 52 poços com valores que variam entre 41,06 e 127,08; estes poços possuem os teores intermediários de NO_3^- e Cl^- e, estão localizados principalmente na regional da Matriz.

A classe C é representada por 5 poços, nos quais os teores de NO_3^- e Cl^- são mais elevados e, predominam na regional da Matriz com valores entre 130,79 e 216,76 (Figura 7.23).

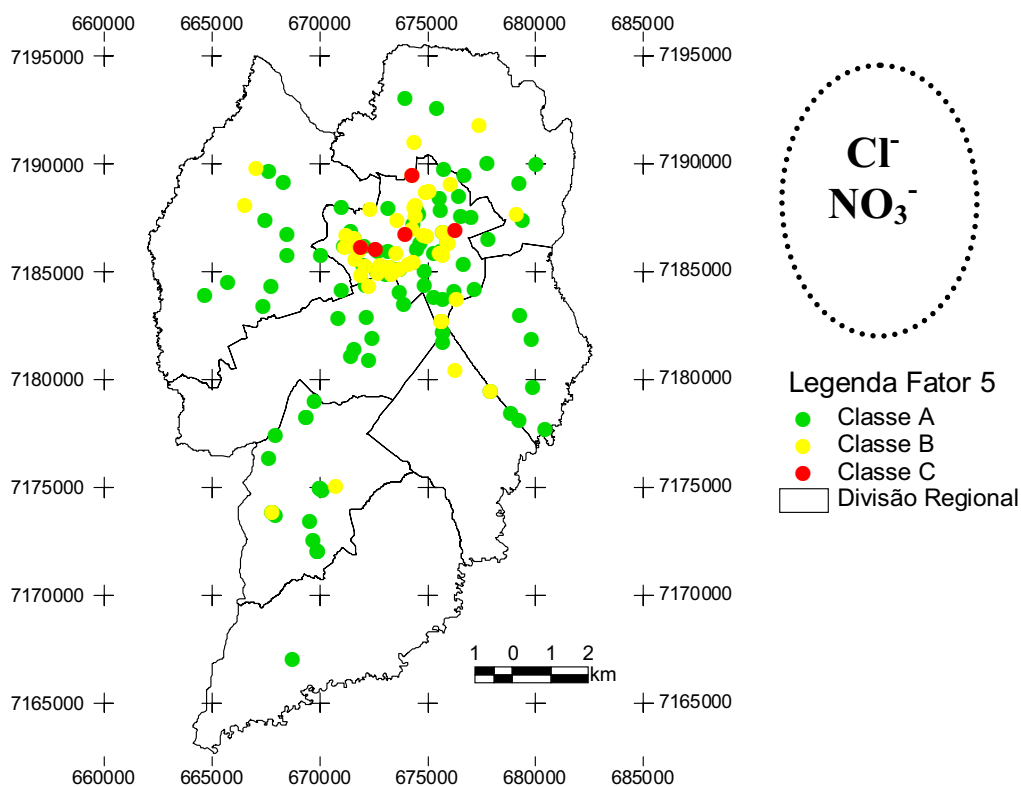


Figura 7.23- Distribuição espacial do Fator 5, separada em três intervalos de classes.

A tabela com as médias e medianas de cada uma das 15 variáveis dentro do Fator 5, o qual está separado em três intervalos de classes (A, B e C), podem ser visualizadas na tabela 7.10.

Tabela 7.10- Valores médios e medianos das 15 variáveis, separadas em três intervalos de classes, dentro do Fator 5.

Fator 5	Classe A		Classe B		Classe C	
	N= 109		N= 52		N= 5	
	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana
Profundidade (m)	129,73	100,00	170,61	130,50	153,67	141,00
Vazão (m ³ /h)	6,90	5,00	5,88	3,70	5,83	6,00
Turbidez (UT)	1,03	0,50	1,31	0,50	1,45	1,60
Cor (uH)	5,23	0,00	4,67	2,50	5,00	2,50
Condutividade $\mu\text{Scm/s}$	230,41	145,00	285,51	268,50	186,00	182,00
pH	7,52	7,79	7,43	7,59	6,82	7,32
Dureza calculada (mg/L)	92,21	90,12	124,14	117,28	135,88	165,68
STD calculados (mg/L)	168,67	167,67	203,24	199,82	130,11	144,65
SiO ₂ ⁻ (mg/L)	21,10	25,20	34,36	34,55	30,95	32,99
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	148,67	146,40	153,06	151,90	107,66	124,44
CO ₃ ²⁻ (mg/L)	1,52	0,00	1,04	0,00	0,02	0,00
Cl ⁻ (mg/L)	7,06	3,60	11,65	9,50	27,60	21,00
F ⁻ (mg/L)	0,27	0,00	0,36	0,18	0,06	0,00
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	0,18	0,00	2,11	0,08	0,94	0,11
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	5,36	0,70	4,74	0,50	3,16	0,50
NO ₃ ⁻ (mg/L)	2,16	0,04	11,40	6,17	49,04	46,00
Ca ²⁺ (mg/L)	23,82	22,93	30,43	27,72	30,72	32,70
Mg ²⁺ (mg/L)	7,96	7,63	11,70	10,10	14,38	13,60
Na ⁺ (mg/L)	21,67	16,80	16,19	12,25	15,86	15,00
K ⁺ (mg/L)	2,40	2,10	2,27	1,90	3,10	3,30
Ferro total (mg/L)	0,25	0,06	0,40	0,07	0,39	0,27

7.3.6 Fator 6

O F⁻ e o SO₄²⁻ exercem maior peso no sexto fator principal (Tabela 7.3), responsável por 7,25% da variância total (Tabela 7.2).

No Fator 6 o intervalo de classe A apresentou 22 poços com valores entre -143,76 e -94,70; com os teores médios mais elevados de F⁻ e SO₄²⁻ e estão localizados principalmente na regional da Matriz.

A classe B corresponde ao intervalo de entre -88,64 e -44,43 com 67 poços, que apresentam os teores intermediários de F⁻, SO₄²⁻ e localizam-se principalmente ao sul da Falha do Passaúna.

Na classe C, com relação aos íons F⁻ e SO₄²⁻, ocorreram 77 poços com valores entre -43,56 e 4,80; que apresentam em média os menores teores e localizam-se dispersos por toda a área (Figura 7.24).

A tabela com as médias e medianas de cada uma das 15 variáveis dentro do Fator 6, o qual está separados em três intervalos de classes (A, B e C), podem ser visualizados na tabela 7.11.

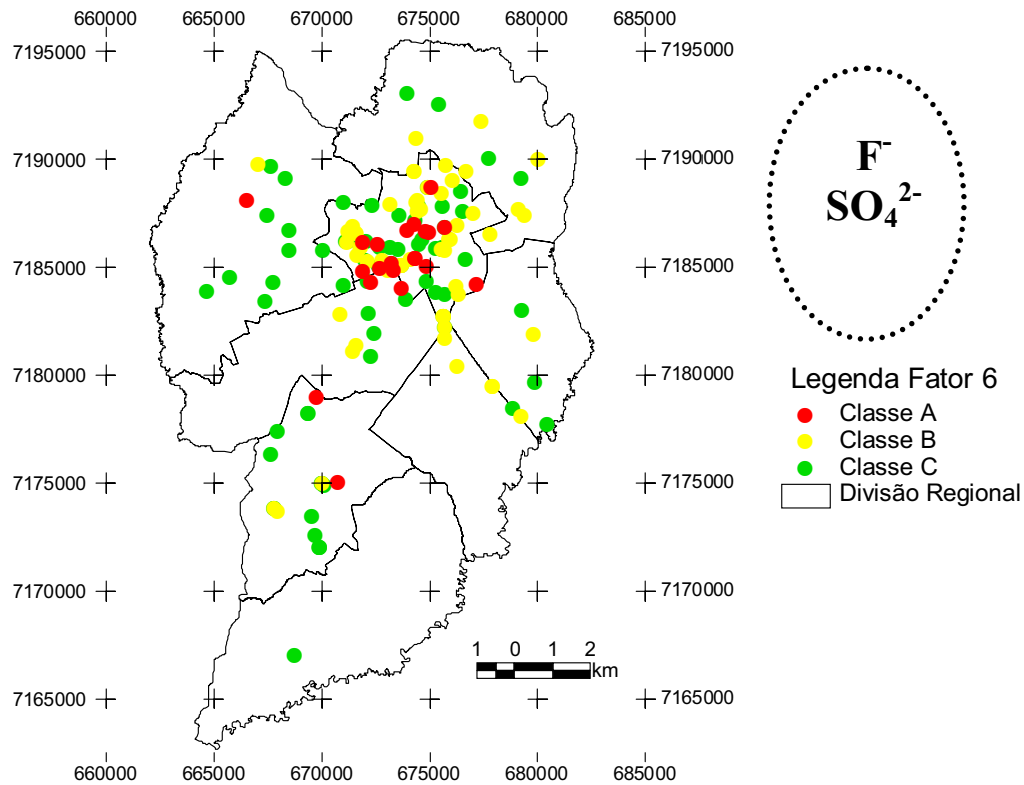


Figura 7.24- Distribuição espacial do Fator 6 , com três intervalos de classes.

Tabela 7.11- Valores médios e medianos das 15 variáveis, separadas em três intervalos de classes, dentro do Fator 6.

Fator 6	Classe A		Classe B		Classe C	
	N= 22		N= 67		N=77	
	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana
Profundidade (m)	224,43	236,00	144,74	120,00	124,84	100,00
Vazão (m ³ /h)	4,64	5,13	7,72	4,22	6,39	5,00
Turbidez (UT)	1,04	0,53	1,49	0,50	0,84	0,16
Cor (uH)	5,45	2,50	7,99	5,00	2,34	0,00
Condutividade $\mu\text{Scm/s}$	325,55	338,50	257,56	264,00	213,93	219,00
pH	7,81	7,80	7,64	7,80	7,23	7,60
Dureza calculada (mg/L)	130,71	129,60	101,35	99,71	97,66	94,46
STD calculados (mg/L)	250,01	240,94	182,74	183,84	160,02	155,48
SiO ₂ ⁻ (mg/L)	29,77	32,28	31,86	32,30	18,85	12,30
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	188,24	175,83	146,76	146,81	139,33	141,21
CO ₃ ²⁻ (mg/L)	2,99	0,00	0,98	0,00	1,15	0,10
Cl ⁻ (mg/L)	12,23	9,62	7,98	5,86	9,21	6,53
F ⁻ (mg/L)	0,64	0,36	0,44	0,23	0,07	0,00
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	3,01	0,04	0,82	0,05	0,17	0,00
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	15,97	13,17	3,98	0,50	2,97	0,50
NO ₃ ⁻ (mg/L)	10,66	0,11	7,06	0,59	4,73	0,24
Ca ²⁺ (mg/L)	32,20	32,33	25,25	24,71	25,09	23,20
Mg ²⁺ (mg/L)	12,22	10,46	9,31	15,00	16,46	12,00
Na ⁺ (mg/L)	33,50	24,60	19,08	15,00	16,46	12,00
K ⁺ (mg/L)	2,06	1,75	2,28	1,90	2,56	2,30
Ferro total (mg/L)	0,57	0,04	0,27	0,07	0,25	0,07

7.4 Análise numérica e distribuição espacial dos dados

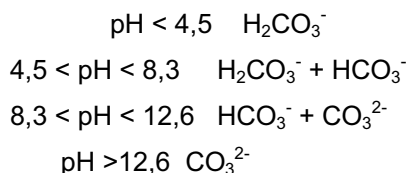
Para fins de sistematização, os dados foram dispostos em tabelas estatísticas, representados em gráficos e apresentados em mapa (escala 1:230.000), por meio de curvas de isoteores ou isovalores.

A análise dos parâmetros obedece a seguinte seqüência: características hidrogeoquímicas, correlação com as unidades geológicas e alinhamentos estruturais (Figura 4.7), distribuição geográfica por bacias hidrográficas (Figura 4.5) e unidades regionais (Figura 4.1).

Na análise estatística e na correlação com os mapas temáticos, os valores de referência para comparação foram determinados com base no terceiro quartil de cada parâmetro.

7.4.1 Bicarbonato

O dióxido de carbono dissolvido naturalmente na água aparece nas análises químicas, principalmente, na forma dos íons CO_3^{2-} e HCO_3^- . A ocorrência de H_2CO_3^* (ácido carbônico), HCO_3^- (bicarbonato) e CO_3^{2-} (carbonato) está relacionada ao pH da seguinte maneira (Custodio, Llamas 1983a; Freeze, Cherry, 1979; Fetter, 1994):



Ao comparar o mapa de isoteores do HCO_3^- (Figura 7.25) com o mapa geológico, observa-se que concentrações acima de 150 mg/L ocorrem em poços tubulares locados sobre todas as formações geológicas, ou seja, Complexo Atuba, Formação Guabirotuba e depósitos aluvionares.

Pode-se observar que a distribuição espacial do HCO_3^- apresenta tendência direcional segundo as principais feições estruturais com direção nordeste, assim como direção da Falha do Passaúna.

Ao sul da Falha do Passaúna, teores acima de 150 mg/L estão associados aos poços locados sobre a Formação Guabirotuba e depósitos aluvionares (bacias hidrográficas dos rios Belém e Atuba).

À norte da mesma falha, estas concentrações predominam sobre as rochas do Complexo Atuba e Formação Guabirotuba.

Nas 227 análises o HCO_3^- apresenta uma distribuição normal, média de 149,2 mg/L, desvio padrão de 52,3 mg/L e coeficiente de variação de 36,15 % (Figura 7.26).

As concentrações de HCO_3^- mostram um coeficiente de determinação (r^2) de 0,75 quando comparadas aos valores de STD, $r^2 = 0,67$ em relação a dureza calculada, $r^2 = 0,65$ com o cálcio, $r^2 = 0,52$ com a condutância específica e $r^2 = 0,51$ com o magnésio.

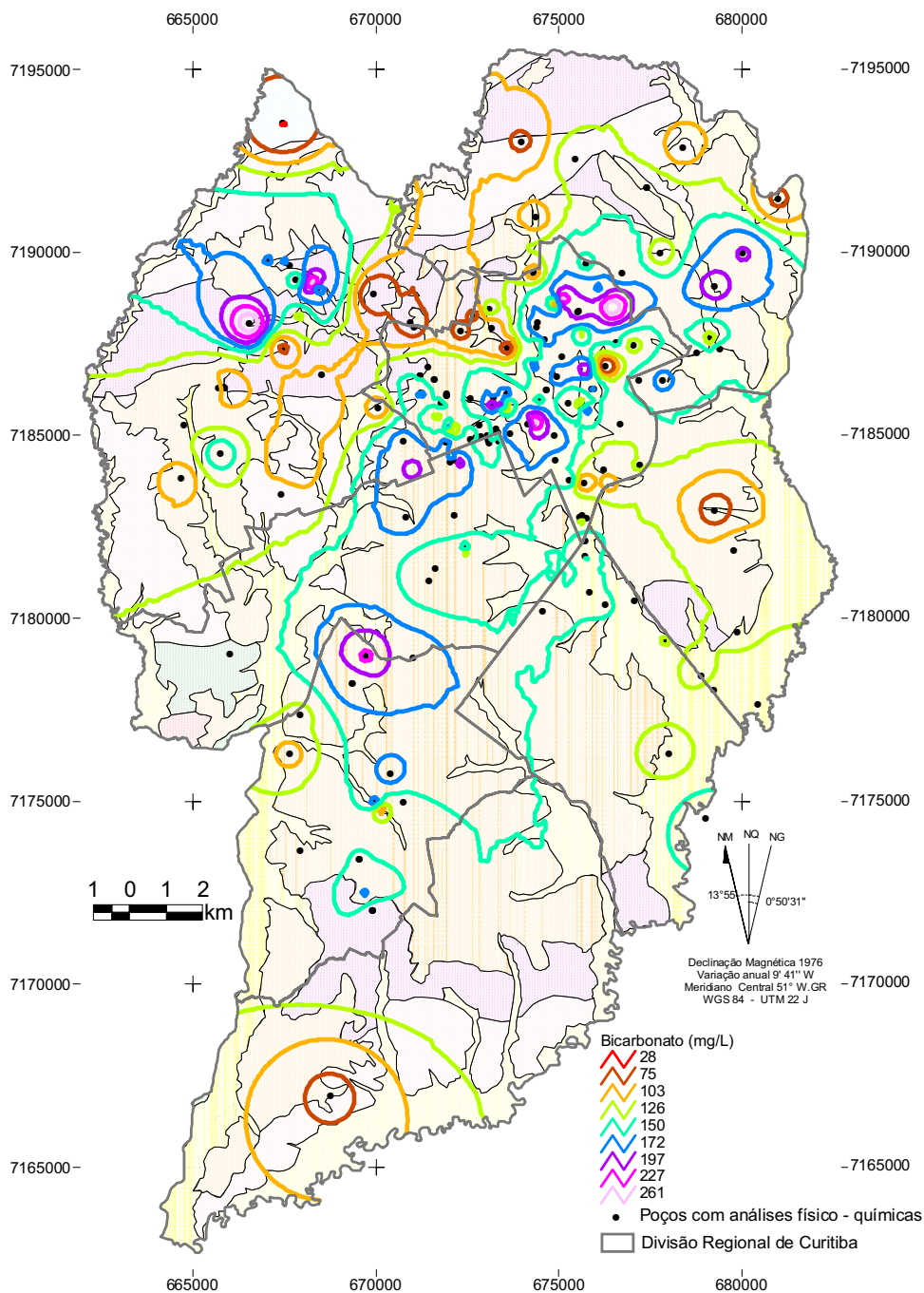


Figura 7.25 - Mapa com a distribuição espacial do isotores de HCO_3^- .

Bicarbonato

Análise da amostra	
Quantidade de dados	227
Valor Mínimo	18,2
Valor Máximo	353,8

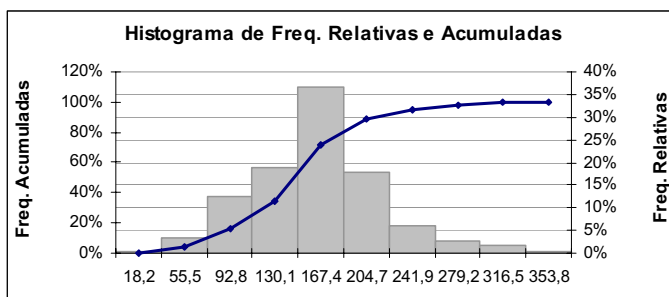
Medidas de Posicionamento	
Primeiro quartil	116,4
Segundo quartil	146,4
Terceiro quartil	170,9

Medidas de Tendência Central	
Média	144,7
Mediana	146,4
Moda	152,5

Medidas de Dispersão	
Variância	2.735,9
Desvio padrão	52,3
CV	36,15%

Contagem de dados dentro de		
Um desvio	195	70,7%
Dois desvios	262	94,9%
Três desvios	274	99,3%

Outras medidas	
Coefficiente de inclinação	0,35
Coefficiente de curtose	1,13



■ Frequência Relativa — Frequência Acumulada

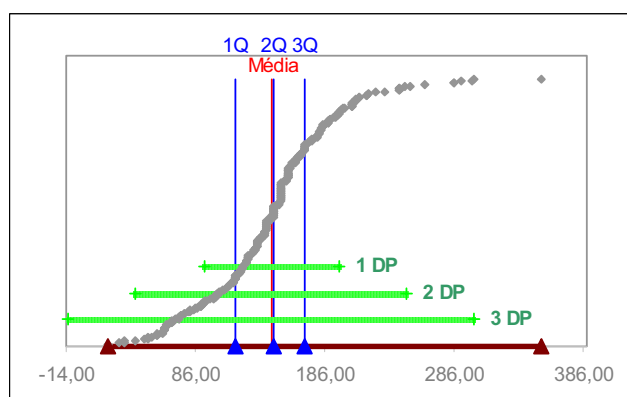


Figura 7.26 - Estatística univariada do íon HCO_3^- .

7.4.2 Carbonato

Como explicado no item 7.3.1, o CO_3^{2-} e HCO_3^- dependem do pH.

A existência de carbonato nas águas só ocorre quando os valores de pH superam 8,3.

Mais de 90% das análises físico-químicas apresentaram $\text{pH} < 8,3$, portanto, a ocorrência de CO_3^{2-} dá-se em apenas 10% das análises. Este fato é comprovado tanto pelos valores da mediana quanto da moda (ambos iguais a zero mg/L).

Ao comparar o mapa de isotores de CO_3^{2-} (Figura 7.27), com o mapa geológico, observa-se que concentrações acima de 0,1 mg/L ocorrem em poços tubulares localizados sobre o Complexo Atuba, Formação Guabirota e depósitos aluvionares.

Concentrações acima de 5 mg/L ocorrem apenas em poços situados a sul da Falha do Passaúna, sobre os sedimentos da Formação Guabirota.

Quanto à distribuição por bacias hidrográficas, concentrações acima de 5 mg/L, predominam nos poços situados na bacia do rio Belém.

O CO_3^{2-} apresenta uma distribuição assimétrica positiva, média de 1,5mg/L, desvio de 3,3mg/L e coeficiente de variação de 222,21% (Figura 7.28).

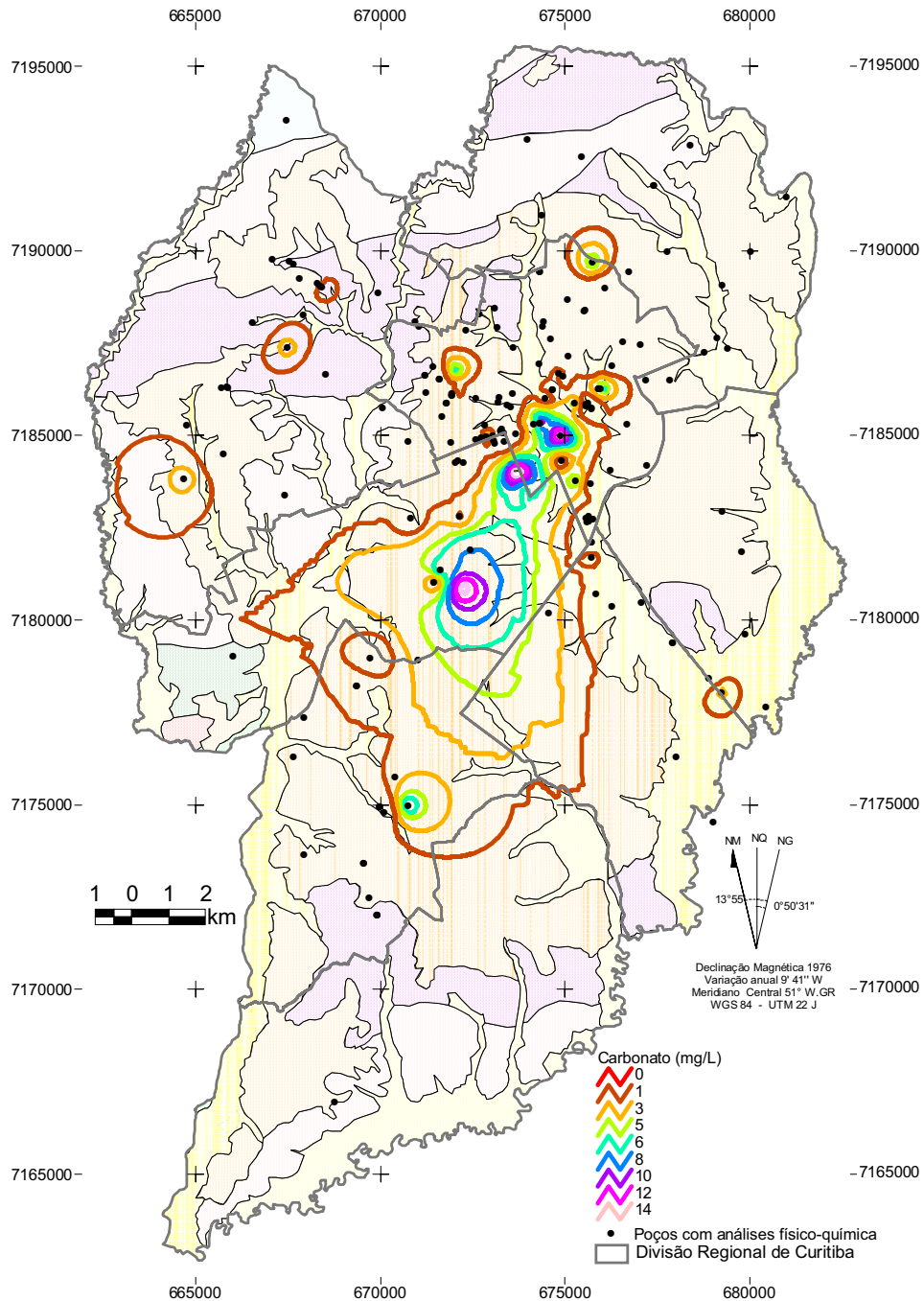


Figura 7.27 - Mapa com a distribuição espacial das isotores do CO_3^{2-} .

Carbonato (mg/L)

Análise da amostra	
Quantidade de dados	178
Valor Mínimo	0,0
Valor Máximo	18,0

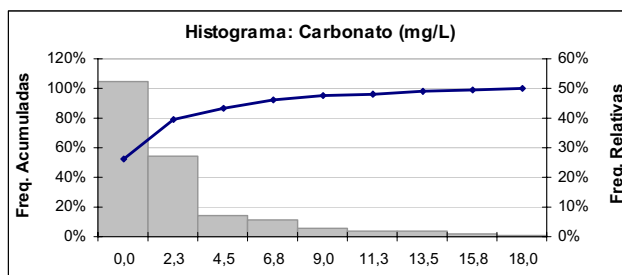
Medidas de Posicionamento	
Primeiro quartil	0,0
Segundo quartil	0,0
Terceiro quartil	0,1

Medidas de Tendência Central	
Média	1,5
Mediana	0,0
Moda	0,0

Medidas de Dispersão	
Variância	10,7
Desvio padrão	3,3
CV	222,21%

Contagem de dados dentro de		
Um desvio	155	87,1%
Dois desvios	168	94,4%
Três desvios	172	96,6%

Outras medidas	
Coefficiente de inclinação	2,67
Coefficiente de curtose	7,36



■ Frequência Relativa — Frequência Acumulada

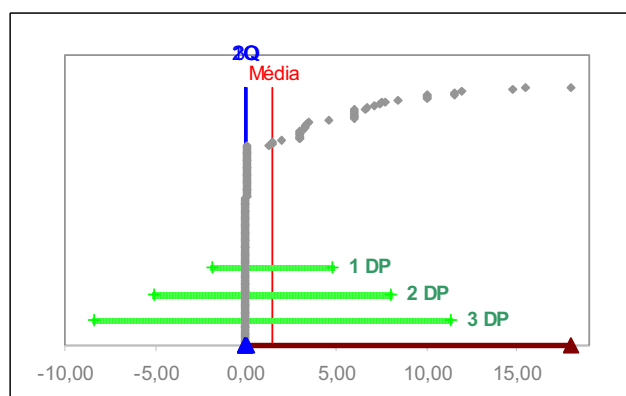


Figura 7.28 - Estatística univariada do CO_3^{2-} .

7.4.3 Cloreto

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.

A quantidade de Cl^- nas águas naturais, em geral, está associado ao Na^+ . A ocorrência deste íon na água está associada a intrusões salinas em zonas costeiras, passagem da água por rochas sedimentares formadas em ambiente marinho, infiltração de

água e lixiviação de solos em ambientes de clima árido, solubilização de depósitos de halita ou outro evaporito, além de aerossóis marinhos (Hindi, 1999).

O aumento dos teores de Cl^- está relacionado no ambiente urbano com o processo de tratamento de água para abastecimento público, agente na produção de papéis, clorados de limpeza, desinfetantes, plásticos, solventes, produtos de petróleo, têxteis, antissépticos, tintas, clorofórmios e tubos de PVC (Licht, 2001).

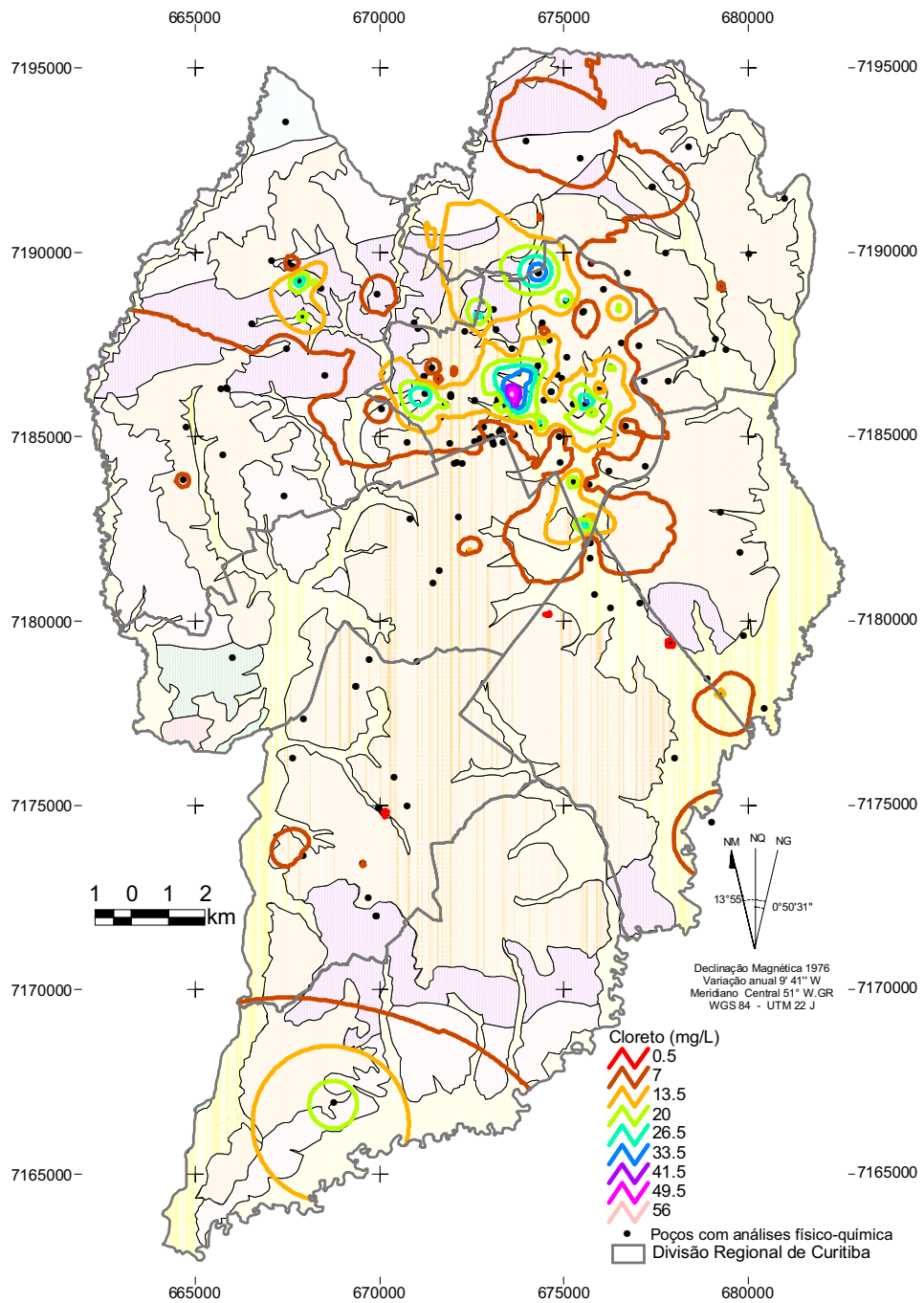
A interação do Cl^- (adicionado pelas companhias de saneamentos para tratamento de água), com compostos orgânicos (rede de esgotamento sanitário, adubo orgânico ou horizonte A dos solos) pode gerar um composto altamente carcinogênico chamado de organo-clorado, assim como o trihalometano (Bittencourt, com. pessoal, 2006).

Ao sobrepor o mapa de isoteores de Cl^- (Figura 7.29) com o mapa geológico, constata-se que teores acima de 13,5 mg/L predominam em poços localizados sobre terrenos aluvionares, nas bacias hidrográficas dos rios Belém, Barigui e Iguaçu.

Estes teores concentram-se nos poços situados ao sul da falha do Passaúna, na regional da Matriz.

O íon Cl^- tem uma distribuição assimétrica positiva, média de 9,7 mg/L, desvio padrão de 11,4mg/L e coeficiente de variação igual a 116,91% (Figura 7.30).

As concentrações do cloreto mostram um coeficiente de correlação $r^2 = 0,55$ com a dureza calculada, $r^2 = 0,54$ com o NO_3^- , $r^2 = 0,49$ com Ca^{2+} e $r^2 = 0,48$ com Mg^{2+} .

Figura 7.29 - Mapa com a distribuição espacial das isotores do Cl⁻.

Cloreto (mg/L)

Análise da amostra	
Quantidade de dados	226
Valor Mínimo	0,1
Valor Máximo	67,5

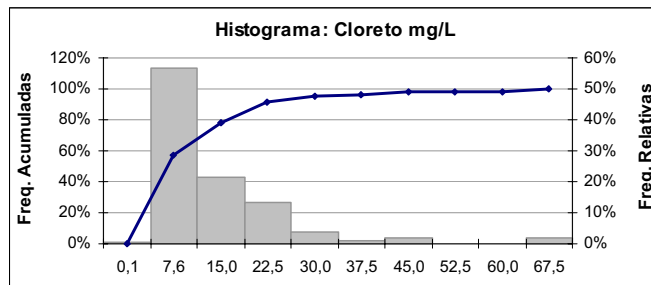
Medidas de Posicionamento	
Primeiro quartil	2,1
Segundo quartil	6,5
Terceiro quartil	12,5

Medidas de Tendência Central	
Média	9,7
Mediana	6,5
Moda	1,0

Medidas de Dispersão	
Variância	129,8
Desvio padrão	11,4
CV	116,91%

Contagem de dados dentro de		
Um desvio	198	87,6%
Dois desvios	217	96,0%
Três desvios	222	98,2%

Outras medidas	
Coefficiente de inclinação	2,54
Coefficiente de curtose	8,55



■ Frequência Relativa — Frequência Acumulada

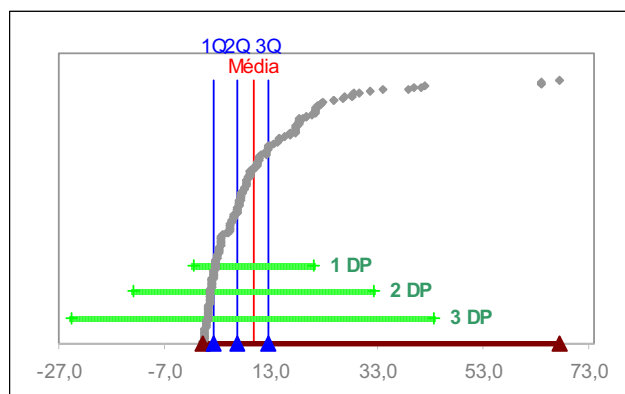


Figura 7.30 - Estatística univariada do Cl.

7.4.4 Fluoreto

Nas águas, o teor de F^- de até 1,5 mg/L é benéfico à saúde, prevenindo cáries dentárias principalmente em crianças. Acima deste teor causa fluorose dental e deformação dos ossos (CPRM, 2000b).

O F^- possui solubilidade limitada e, devido a rápida hidrólise, pouco contribui para alcalinidade da água. Em águas naturais freqüentemente ocorrem concentrações entre 0,1 e 1,5 mg/L, e raramente, em águas sódicas com pouco cálcio, superam 50 mg/L.

O F^- é liberado durante os processos de intemperismo e ocorre em solução principalmente na forma de F^- . O íon F^- substitui a hidroxila (OH^-) em minerais como micas, anfólios, apatitas e argilas.

Ao comparar o mapa de isotores (Figura 7.31) com o mapa geológico, observa-se que concentrações acima de 1,5mg/L ocorrem em poços localizados na Formação Guabirrotuba, próximo ao contato com depósitos aluvionares (bacias hidrográficas dos rios Barigui e Belém), porém restritos a poços localizados ao sul da Falha do Passaúna.

O histograma com a concentração do íon F^- tem forma assimétrica, média de 0,3 mg/L, desvio-padrão de 0,7mg/L e coeficiente de variação de 202,78% (Figura 7.32).

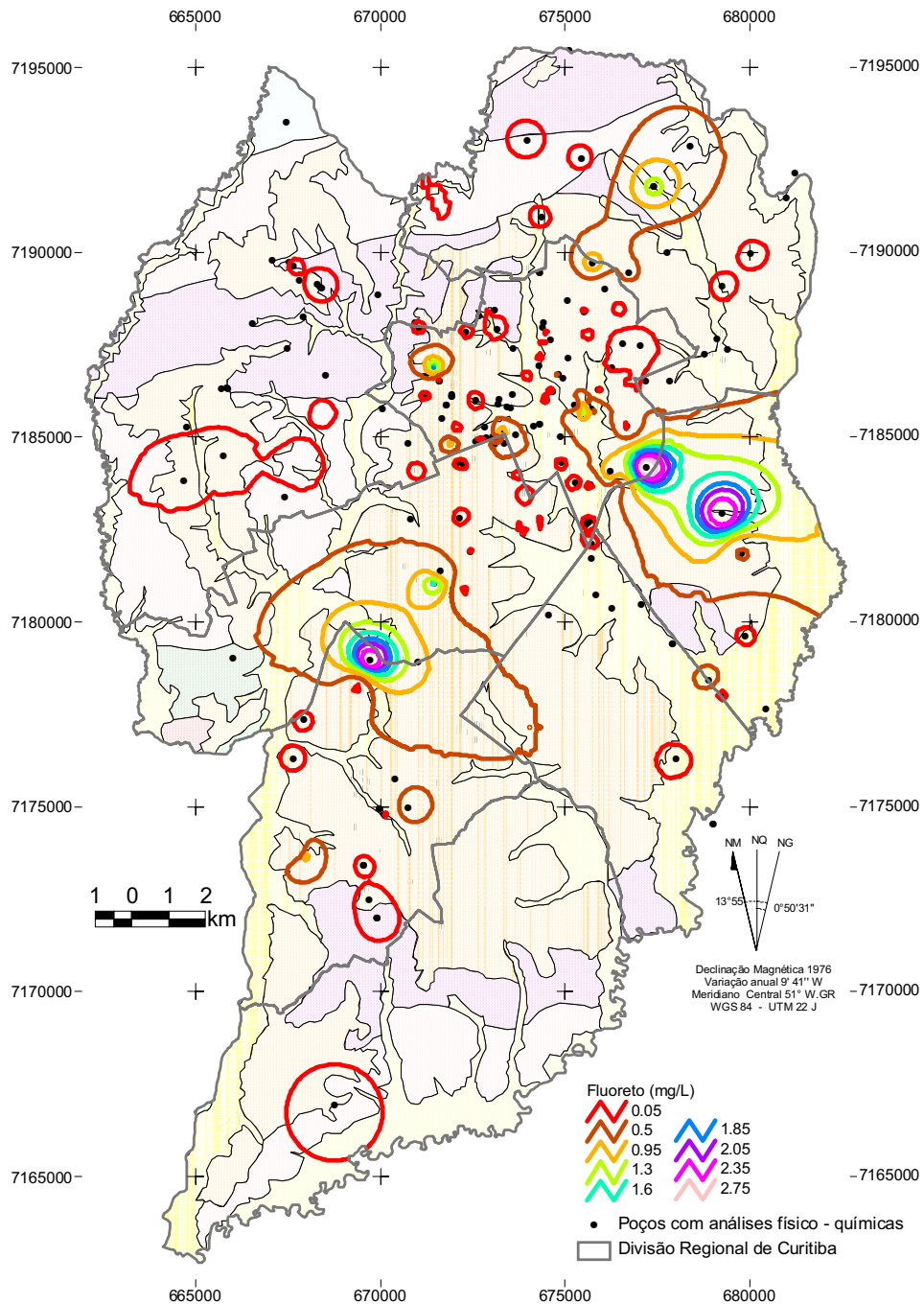


Figura 7.31- Mapa com a distribuição espacial das isotores do F^- .

Fluoreto

Análise da amostra	
Quantidade de dados	219
Valor Mínimo	0,0
Valor Máximo	4,9

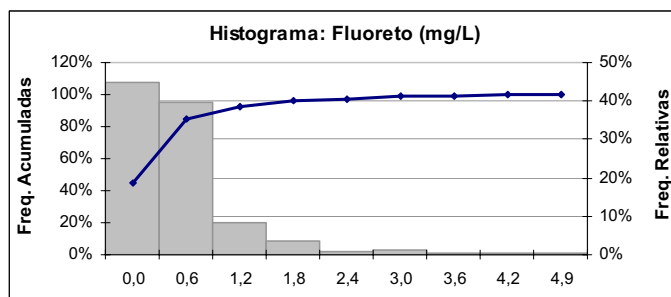
Medidas de Posicionamento	
Primeiro quartil	0,0
Segundo quartil	0,0
Terceiro quartil	0,4

Medidas de Tendência Central	
Média	0,3
Mediana	0,0
Moda	0,0

Medidas de Dispersão	
Variância	0,4
Desvio padrão	0,7
CV	202,78%

Contagem de dados dentro de		
Um desvio	198	90,4%
Dois desvios	210	95,9%
Três desvios	213	97,3%

Outras medidas	
Coefficiente de inclinação	3,76
Coefficiente de curtose	17,54



■ Frequência Relativa — Frequência Acumulada

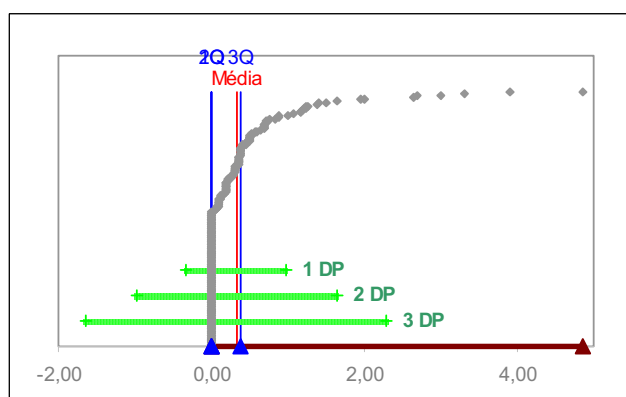


Figura 7.32 - Estatística univariada do F.

7.4.5 Sulfato

O S (enxofre) está distribuído na crosta, tanto em rochas ígneas como sedimentares, na forma de sulfetos (S^{2-}) metálicos. Em contato com a água, em ambiente oxidante, esses sulfetos se transformam em sulfatos (SO_4^{-2}) que são solubilizados e lixiviados. As mais importantes fontes de SO_4^{-2} estão nos depósitos de gipso e anidrita (Hem, 1970). Podem ser consideradas como fonte de SO_4^{-2} , nas águas naturais, os efluentes industriais e as chuvas ácidas (Hindi, 1999).

Sobrepondo o mapa de isoteores do SO_4^{-2} (Figura 7.33) ao mapa geológico, concentrações acima de 10 mg/L ocorrem em poços situados, predominantemente, nos depósitos aluvionares (bacias dos rios Belém, Barigui e Iguaçu), próximo ao contato com a Formação Guabirotuba. Poços situados ao sul e, sobre a zona de falha do Passaúna, apresentam teores mais elevados de SO_4^{-2} .

A análise da estatística descritiva mostra que o íon SO_4^{-2} tem uma distribuição com forte inclinação positiva, média de 5,9mg/L, desvio padrão de 10,7mg/L e coeficiente de variação de 180,84% (Figura 7.34).

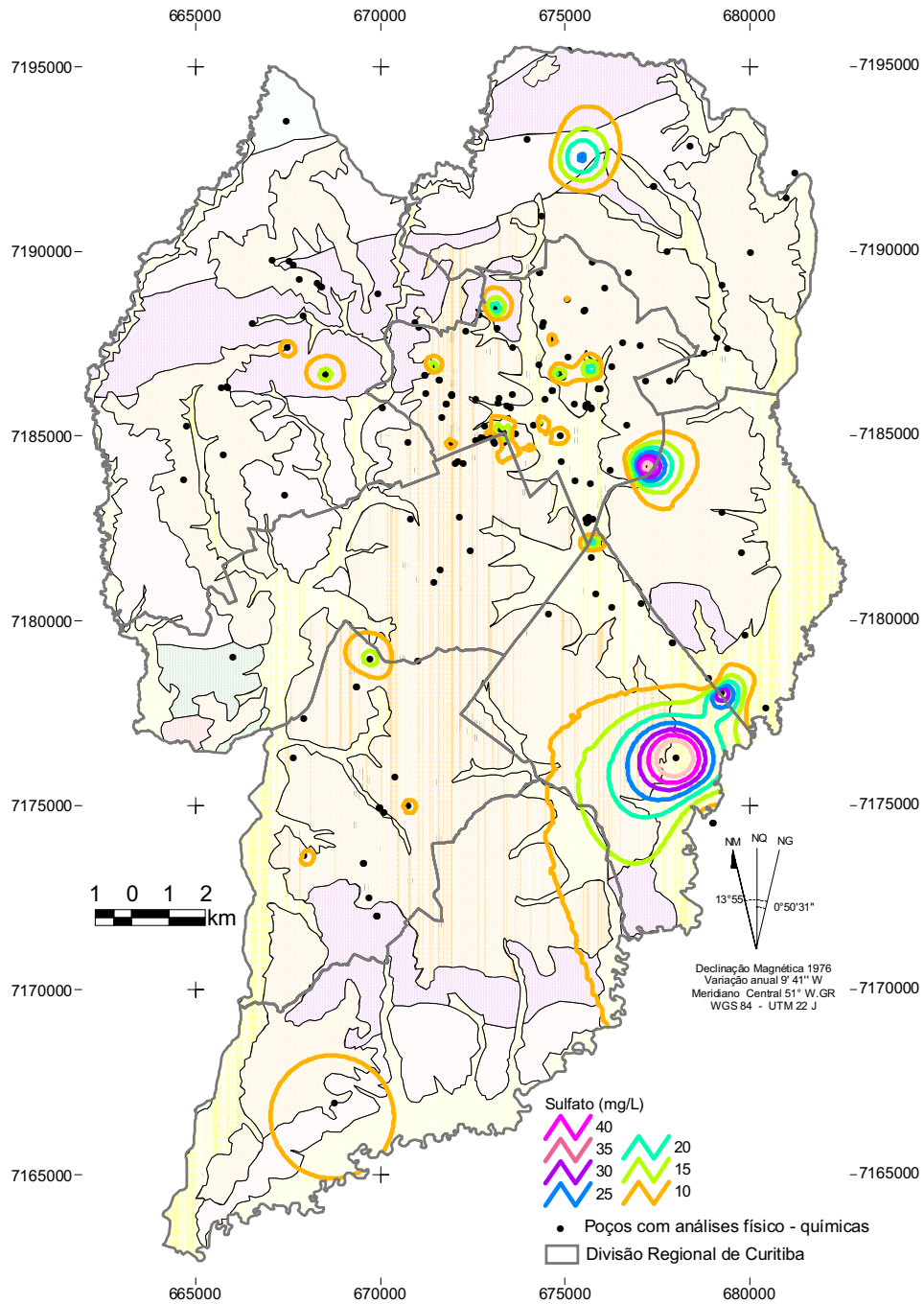


Figura 7.33 - Mapa com a distribuição espacial das isóteias do SO_4^{-2} .

Sulfato

Análise da amostra	
Quantidade de dados	227
Valor Mínimo	0,0
Valor Máximo	72,2

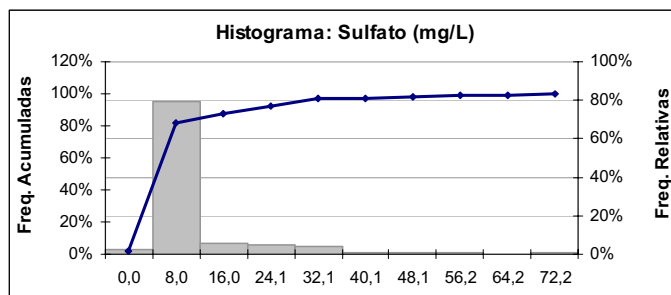
Medidas de Posicionamento	
Primeiro quartil	0,5
Segundo quartil	1,2
Terceiro quartil	5,7

Medidas de Tendência Central	
Média	5,9
Mediana	1,2
Moda	0,5

Medidas de Dispersão	
Variância	114,6
Desvio padrão	10,7
CV	180,84%

Contagem de dados dentro de		
Um desvio	248	89,9%
Dois desvios	265	96,0%
Três desvios	269	97,5%

Outras medidas	
Coeficiente de inclinação	3,24
Coeficiente de curtose	12,61



■ Freqüência Relativa — Freqüência Acumulada

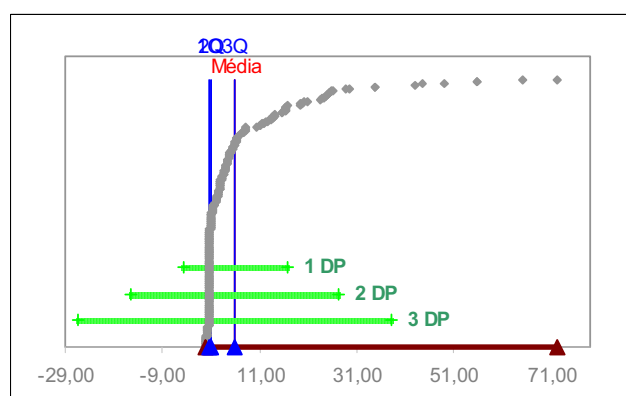


Figura 7.34 – Estatística univariada do SO_4^{-2} .

7.4.6 Nitrato

O ciclo do nitrogênio é dominado por processos biológicos, que transformam o nitrogênio (N_2) em compostos como amônia (NH_3), nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-), aminoácidos e proteínas. Os ânions NO_3^- (nitrato) e NO_2^- (nitrito) são componentes indesejáveis na água, podendo indicar contaminação antrópica causada por efluentes domésticos, industriais ou fertilizantes. Conforme a portaria nº 518 do Ministério da Saúde, valores maiores que 44,26mg/L são considerados impróprios para o consumo e, podem trazer riscos à saúde. Excesso de NO_3^- causa ao organismo uma deficiência circulatória e respiratória denominada cianose ou metaheglobinemia. Ao longo do século XX até os dias atuais, o centro de Curitiba deve produzir quantidades consideráveis de efluentes domésticos, causando a contaminação do aquífero freático pela lixiviação desses rejeitos orgânicos.

Ao comparar o mapa de isotores do NO_3^- (Figura 7.35) com o mapa geológico, observa-se que as concentrações acima de 6 mg/L ocorrem em poços tubulares localizados no Complexo Atuba, Formação Guabirotuba e depósitos aluvionares.

Teores acima de 22 mg/L são encontrados apenas em poços situados ao sul da Falha do Passaúna, na bacia hidrográfica do rio Belém.

O NO_3^- apresenta uma distribuição assimétrica positiva, média de 5,4 mg/L, desvio-padrão de 10,7 mg/L e coeficiente de variação de 198,98% (Figura 7.36).

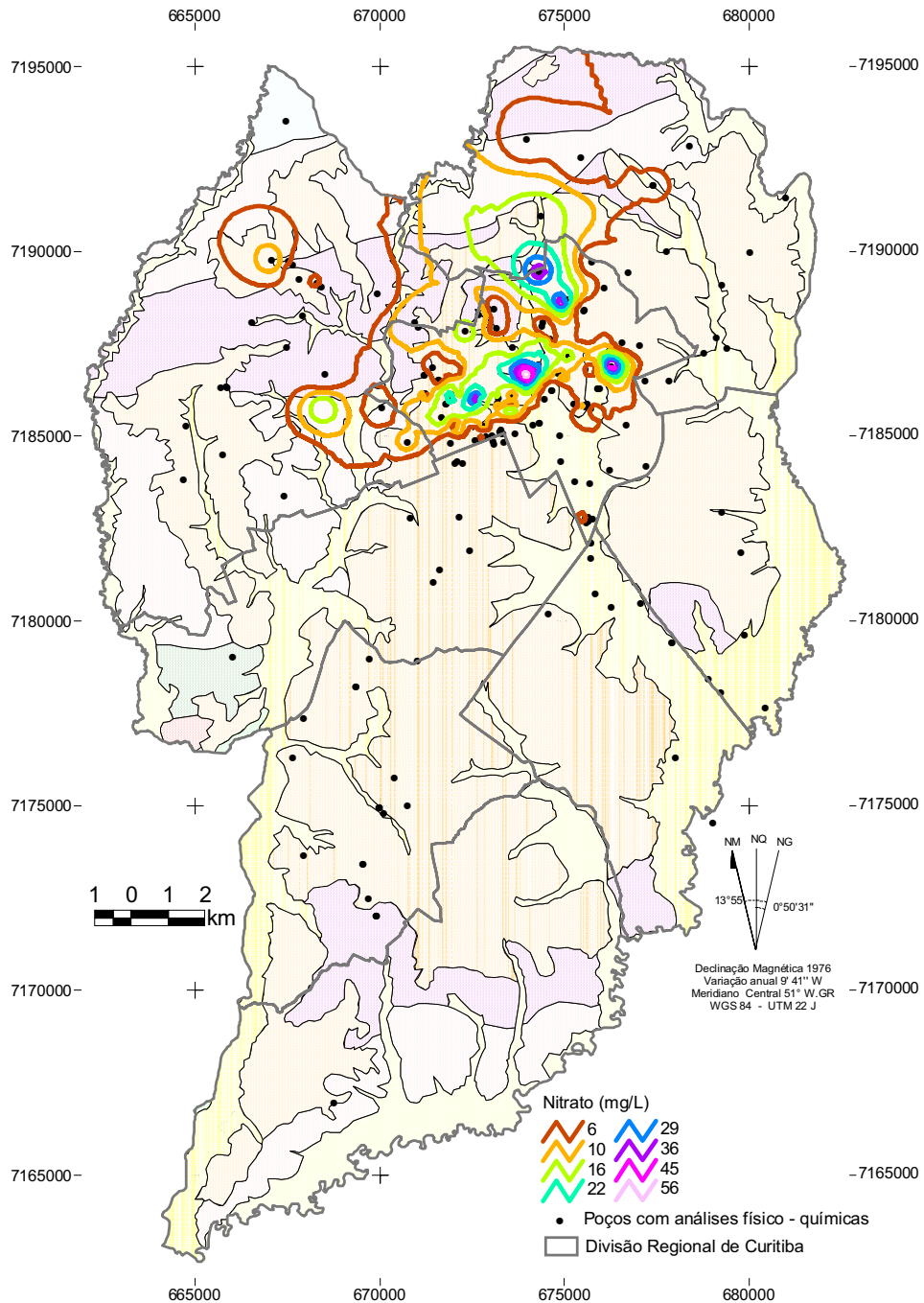


Figura 7.35 - Mapa com a distribuição espacial das iso-concentrações do NO_3^- .

Nitrato (mg/L)

Análise da amostra	
Quantidade de dados	227
Valor Mínimo	0,0
Valor Máximo	74,0

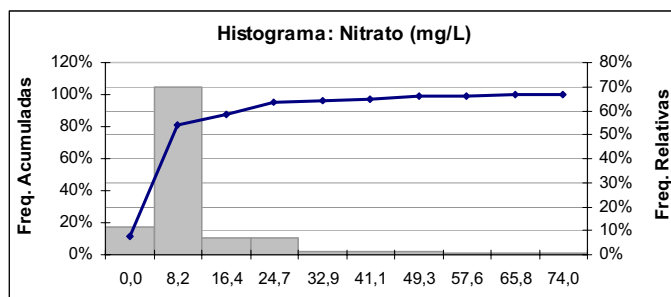
Medidas de Posicionamento	
Primeiro quartil	0,0
Segundo quartil	0,3
Terceiro quartil	5,3

Medidas de Tendência Central	
Média	5,4
Mediana	0,3
Moda	0,0

Medidas de Dispersão	
Variância	114,9
Desvio padrão	10,7
CV	198,98%

Contagem de dados dentro de		
Um desvio	243	88,0%
Dois desvios	264	95,7%
Três desvios	267	96,7%

Outras medidas	
Coefficiente de inclinação	3,10
Coefficiente de curtose	11,52



■ Frequência Relativa — Frequência Acumulada

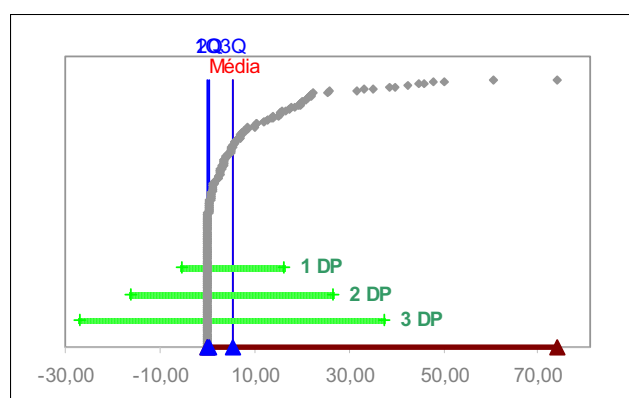


Figura 7.36 - Estatística univariada do NO_3^- .

7.4.7 Sílica

O termo “sílica”, que significa o óxido SiO_2 , é utilizado frequentemente ao se referir ao silício em águas naturais, mas a forma correta é hidratada, representada como H_4SiO_4 ou $\text{Si}(\text{OH})_4$ (Hem, 1985).

O silício é o segundo elemento mais abundante da Terra e, a sílica (SiO_2) é um dos principais constituintes das rochas ígneas, metamórficas e sedimentares que, na forma de quartzo é um dos minerais mais resistentes ao intemperismo químico, com solubilidade baixa em condições ambientais. A sílica amorfa como chert, opala e calcedônia, são mais solúveis (Hem, 1985; Hindi, 1999).

A concentração de SiO_2 comumente observada em águas naturais varia de 1 a 30 mg/L com mediana de 14 mg/L. Nas águas subterrâneas a mediana é de 17 mg/L.

Concentrações elevadas encontradas em poços estão relacionadas ao tipo de rocha e temperatura da água (Hem, 1985).

Quando se compara o mapa de isóteos do SiO₂ (Figura 7.37) ao mapa geológico, constata-se que teores acima de 38 mg/L ocorrem em poços localizados no Complexo Atuba, na Formação Guabirota e nos depósitos aluvionares.

Pode-se observar que a distribuição destes teores ao sul da Falha do Passaúna concentra-se sobre os depósitos aluvionares e Formação Guabirota. Ao norte da falha, concentrações acima de 38 mg/L ocorrem em poços localizados sobre o Complexo Atuba e Formação Guabirota.

Teores acima de 38 mg/L somente não ocorrem em poços situados nas bacias hidrográficas do rio Passaúna e ribeirão dos Padilhas.

A análise estatística do SiO₂ possui uma distribuição próxima ao normal, média de 6,6 mg/L, desvio padrão de 17,4 mg/L e coeficiente de variação de 65,90% (Figura 7.38).

Em 20,8% das análises físico-químicas o parâmetro SiO₂ não foi analisado ou não atingiu o limite de detecção do aparelho. Portanto aproximadamente 20% dos valores situam-se no primeiro intervalo de classe do histograma, que varia entre 0 e 9,8 mg/L.

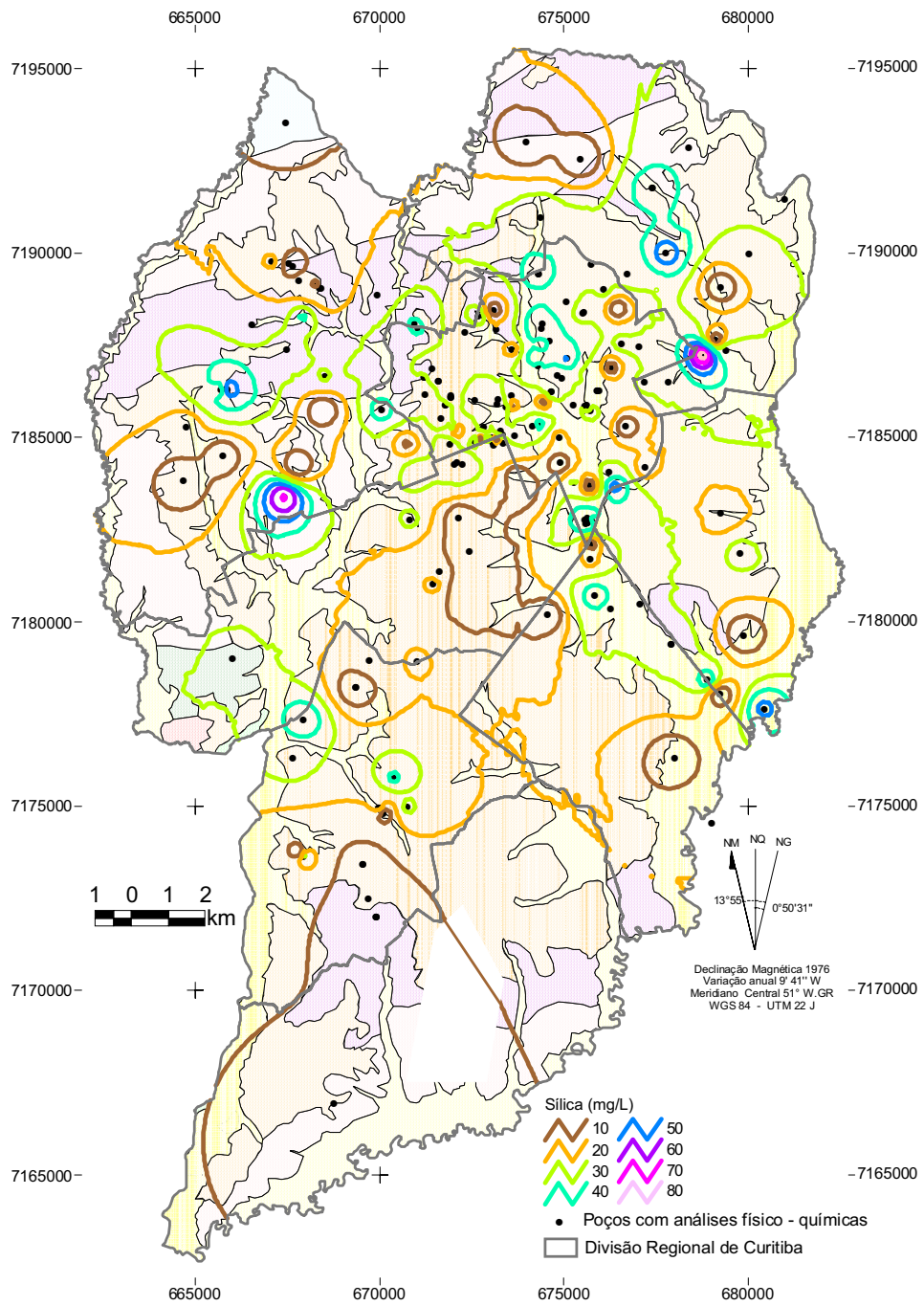


Figura 7.37 - Mapa com a distribuição espacial das isoteores do SiO_2 .

Sílica

Análise da amostra	
Quantidade de dados	226
Valor Mínimo	0,0
Valor Máximo	88,0

Medidas de Posicionamento	
Primeiro quartil	12,6
Segundo quartil	31,7
Terceiro quartil	38,1

Medidas de Tendência Central	
Média	26,6
Mediana	31,7
Moda	0,0

Medidas de Dispersão	
Variância	307,9
Desvio padrão	17,5
CV	65,90%

Contagem de dados dentro de		
Um desvio	145	64,2%
Dois desvios	223	98,7%
Três desvios	225	99,6%

Outras medidas	
Coefficiente de inclinação	-0,15
Coefficiente de curtose	-0,34

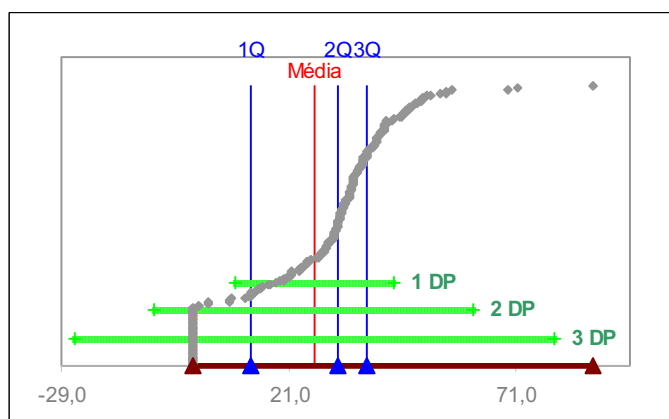
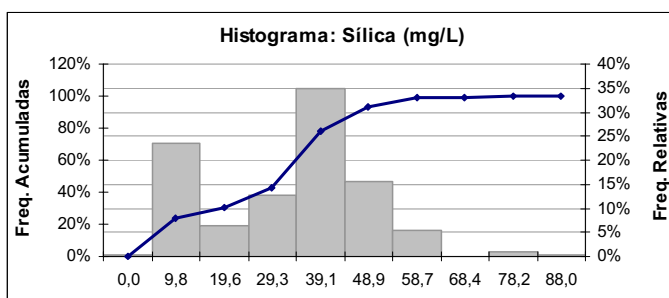


Figura 7.38 - Estatística univariada da SiO₂.

7.4.8 Cálcio

O cálcio é liberado durante o intemperismo dos plagioclásios, piroxênios, anfibólio, epidotos, carbonatos, sulfatos em rochas básicas e ultrabásicas. Os minerais de cálcio intemperizam-se facilmente, dissolvem-se em meio ácido e podem recristalizar na forma de calcita, aragonita, dolomita, granada, fosfato e apatita (Mineropar, 2001).

Os íons de Ca⁺² e Mg⁺² são incorporados à água em concentrações que dependem das quantidades e formas disponíveis, do tempo e modo de interação entre água e a rocha e, das condições ambientais, todas ligadas às concentração descritas a seguir (Hem, 1970; Krauskopf, 1972):

- pH: quanto mais ácido o meio, mais intensa é a dissolução, ocorrendo precipitação em pH básico;

- CO₂: o aumento da concentração de CO₂ aumenta a acidez, favorecendo a dissolução e, no caso inverso, precipitação;
- temperatura: o aumento da temperatura diminui a solubilidade, devido a diminuição da concentração do CO₂;
- pressão: a solubilidade aumenta com a elevação da pressão;
- decomposição de matéria orgânica: ocorrendo em condições aeróbicas, libera grandes quantidades de CO₂, favorecendo a dissolução.

Ao se comparar o mapa de isoteores do cálcio (Figura 7.39) ao mapa geológico, constata-se que concentrações acima de 33 mg/L, ocorrem em poços localizados sobre no Complexo Atuba, na Formação Guabirota e nos depósitos aluvionares.

Teores acima de 33 mg/L são observados em poços localizados ao sul e próximo da falha do Passaúna, sobre a Formação Guabirota e aluviões. Ao norte da falha, as mesmas concentrações ocorrem em poços situados sobre no Complexo Atuba e Formação Guabirota.

Quanto à distribuição espacial dos teores por bacias hidrográficas, a Bacia do rio Belém, na regional da Matriz, apresenta quase a totalidade dos poços com teores acima de 33 mg/L. Ocorrências de poços com este teor são encontradas, em menor quantidade, nas Bacias dos rios Barigui, Atuba e Iguaçu.

A análise estatística do cálcio apresenta uma distribuição próxima ao normal, com média de 26,6 mg/L, desvio-padrão de 12,8 mg/L e coeficiente de variação é de 48,12% (Figura 7.40).

Os parâmetros dureza calculada, STD calculados, HCO₃⁻² e Mg⁺² apresentam correlação (r²) de 0,91; 0,72; 0,65 e 0,54; respectivamente, com o cálcio.

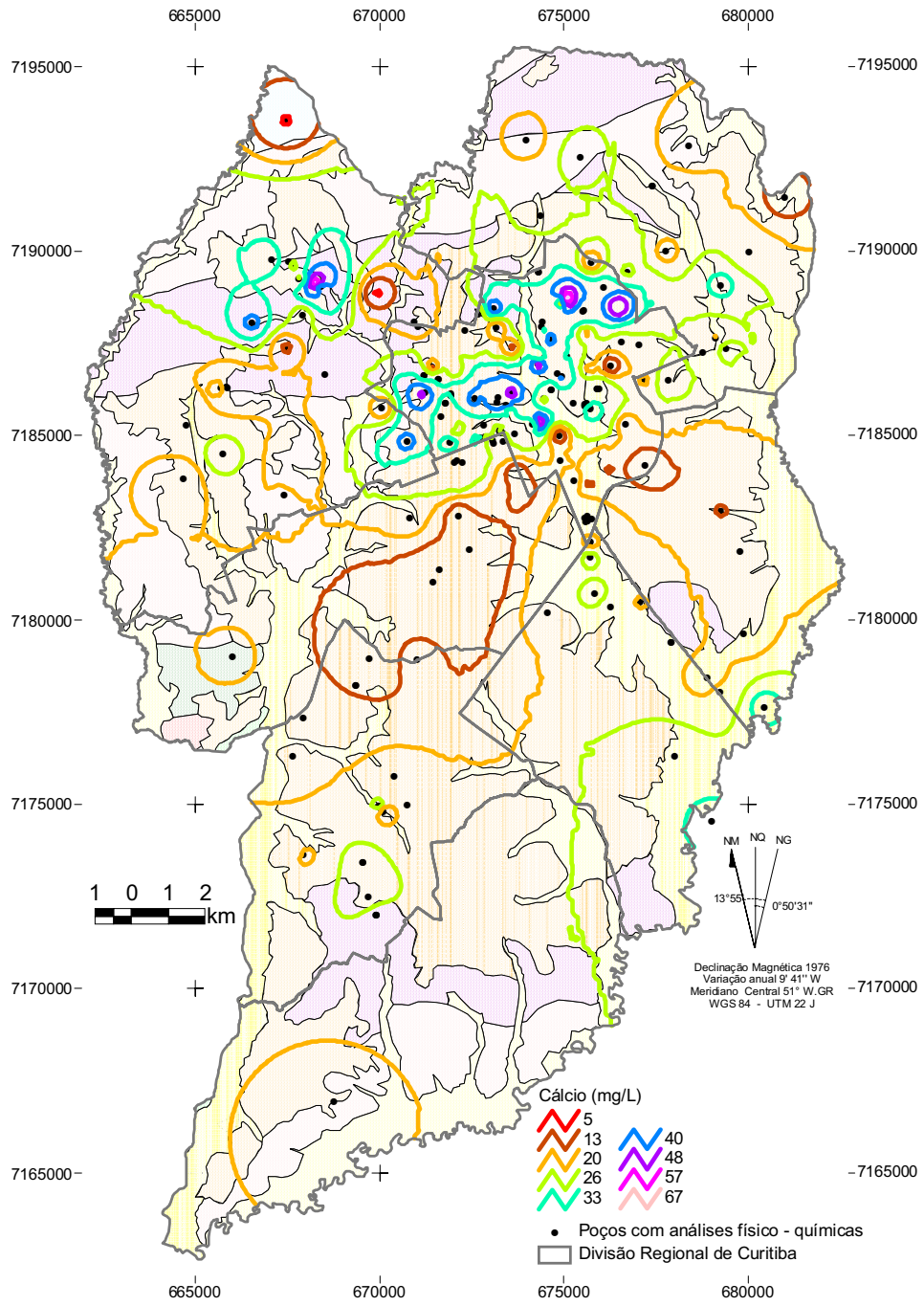


Figura 7.39 - Mapa com a distribuição espacial das isotores do Ca⁺²

Cálcio (mg/L)

Análise da amostra	
Quantidade de dados	226
Valor Mínimo	4,0
Valor Máximo	84,0

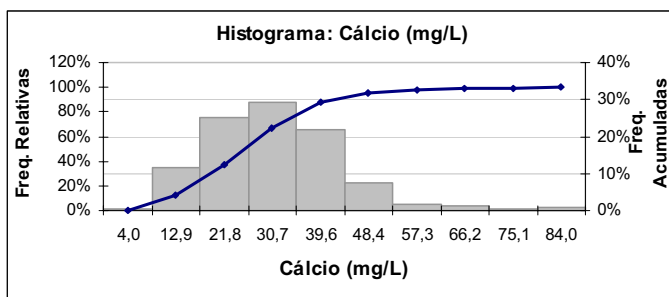
Medidas de Posicionamento	
Primeiro quartil	18,1
Segundo quartil	25,3
Terceiro quartil	32,7

Medidas de Tendência Central	
Média	26,6
Mediana	25,3
Moda	31,1

Medidas de Dispersão	
Variância	163,2
Desvio padrão	12,8
CV	48,12%

Contagem de dados dentro de		
Um desvio	167	73,9%
Dois desvios	218	96,5%
Três desvios	223	98,7%

Outras medidas	
Coefficiente de inclinação	1,17
Coefficiente de curtose	3,24



■ Freqüência Relativa — Freqüência Acumulada

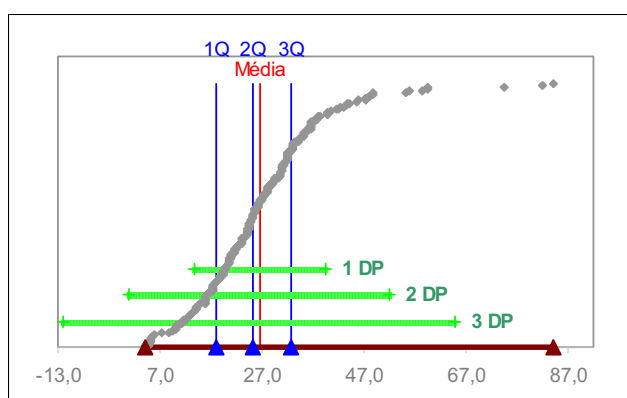


Figura 7.40 - Estatística univariada do Ca^{2+} .

7.4.9 Magnésio

O Mg^{2+} apresenta propriedades similares ao Ca^{2+} , é um dos principais responsáveis pela dureza da água, porém é mais solúvel e difícil de precipitar. Quando em solução tem a tendência de nela permanecer, daí o enriquecimento dos seus sais nas águas dos oceanos (Custodio, Llamas, 2001). O Mg^{2+} está presente nos silicatos, óxidos e carbonatos. Os íons de Mg^{2+} são menores do que os de Ca^{2+} e, por isso, têm uma densidade de carga mais forte e maior tração sobre as moléculas de água.

Ao sobrepor o mapa geológico com o mapa de isotores de Mg^{2+} (Figura 6.41), observa-se que teores acima de 11 mg/L ocorrem em poços tubulares localizados sobre o Complexo Atuba, Formação Guabirota e depósitos aluvionares. Ao sul da Falha do Passaúna, estas ocorrências concentram-se em poços situados na Formação Guabirota e nos depósitos aluvionares do rio Belém. Ao norte da falha, a medida em que se afasta da

falha, as concentrações do Mg^{2+} aumentam e, sua ocorrência está associada a poços situados sobre as rochas do Complexo Atuba.

O Mg^{2+} apresenta uma distribuição assimétrica positiva, média de 9,1mg/L, desvio padrão de 5,8mg/L e coeficiente de variação de 63,66% (Figura 6.42). A correlação do Mg^{2+} com a dureza calculada e dureza medida é $r^2 = 0,84$ e $r^2 = 0,55$ (respectivamente). Com os STD, o Mg^{2+} tem uma correlação $r^2 = 0,59$ e com o Ca^{+2} a correlação (r^2) é 0,54.

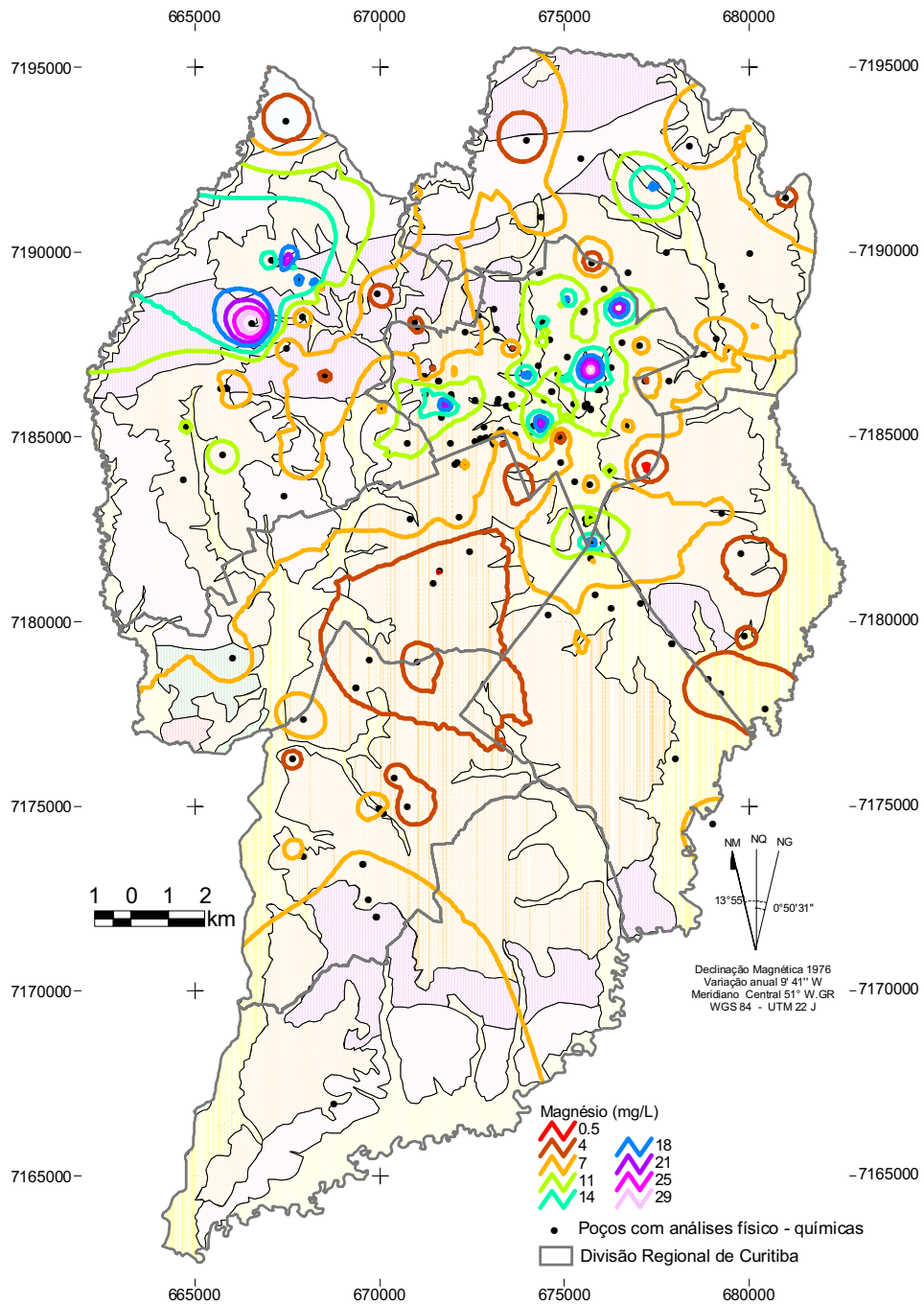


Figura 7.41 - Mapa com a distribuição espacial das isotores do Mg^{+2} .

Magnésio (mg/L)

Análise da amostra	
Quantidade de dados	226
Valor Mínimo	0,0
Valor Máximo	35,5

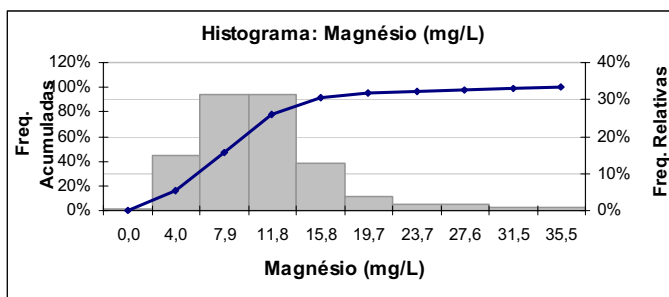
Medidas de Posicionamento	
Primeiro quartil	5,2
Segundo quartil	8,3
Terceiro quartil	11,2

Medidas de Tendência Central	
Média	9,1
Mediana	8,3
Moda	6,8

Medidas de Dispersão	
Variância	33,4
Desvio padrão	5,8
CV	63,66%

Contagem de dados dentro de		
Um desvio	177	78,3%
Dois desvios	217	96,0%
Três desvios	220	97,3%

Outras medidas	
Coefficiente de inclinação	1,68
Coefficiente de curtose	4,40



■ Freqüência Relativa — Freqüência Acumulada

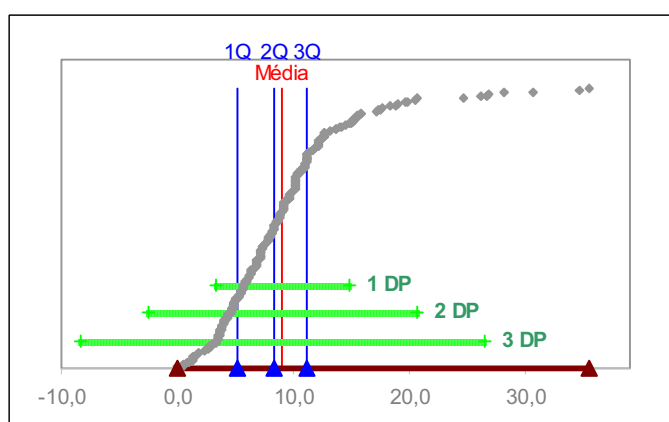


Figura 7.42- Estatística univariada do Mg²⁺.

7.4.10 Sódio

O Na⁺ é um dos elementos alcalinos mais importantes e abundantes nas águas subterrâneas. Possui solubilidade elevada e difícil precipitação.

Em geral, há um aumento gradativo dos teores de Na⁺ das águas subterrâneas a partir da zona de recarga do aquífero em direção às suas porções mais confinadas ou dos seus exutórios (CPRM, 2000b).

O Na⁺ é retido por adsorção na superfície de minerais, especialmente por minerais que apresentam alta capacidade de troca catiônica como as argilas.

As fontes de Na⁺ são: feldspatos (ortoclásio e microclínio), anfibólios, piroxênios, feldspatóides (nefelina e sodalita), rochas alcalinas e carbonatitos.

Ao sobrepor o mapa geológico com o mapa de isotores de Na^+ (Figura 7.43), observa-se que teores acima de 25mg/L ocorrem em poços tubulares localizados no Complexo Atuba, na Formação Guabirota e nos depósitos aluvionares.

A distribuição espacial do sódio apresenta tendência segundo as feições estruturais relacionadas à Falha do Passaúna. Ao sul da Falha do Passaúna, estas ocorrências concentram-se em poços situados na Formação Guabirota e nos depósitos aluvionares dos rios Belém, Barigui e Iguaçu.

As maiores concentrações formam um *trend* de direção NE- SW que passa ao sul da Falha do Passaúna, muito semelhante ao mapa de isoconcentração do pH (Figura 7.51) e do CO_3^{2-} (Figura 7.27). Teores acima de 30mg/L não ocorrem em poços situados ao norte da Falha do Passaúna.

O cátion Na^+ apresentou uma distribuição assimétrica dos seus valores, média 19,1 mg/L, desvio padrão de 14,1mg/L e coeficiente de variação de 73,69% (Figura 7.44).

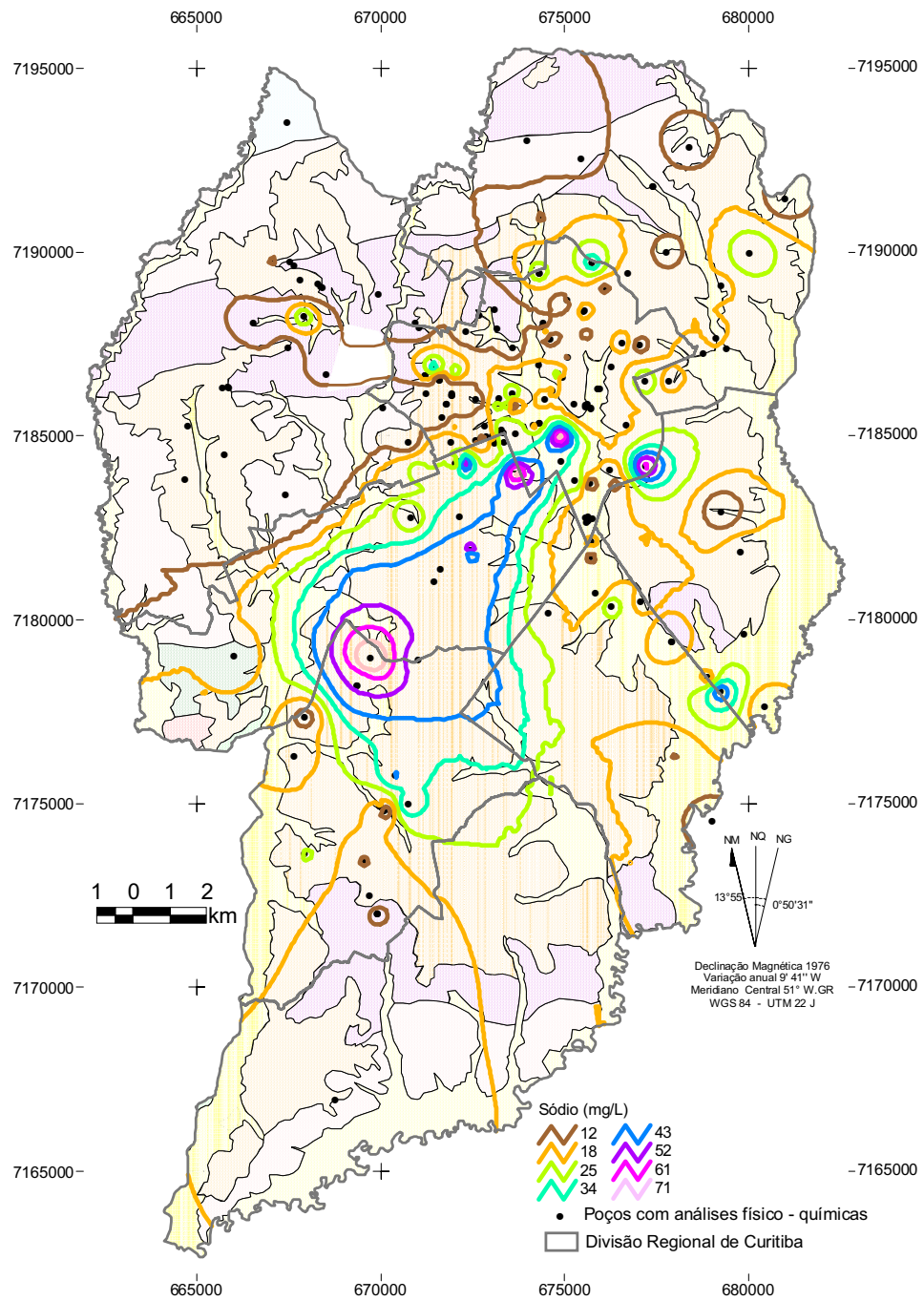


Figura 7.43 – Mapa com a distribuição espacial das isotores do Na^+ .

Sódio

Análise da amostra	
Quantidade de dados	226
Valor Mínimo	1,4
Valor Máximo	83,0

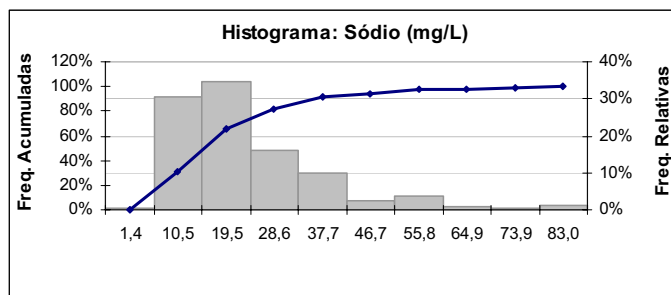
Medidas de Posicionamento	
Primeiro quartil	9,8
Segundo quartil	14,9
Terceiro quartil	23,4

Medidas de Tendência Central	
Média	19,1
Mediana	14,9
Moda	7,1

Medidas de Dispersão	
Variância	198,0
Desvio padrão	14,1
CV	73,69%

Contagem de dados dentro de		
Um desvio	180	79,6%
Dois desvios	212	93,8%
Três desvios	221	97,8%

Outras medidas	
Coefficiente de inclinação	1,87
Coefficiente de curtose	4,21



■ Frequência Relativa — Frequência Acumulada

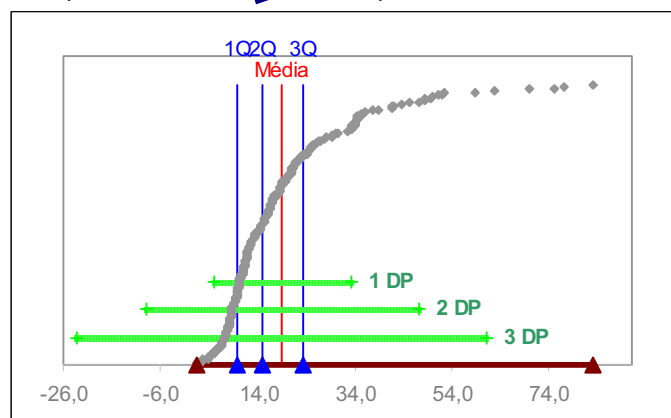


Figura 7.44 - Estatística univariada do Na⁺.

7.4.11 Potássio

O K⁺ ocorre em pequenas quantidades ou está ausente nas águas subterrâneas, devido a sua participação intensa em processos de troca iônica, além da facilidade de ser adsorvido pelos minerais de argila e dos sais que o contém serem bastante utilizados pelos vegetais (CPRM, 2000b).

A quantidade de K⁺ em águas naturais é muito baixa comparada ao Na⁺, porque este tende a ficar em solução desde que foi liberado da estrutura mineral, enquanto o K⁺ é liberado com mais dificuldade, além de ser reincorporado na estrutura dos minerais de argila (HEM, 1970).

Ao comparar o mapa de isotores de K⁺ (Figura 7.45), com o mapa geológico, observa-se que concentrações acima de 4 mg/L ocorrem em poços tubulares localizados na Formação Guabirota e depósitos aluvionares.

Concentrações acima de 9mg/L ocorrem apenas em poços situados ao sul da Falha do Passaúna, sobre os sedimentos da Formação Guabirota.

Quanto a distribuição por bacias hidrográficas, concentrações acima de 4 mg/L, predominam nos poços situados nas bacias dos rios Atuba, Belém, Barigui.

A distribuição estatística dos teores de K^+ mostra uma forma assimétrica positiva, com média de 2,4 mg/L, desvio padrão de 1,8mg/L e coeficiente de variação 73,54% (Figura 7.46).

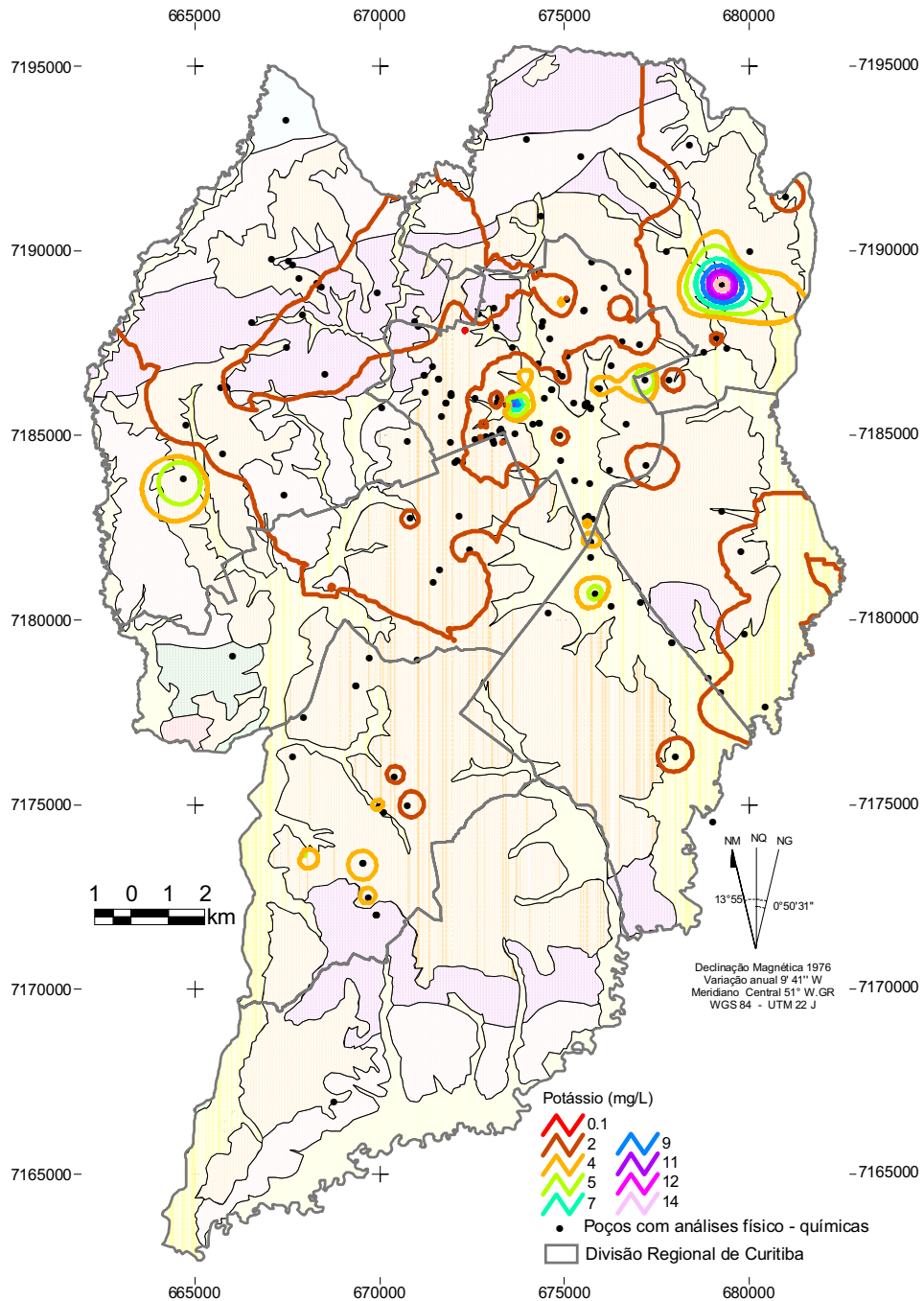


Figura 7.45 - Mapa com a distribuição espacial dos isotores do K^+ .

Potássio (mg/L)

Análise da amostra	
Quantidade de dados	226
Valor Mínimo	0,0
Valor Máximo	17,5

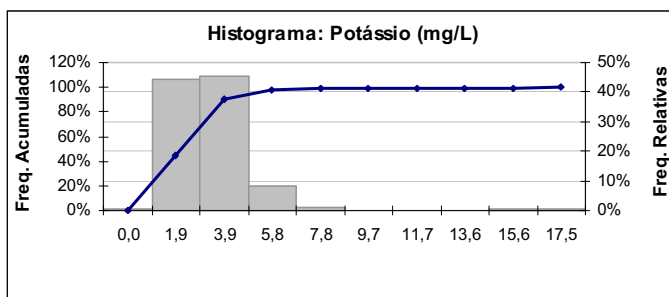
Medidas de Posicionamento	
Primeiro quartil	1,4
Segundo quartil	2,1
Terceiro quartil	3,1

Medidas de Tendência Central	
Média	2,4
Mediana	2,1
Moda	1,0

Medidas de Dispersão	
Variância	3,2
Desvio padrão	1,8
CV	73,54%

Contagem de dados dentro de		
Um desvio	200	88,5%
Dois desvios	222	98,2%
Três desvios	224	99,1%

Outras medidas	
Coefficiente de inclinação	4,50
Coefficiente de curtose	32,27



■ Frequência Relativa — Frequência Acumulada

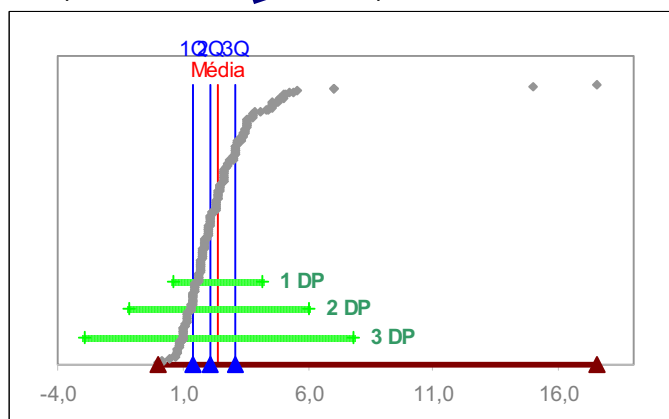


Figura 7.46 - Estatística univariada do cátion K^+ .

7.4.12 Ferro total

O ferro é o segundo elemento metálico mais abundante na crosta e, o principal constituinte dos silicatos ferromagnesianos tais como olivinas, piroxênios, anfibólios e biotita.

A abundância de ferro nas rochas sedimentares é determinada pelas condições de Eh-pH, profundidade da alteração diagenética e granulometria do sedimento. O ferro dissolvido precipita-se com o aumento do pH ou do Eh, influenciando a distribuição regional das coberturas de óxidos hidratados como goethita, limonita, lepidocrocita e hematita (Mineropar, 2001).

A concentração de ferro nas águas subterrâneas dá-se principalmente na forma do íon ferroso Fe^{+2} .

O ferro presente em rejeitos orgânicos, restos de plantas nos solos e atividades na biosfera, influencia a ocorrência deste íon nas águas subterrâneas (Hem, 1985).

Segundo a Portaria nº 518 de 2004, do Ministério da Saúde, os valores do ferro total não devem ser maiores que 0,3 mg/L (Brasil, 2004). Existem 42 poços com valores iguais ou acima do limite máximo permitido pela Portaria, que é coincidente com o valor da média.

Ao comparar o mapa de isotores do ferro total (Figura 7.47), ao mapa geológico, observa-se que concentrações acima de 0,5 mg/L ocorrem em poços tubulares localizados ao sul da Falha do Passaúna, sobre os sedimentos da Formação Guabirota.

Quanto a distribuição por bacias hidrográficas, concentrações acima de 0,5 mg/L, predominam nos poços situados nas bacias dos rios Barigui, Belém e Atuba.

A análise estatística descritiva dos valores do ferro total mostra um histograma assimétrico, com inclinação direita ou positiva, média 0,3 mg/L; desvio padrão de 0,9 mg/L e coeficiente de variação de 296,32% (Figura 7.48).

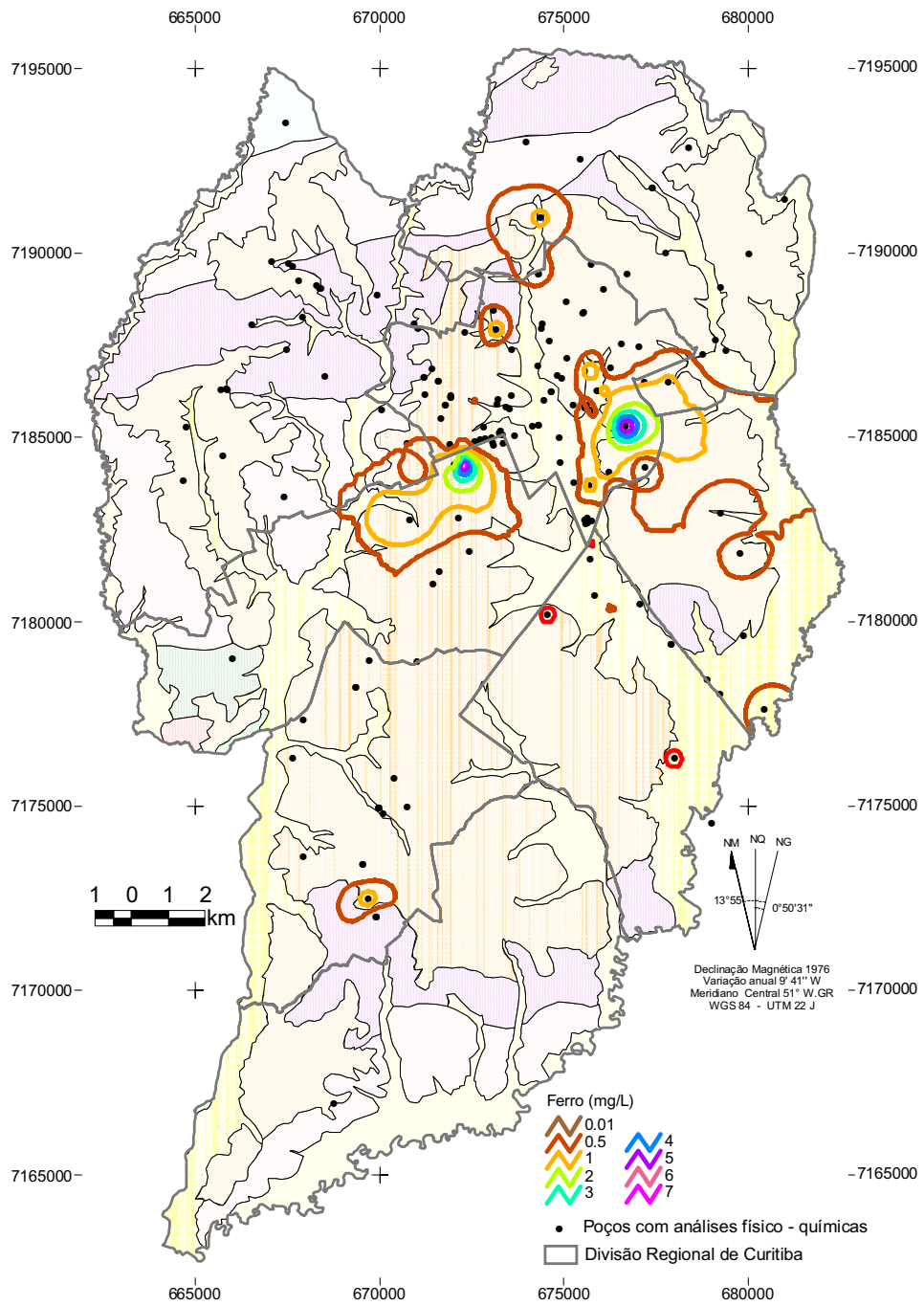


Figura 7.47 - Mapa com a distribuição espacial dos isotores de ferro total.

Ferro total (mg/L)

Análise da amostra	
Quantidade de dados	183
Valor Mínimo	0,0
Valor Máximo	8,9

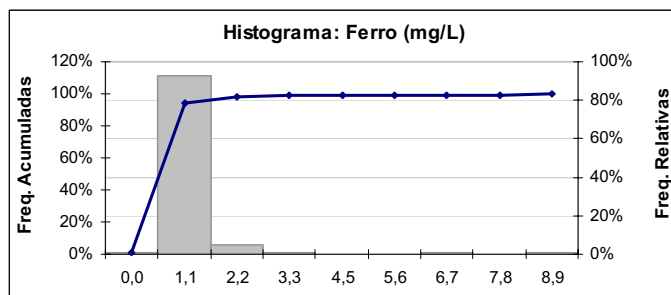
Medidas de Posicionamento	
Primeiro quartil	0,0
Segundo quartil	0,1
Terceiro quartil	0,2

Medidas de Tendência Central	
Média	0,3
Mediana	0,1
Moda	0,0

Medidas de Dispersão	
Variância	0,7
Desvio padrão	0,9
CV	296,32%

Contagem de dados dentro de		
Um desvio	172	94,0%
Dois desvios	180	98,4%
Três desvios	181	98,9%

Outras medidas	
Coefficiente de inclinação	7,54
Coefficiente de curtose	67,49



■ Freqüência Relativa ▲ Freqüência Acumulada

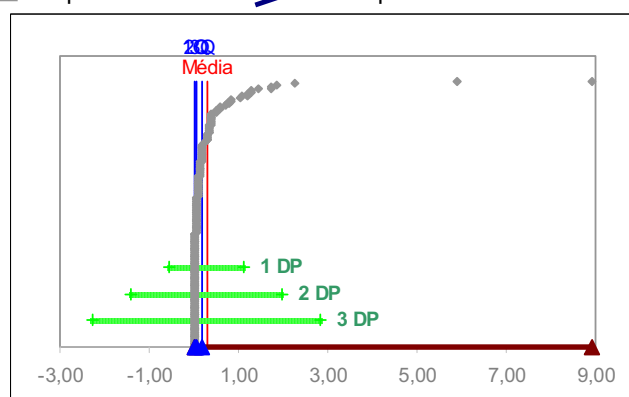


Figura 7.48 - Estatística univariada do cátion ferro total.

7.4.13 Condutância específica

Condutância elétrica, ou condutividade é a capacidade de uma substância de conduzir uma corrente elétrica. A condutividade elétrica aumenta com a elevação da temperatura, e quantidade de íons dissolvidos.

Ao comparar o mapa de iso-valores da condutância específica (Figura 6.49), com o mapa geológico, observa-se que medidas acima de 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ocorrem em poços tubulares localizados na Formação Guabirota e nos aluviões.

Os valores acima de 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ predominam nos poços localizados próximos a Falha do Passaúna, principalmente nos terrenos situados ao sul da mesma.

Existe uma relação direta na distribuição espacial dos valores de condutância específica, STD (Figura 7.55) e HCO_3^- (Figura 7.25).

Quanto à distribuição por bacias hidrográficas, estes valores predominam nos poços situados nas bacias dos rios Barigui e Belém.

A análise descritiva dos dados de condutância específica evidencia uma distribuição normal, com média de $275,7 \mu\text{S}/\text{cm}$, desvio padrão de $95,2 \mu\text{S}/\text{cm}$ e coeficiente de variação de 34,53% (Figura 7.50).

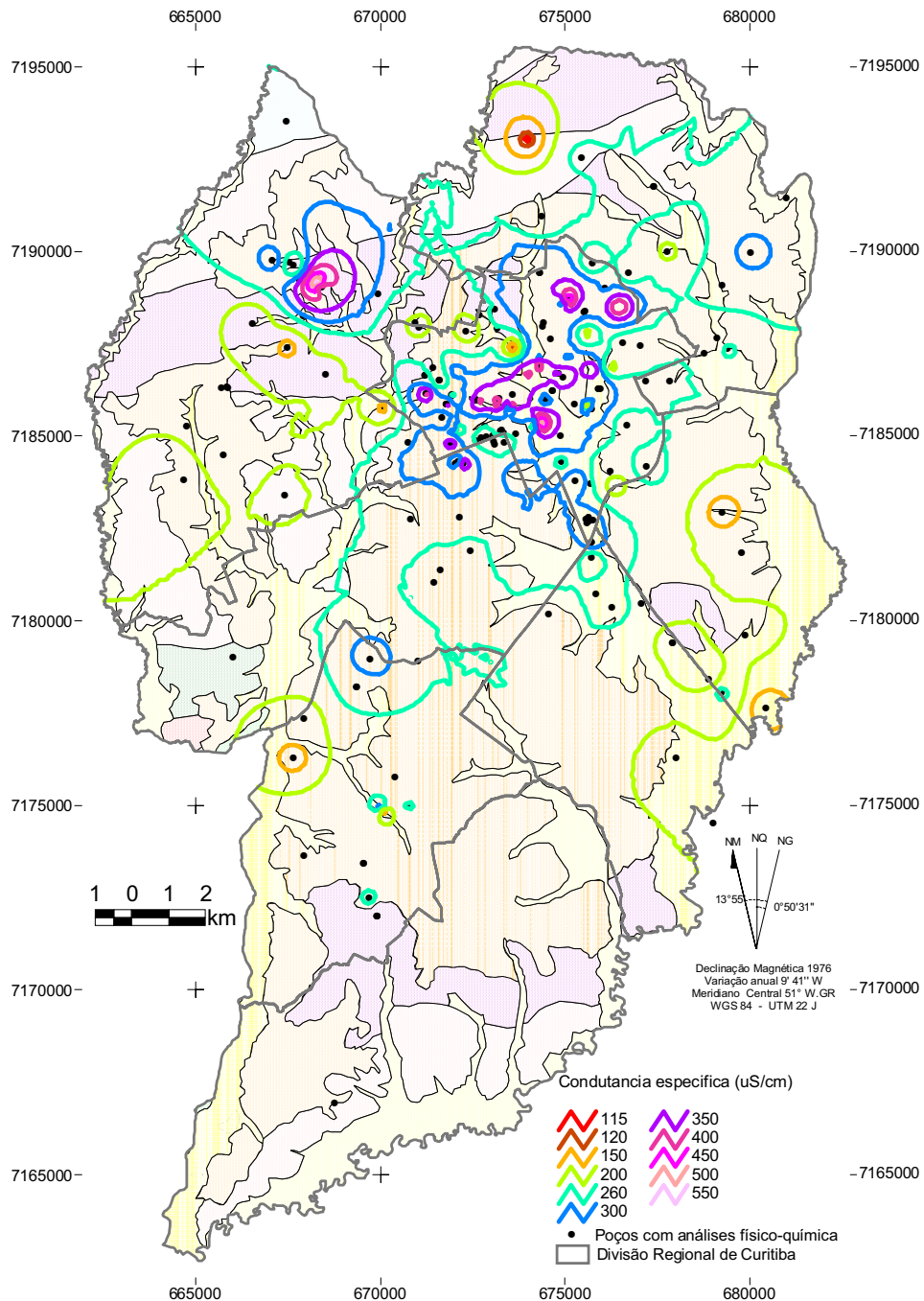


Figura 7.49 - Mapa com a distribuição espacial dos iso-valores da condutância específica.

Condutância específica ($\mu\text{s}/\text{cm}$)

Análise da amostra	
Quantidade de dados	167
Valor Mínimo	100,5
Valor Máximo	610,0

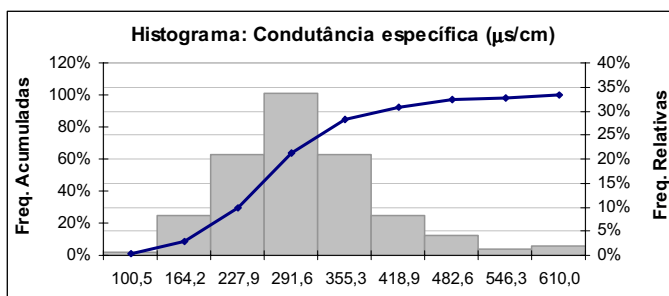
Medidas de Posicionamento	
Primeiro quartil	213,0
Segundo quartil	264,0
Terceiro quartil	324,0

Medidas de Tendência Central	
Média	275,7
Mediana	264,0
Moda	233,0

Medidas de Dispersão	
Variância	9.063,8
Desvio padrão	95,2
CV	34,53%

Contagem de dados dentro de		
Um desvio	120	71,9%
Dois desvios	162	97,0%
Três desvios	164	98,2%

Outras medidas	
Coefficiente de inclinação	0,92
Coefficiente de curtose	1,36



■ Frequência Relativa — Frequência Acumulada

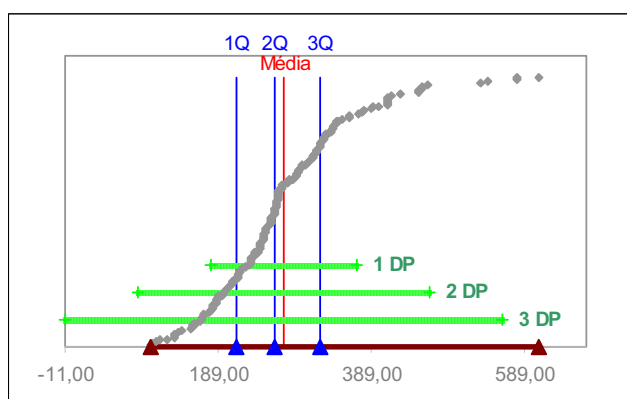


Figura 7.50 - Estatística univariada da condutância específica.

7.4.14 Potencial hidrogeniônico

A concentração (atividade) de íons de hidrogênio é convenientemente expressa em unidades logarítmicas, a abreviação “pH” representa o logaritmo negativo na base 10 da atividade do íon hidrogênio em moles por litro. A atividade iônica do hidrogênio em solução aquosa é controlada pelas reações químicas que produzem ou consomem hidrogênio (Hem, 1985).

A temperatura exerce um forte efeito no comportamento do pH, sendo que temperaturas elevadas aumentam a constante de equilíbrio da água (K_w) e o valor do pH diminui. O pH da água pode ser afetado pela oxidação do ferro dissolvido, ou seja, o pH diminui com a oxidação e precipitação do ferro (Hem, 1985).

Ao sul da Falha do Passaúna, em poços localizados em sedimentos da Formação Guabirota, predominam valores de pH acima 8 (Figura 7.51). Ao comparar a distribuição dos valores de pH com o mapa de isotores de CO_3^{2-} (Figura 7.27), nota-se que a ocorrência de CO_3^{2-} dá-se em poços onde os valores de pH são maiores que 8,3.

A análise estatística descritiva dos valores do pH mostra um histograma normal, com média de 7,6, desvio padrão de 0,7 e coeficiente de variação de 9,07%. (Figura 7.52).

Segundo a Portaria nº 518 de 2004, do Ministério da Saúde, os valores do pH devem ser entre 6,0 e 9,5 (Brasil, 2004). Dentre os poços estudados, existem dois valores iguais ao limite inferior e, dois acima do limite máximo permitido, ambos ao sul da Falha do Passaúna.

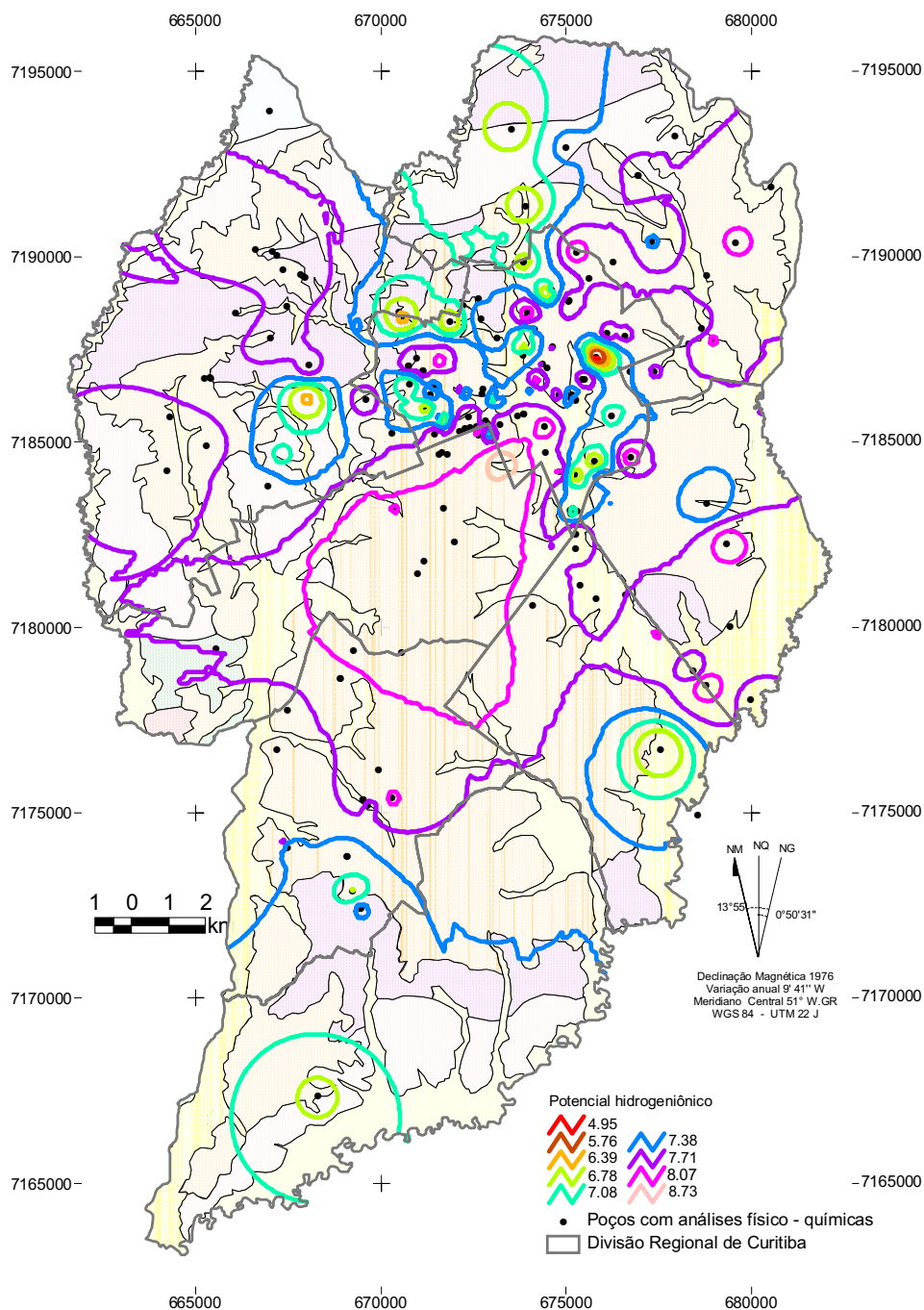


Figura 7.51- Mapa com a distribuição espacial dos iso-valores do pH.

Potencial hidrogeniônico (pH)

Análise da amostra	
Quantidade de dados	178
Valor Mínimo	4,6
Valor Máximo	9,9

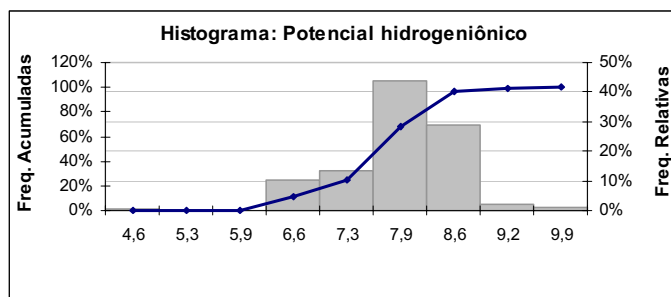
Medidas de Posicionamento	
Primeiro quartil	7,3
Segundo quartil	7,7
Terceiro quartil	8,0

Medidas de Tendência Central	
Média	7,6
Mediana	7,7
Moda	7,9

Medidas de Dispersão	
Variância	0,5
Desvio padrão	0,7
CV	9,07%

Contagem de dados dentro de		
Um desvio	130	73,0%
Dois desvios	172	96,6%
Três desvios	175	98,3%

Outras medidas	
Coefficiente de inclinação	-0,56
Coefficiente de curtose	2,09



■ Frequência Relativa — Frequência Acumulada

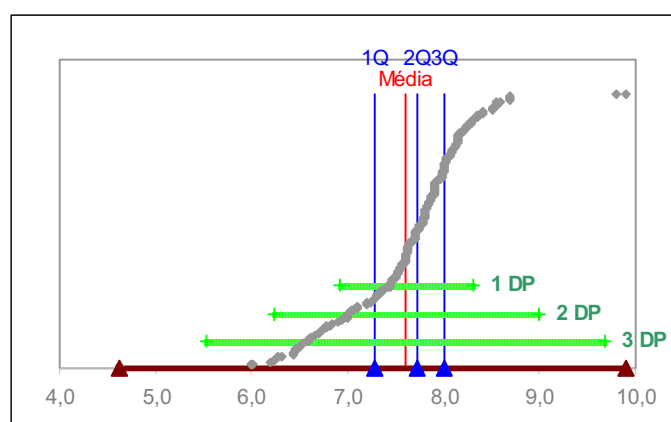


Figura 7.52 - Estatística univariada do pH.

7.4. 15 Dureza total calculada

A dureza é definida pela capacidade da água em neutralizar o sabão pelo efeito do Ca^{2+} e Mg^{2+} . Normalmente a dureza é relatada em concentração equivalente de carbonato de cálcio (CaCO_3), incluindo $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ (ou alcalinidade). Se a dureza excede a alcalinidade, o excesso é chamado de “dureza de não-carbonato” (Hem, 1985).

Ao comparar o mapa de iso-valores da dureza (Figura 7.53), com o mapa geológico, observa-se que concentrações acima de 126 mg/L ocorrem em poços tubulares localizados no Complexo Atuba, na Formação Guabirota e nos aluviões.

Ao sul da Falha do Passaúna, concentrações acima de 126 mg/L ocorrem em poços situados na Formação Guabirota e nos depósitos aluvionares (bacias hidrográficas dos rios Belém e Barigui). Ao norte da falha, estas concentrações elevadas ocorrem em poços situados sobre o Complexo Atuba e Formação Guabirota (bacia hidrográfica do Barigui).

A variável dureza total apresenta uma distribuição assimétrica positiva, com média de 103,7 mg/L, desvio-padrão de 48,6 mg/L e coeficiente de variação de 46,86% (Figura 7.54). Segundo a classificação de Hem (1970) são classificadas como do tipo moderadamente dura concentrações entre 60 mg/L e 120 mg/L. Para Custodio (1983a) é classificado como água dura concentrações entre 100 mg/L e 200 mg/L.

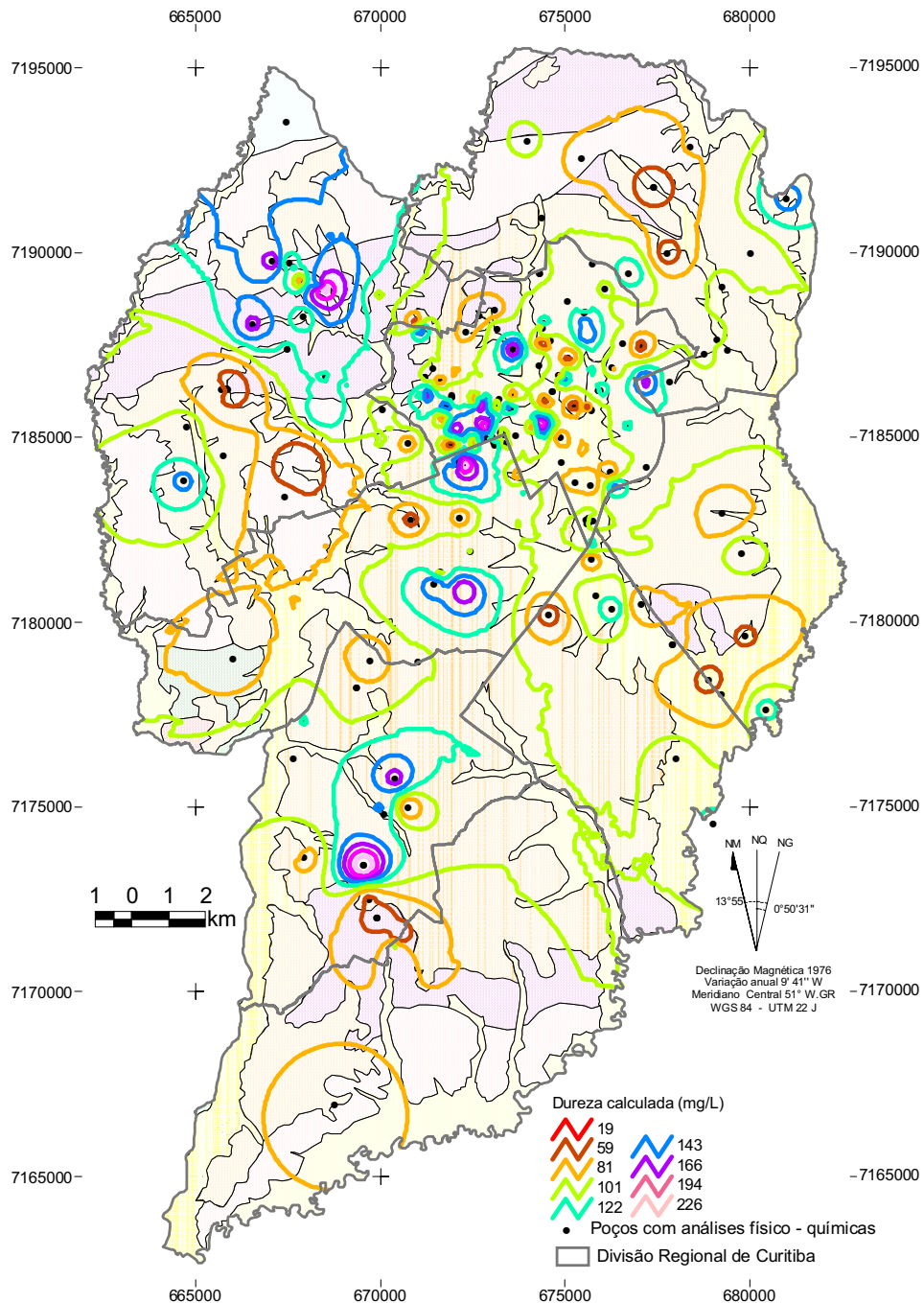


Figura 7.53 - Mapa com a distribuição espacial das isotores da dureza calculada.

Dureza calculada (mg/L)

Análise da amostra	
Quantidade de dados	226
Valor Mínimo	12,0
Valor Máximo	319,6

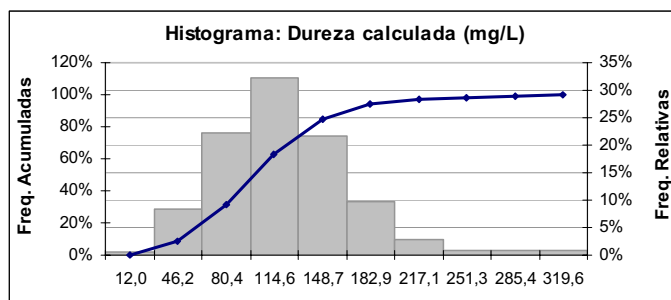
Medidas de Posicionamento	
Primeiro quartil	69,3
Segundo quartil	100,8
Terceiro quartil	126,0

Medidas de Tendência Central	
Média	103,7
Mediana	100,8
Moda	151,7

Medidas de Dispersão	
Variância	2.360,3
Desvio padrão	48,6
CV	46,86%

Contagem de dados dentro de		
Um desvio	169	74,8%
Dois desvios	220	97,3%
Três desvios	222	98,2%

Outras medidas	
Coefficiente de inclinação	1,02
Coefficiente de curtose	2,54



■ Frequência Relativa — Frequência Acumulada

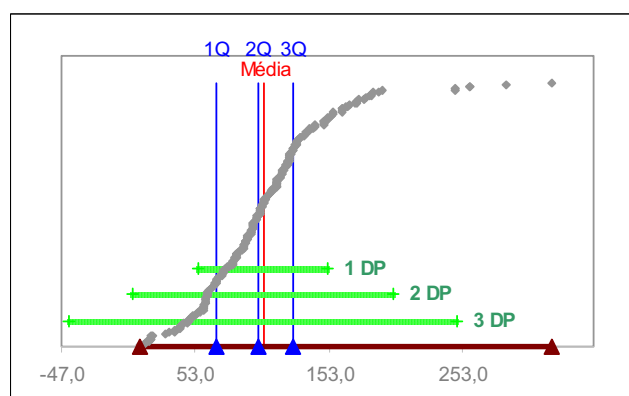


Figura 7.54 - Estatística univariada da dureza calculada.

7.4.16 Sólidos totais dissolvidos

A concentração do material dissolvido na água é determinada a partir do peso do resíduo seco, resultante da evaporação, à temperatura fixa e constante seguida de secagem em estufa de uma alíquota da amostra de volume conhecido. A temperatura usada para determinação dos sólidos totais dissolvidos (STD) foi de 103°C. Os valores analíticos dos STD foram determinados pelo método gravimétrico e podem apresentar discrepâncias quando comparados com a soma das concentrações de cátions e ânions, por isso foram considerados os valores de STD compostos pela soma das concentrações dos cátions e ânions. Esta discrepância normalmente é devida à transformação de HCO_3^- em CO_3^{2-} pela perda de CO_2 .

Ao comparar o mapa de isoconcentrações de STD calculados (Figura 7.55), com o mapa geológico, observa-se que medidas acima de 202 mg/L ocorrem em poços tubulares localizados no Complexo Atuba, na Formação Guabirotuba e nos aluviões. Os valores acima de 202mg/L predominam nos poços localizados próximos à Falha do Passaúna, principalmente nos terrenos situados ao sul da mesma (Regional da Matriz).

Existe uma relação direta na distribuição espacial dos valores dos STD, condutância específica (Figura 7.49) e HCO_3^- (Figura 7.25). Quanto a distribuição por bacias hidrográficas, estes valores predominam nos poços situados nas bacias dos rios Barigui, Belém e Atuba. A distribuição dos STD calculados é do tipo normal, com média de 181,9mg/L, desvio-padrão 54,6mg/L e coeficiente de variação 30,04% (Figura 7.56).

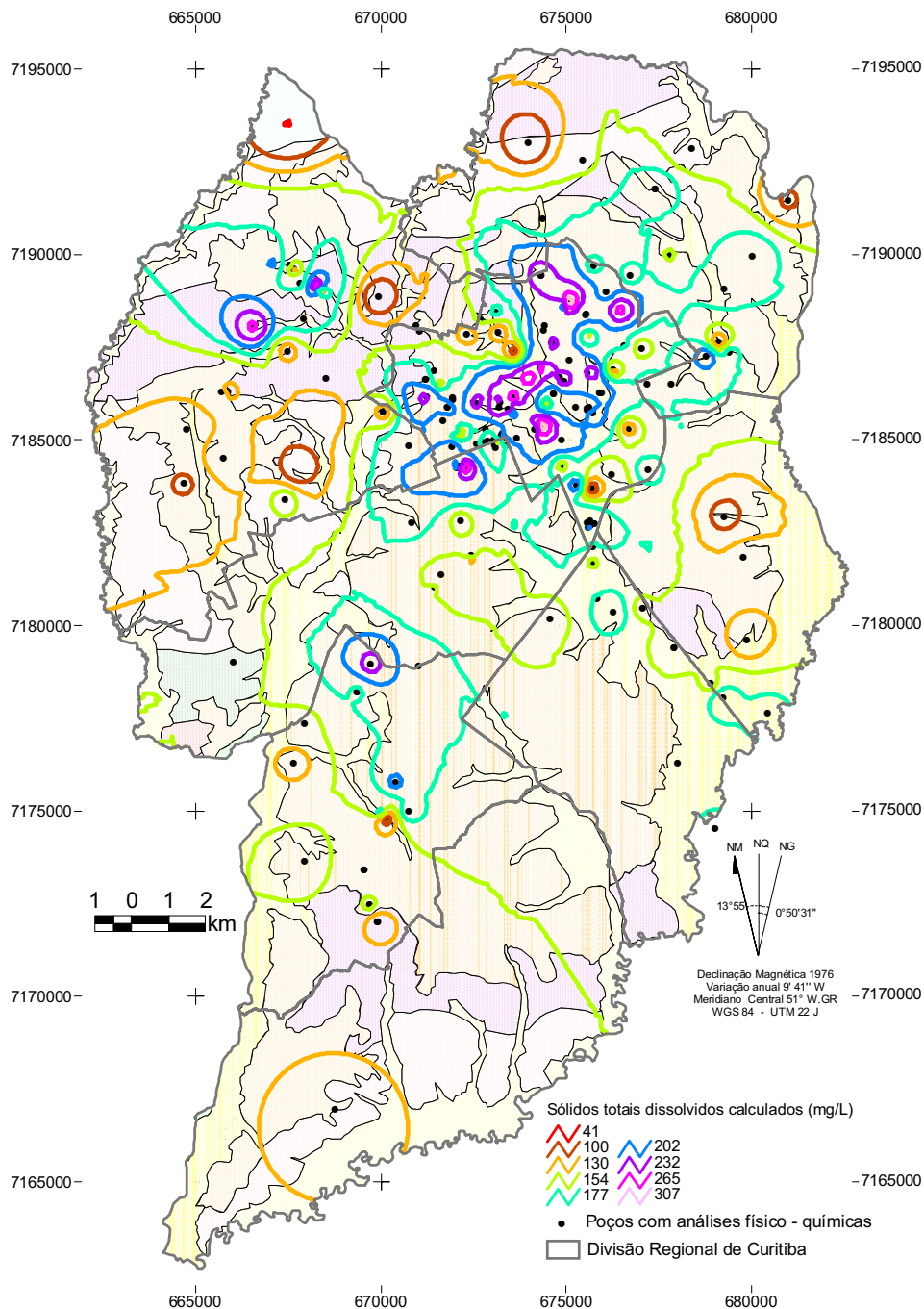


Figura 7.55 - Mapa com a distribuição espacial das isotoes dos STD calculados.

Sólidos totais dissolvidos calculados (mg/L)

Análise da amostra	
Quantidade de dados	227
Valor Mínimo	40,2
Valor Máximo	367,2

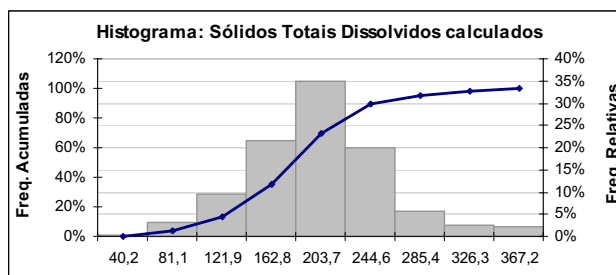
Medidas de Posicionamento	
Primeiro quartil	146,7
Segundo quartil	181,5
Terceiro quartil	210,8

Medidas de Tendência Central	
Média	181,9
Mediana	181,5
Moda	235,1

Medidas de Dispersão	
Variância	2.984,7
Desvio padrão	54,6
CV	30,04%

Contagem de dados dentro de		
Um desvio	168	73,0%
Dois desvios	215	93,5%
Três desvios	227	98,7%

Outras medidas	
Coefficiente de inclinação	0,48
Coefficiente de curtose	1,20



■ Frequência Relativa — Frequência Acumulada

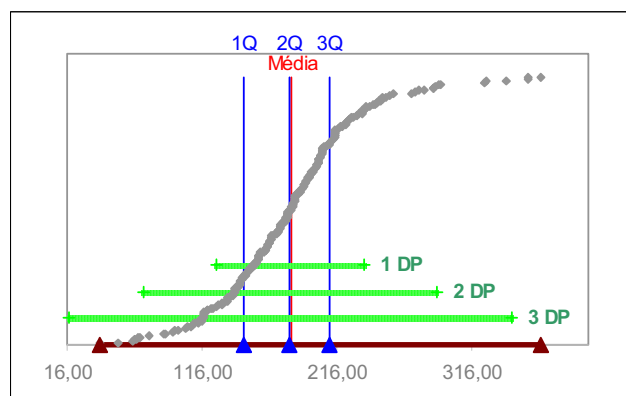


Figura 7.56 - Estatística univariada dos sólidos totais dissolvidos calculados.

7.4.17 Turbidez

É o grau de atenuação de intensidade de um feixe de luz ao atravessar uma amostra de água, devido a presença de sólidos em suspensão, como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) detritos orgânicos, algas e bactérias.

A alta turbidez afeta adversamente os usos domésticos, industrial e recreacional da água. Os esgotos sanitários e diversos efluentes industriais também provocam aumento da turbidez das águas (CETESB, 2006).

Mede-se a turbidez com o turbidímetro, e os dados expressos em UNT (unidade nefelométrica de turbidez).

Ao comparar o mapa de isoconcentrações da turbidez (Figura 7.57) com o mapa geológico, observa-se que medidas acima de 1 UT ocorrem em poços tubulares localizados no Complexo Atuba, Formação Guabirota e aluviões.

Os valores acima de 1 UNT predominam nos poços profundos, próximo ao contato dos depósitos aluvionares (bacias hidrográficas dos rios Atuba, Barigui, Belém e Iguaçu) com o Complexo Atuba e Formação Guabirota.

Observa-se uma grande similaridade do mapa de isovalores de turbidez com o mapa da distribuição das vazões na área (Figura 7.59).

O histograma da turbidez é assimétrico, o valor da média é 1,3 UT; o desvio padrão é 3,4 UT e o coeficiente de variação é 263,78% (Figura 7.58).

Segundo a Portaria nº 518, de 25 de março de 2004 (Brasil, 2004), que estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, o valor máximo permitido para o parâmetro turbidez é 5 UT. Dentre os dados analisados 4,6% estão acima do máximo permitido pela Portaria. Estes poços encontram-se próximos da Falha do Passaúna e do aluvião do rio Iguaçu.

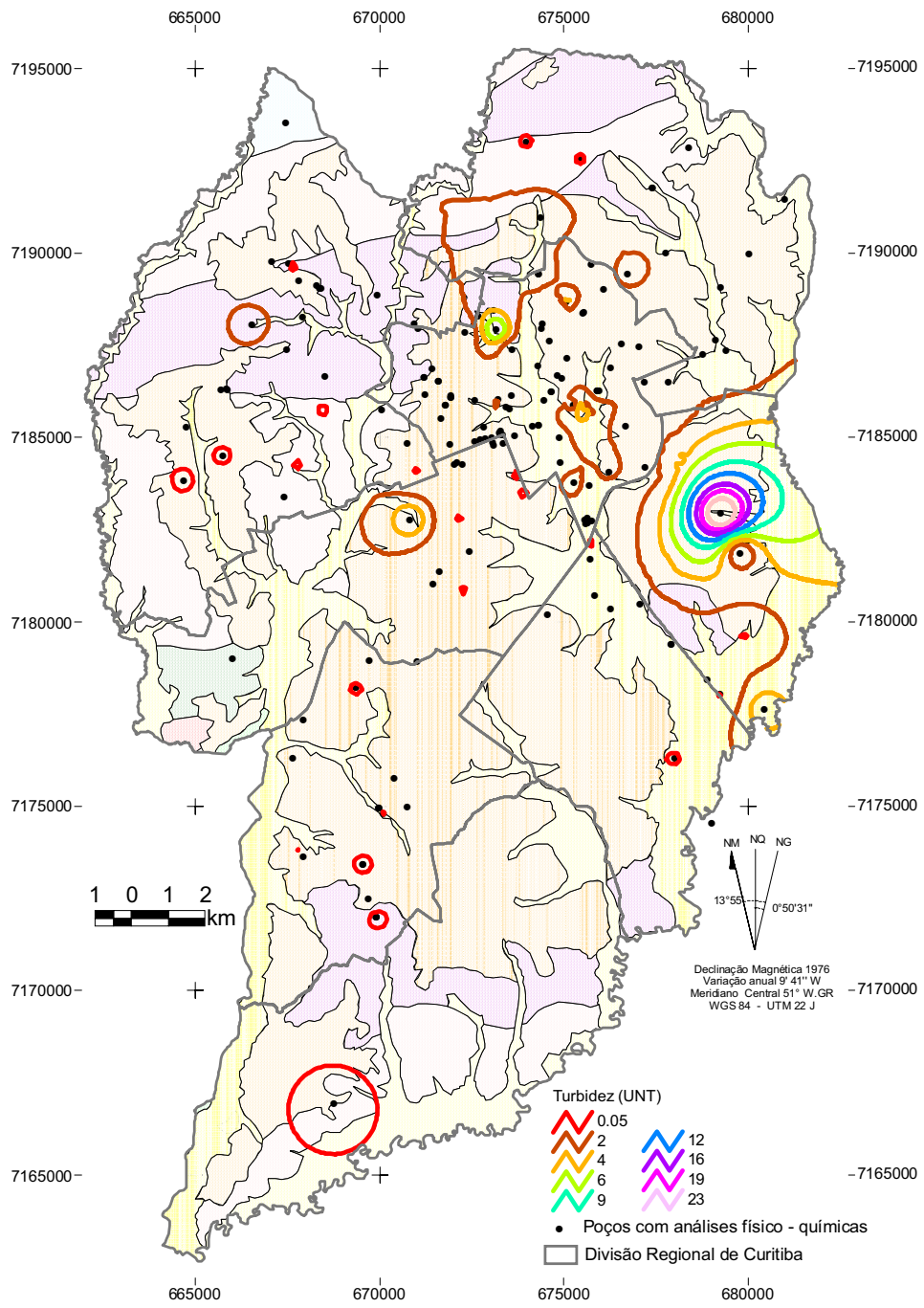


Figura 7.57 - Mapa com a distribuição espacial das isovalores da turbidez (UT).

Turbidez (UT)

Análise da amostra	
Quantidade de dados	220
Valor Mínimo	0,0
Valor Máximo	28,0

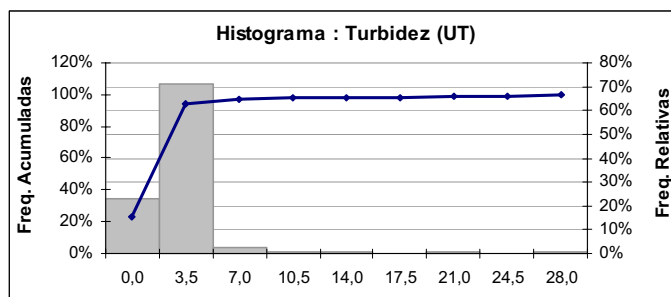
Medidas de Posicionamento	
Primeiro quartil	0,1
Segundo quartil	0,5
Terceiro quartil	1,0

Medidas de Tendência Central	
Média	1,3
Mediana	0,5
Moda	0,5

Medidas de Dispersão	
Variância	11,6
Desvio padrão	3,4
CV	263,78%

Contagem de dados dentro de		
Um desvio	210	95,5%
Dois desvios	213	96,8%
Três desvios	215	97,7%

Outras medidas	
Coefficiente de inclinação	5,83
Coefficiente de curtose	37,86



■ Freqüência Relativa — Freqüência Acumulada

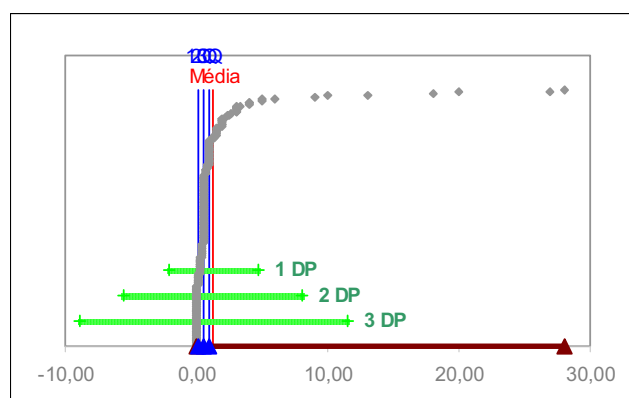


Figura 7.58 - Estatística univariada da turbidez.

7.4.18 Vazão

Vazão é o volume por unidade de tempo, que escoar através de uma seção transversal de um conduto livre (canal, rio, poço tubular profundo).

Ao comparar o mapa de isovalores de vazão (Figura 7.59) com o mapa geológico e, com o modelo digital de elevação, observa-se que os poços com vazões acima de $12\text{m}^3/\text{h}$ estão situados próximo a zonas de falha e lineamentos estruturais (Figura 7.60).

Ao longo da Falha do Passaúna, em locais onde há conectividade entre alinhamentos de direção NS (rios Barigui e Belém), os poços possuem vazão de até $44\text{m}^3/\text{h}$.

Na região onde o rio Belém deságua no rio Iguçu, a conectividade dos lineamentos estruturais destes rios possibilita poços com vazões de até $41\text{m}^3/\text{h}$.

A distribuição da vazão é assimétrica positiva, com média de $6,2 \text{ m}^3/\text{h}$, desvio padrão de $6,4 \text{ m}^3/\text{h}$ e coeficiente de variação 103,49% (Figura 7.61).

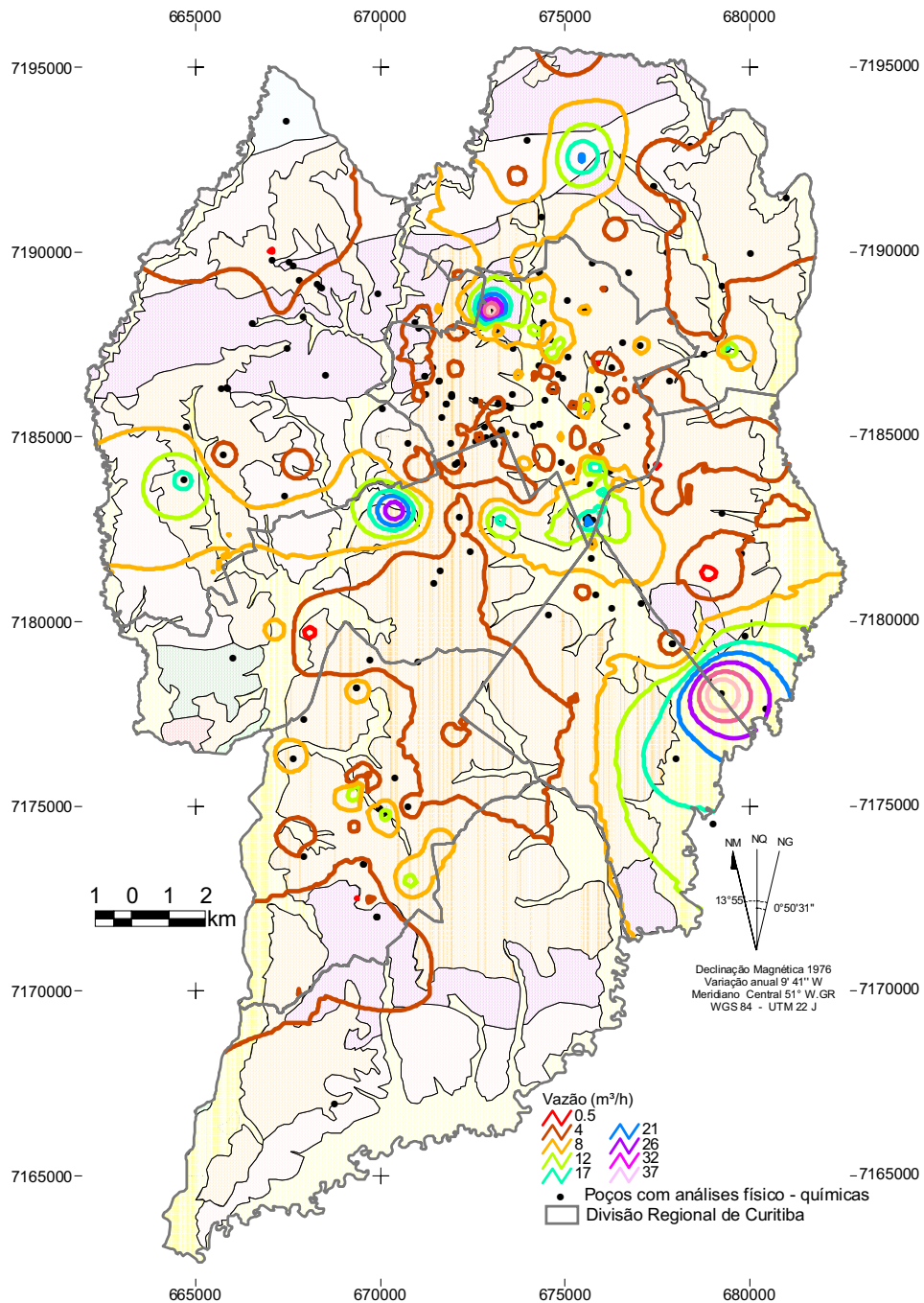


Figura 7.59 – Mapa com a distribuição espacial dos iso-valores da vazão.

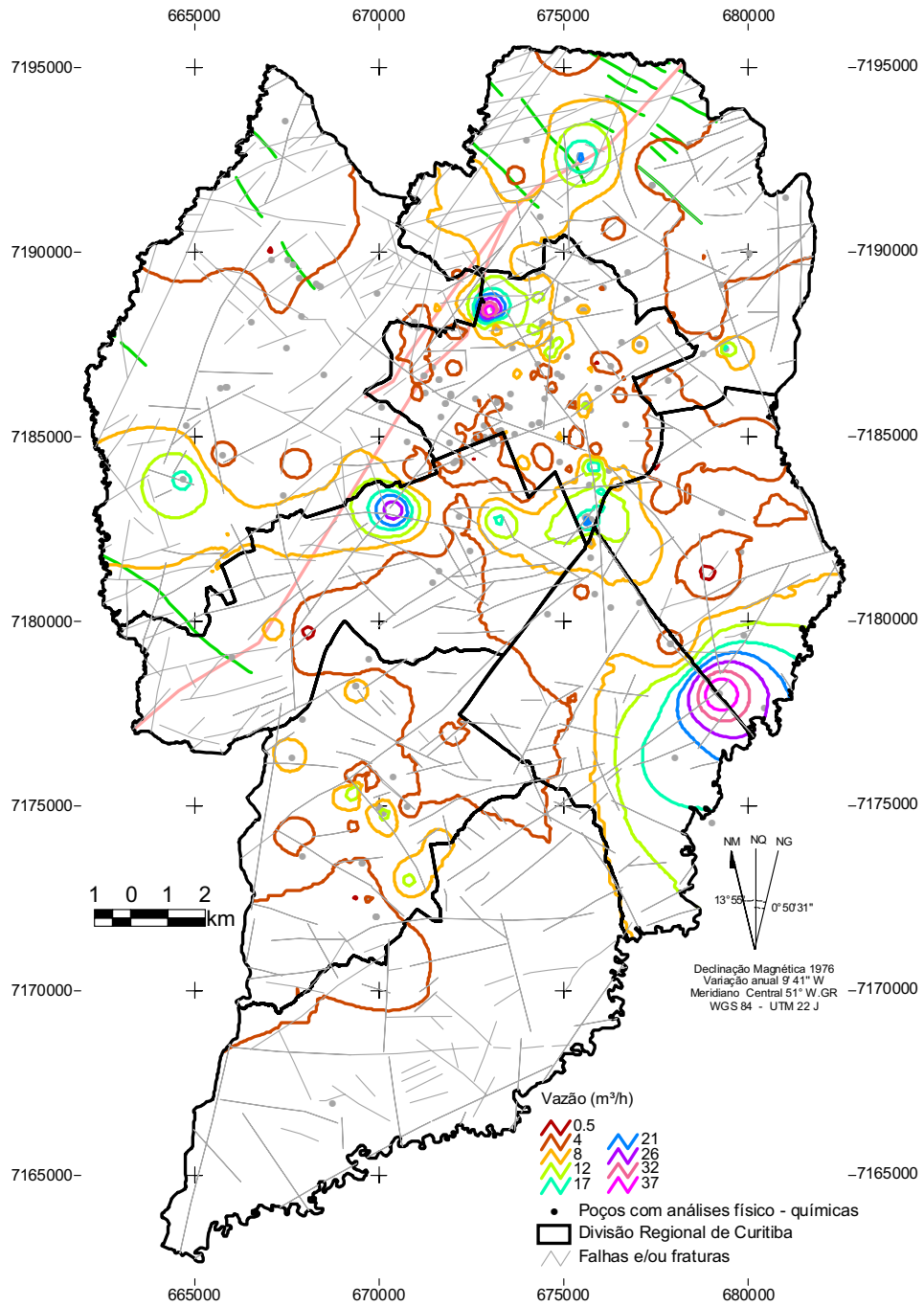


Figura 7.60 – Mapa com a distribuição espacial dos iso-valores da vazão e alinhamentos estruturais.

Vazão dos poços (m³/h)

Análise da amostra	
Quantidade de dados	266
Valor Mínimo	0,0
Valor Máximo	44,0

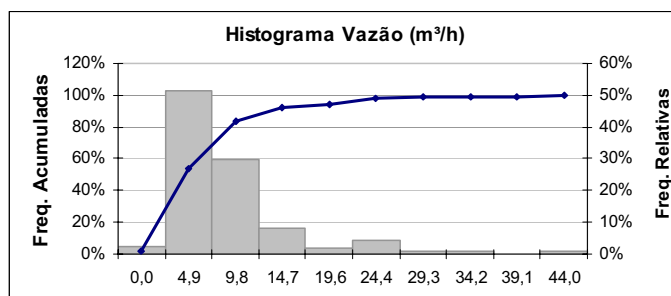
Medidas de Posicionamento	
Primeiro quartil	2,3
Segundo quartil	4,2
Terceiro quartil	7,7

Medidas de Tendência Central	
Média	6,2
Mediana	4,2
Moda	3,0

Medidas de Dispersão	
Variância	41,0
Desvio padrão	6,4
CV	103,49%

Contagem de dados dentro de		
Um desvio	238	89,5%
Dois desvios	249	93,6%
Três desvios	261	98,1%

Outras medidas	
Coefficiente de inclinação	2,61
Coefficiente de curtose	9,34



■ Freqüência Relativa — Freqüência Acumulada

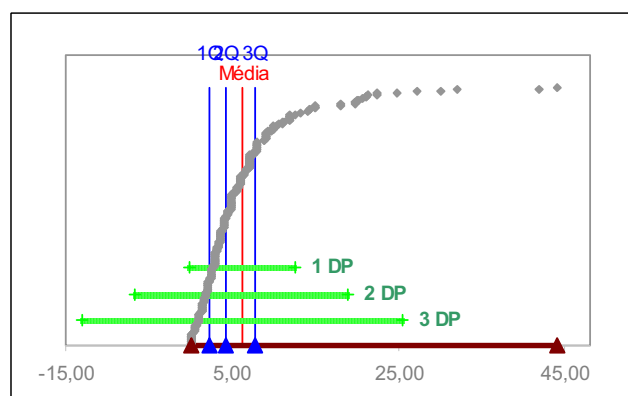


Figura 7.61 - Estatística univariada da vazão dos poços.

7.5 Avaliação do “efeito antrópico” nas águas subterrâneas, o exemplo do nitrato como indicio de alteração da qualidade natural das águas.

Essa avaliação visa exemplificar, de forma simplificada, a relação existente entre o uso e ocupação do solo e a degradação da qualidade das águas subterrâneas, na região central do município de Curitiba – PR, denominada de regional da matriz (Figura 7.62).

A degradação na qualidade das águas será abordada a partir da análise dos teores de NO_3^- obtidos nos laudos físico-químicos.

A escolha do íon NO_3^- deu-se em função do elemento ser um indicador reconhecido na degradação da qualidade das águas por efluentes antrópicos e, pelo fato de não existir rochas fontes deste elemento na área de estudo.

Conforme exemplificado no mapa de isóteores do NO_3^- (figura 7.35, página 86), concentrações acima de 6 mg/L ocorrem principalmente nos poços situados na região central, regional da matriz, sobre sedimentos da Formação Guabirota e depósitos aluvionares. Este resultado é consistente com a ocupação urbana mais antiga e densa que se verifica neste setor.

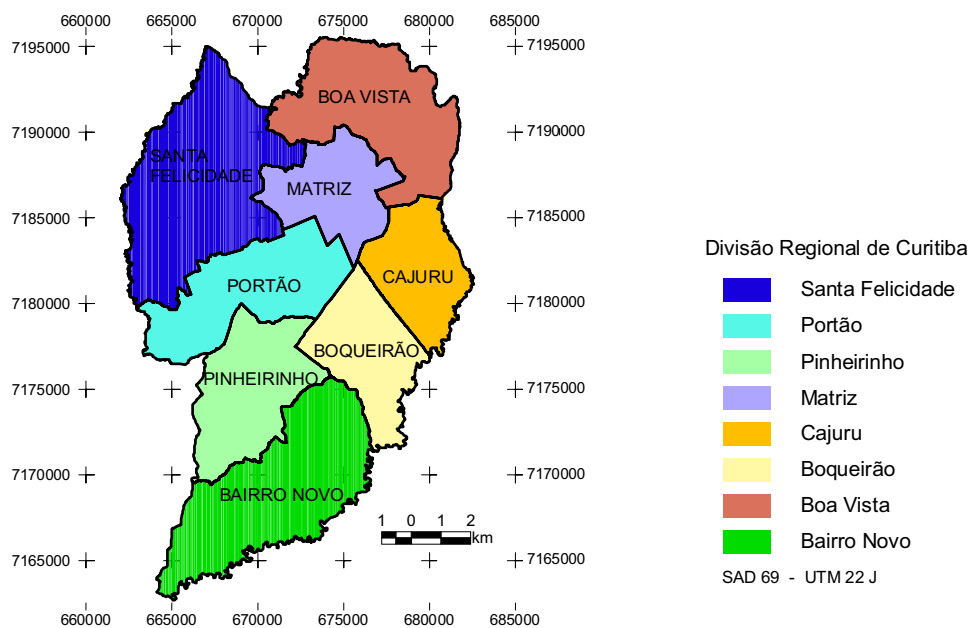


Figura 7.62 - Divisão regional do município de Curitiba, com destaque, em cinza, para a regional da matriz.

A análise dos mapas de uso e ocupação do solo em Curitiba, período entre 1654 e 2004 (IPPUC, 2006), evidencia que a urbanização do município teve início a partir da regional da matriz. Portanto, é de se esperar que, nesta região, os lançamentos de efluentes domésticos não tratados ocorram desde o início da ocupação da cidade.

Ao comparar o mapa de isópacas do aquífero sedimentar (figura 5.3, página 34) com o mapa de isóteores de NO_3^- , observa-se que, nas áreas onde ocorrem teores acima de 6 mg/L, as espessuras do aquífero granular chegam até a 40 metros.

Uma vez que a captação dos poços tubulares dá-se no aquífero fraturado e, o nível dinâmico de bombeamento destes poços (figura 5.4, página 35) localiza-se próximo ao contato entre os aquíferos sedimentar / cristalino (figura 5.2, página 32), constata-se que, mesmo em uma situação com 40 metros de zona não saturada (figura 7.63), há degradação na qualidade das águas subterrâneas provenientes de efluentes domésticos.

Outro fator que corrobora na infiltração e recarga de águas de baixa qualidade é a poluição dos recursos hídricos superficiais. Visto que, a morfologia das drenagens é condicionada por grandes lineamentos, prováveis zonas de conectividade estrutural entre os dois aquíferos.

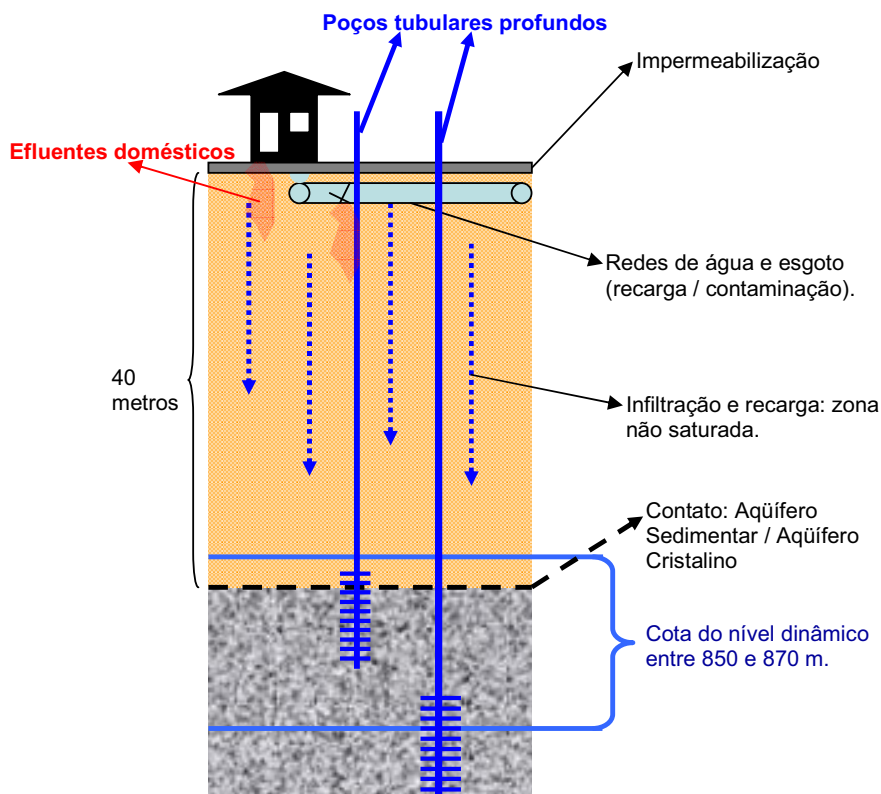


Figura 7.63 - Modelo esquemático da degradação das águas na regional da matriz, Município de Curitiba.

Frente ao quadro de poluição das águas subterrâneas acima descrito, faz-se necessária, a caracterização das zonas de recarga e zona de proteção dos poços, além da identificação das atividades potencialmente poluidoras nestas áreas.

É imprescindível um constante monitoramento da qualidade das águas associado com o nível hidrodinâmico da região, para que sejam determinadas zonas a serem remediadas e, para que poços tubulares ainda não impactados continuem a suprir com qualidade, o abastecimento à comunidade.

8. CONCLUSÃO

Os laudos analíticos provenientes de 227 análises físico-químicas de águas dos poços tubulares profundos situados em Curitiba, resultaram em 4 tipos principais:

- As águas bicarbonatadas cálcicas foram determinadas em 73,5% dos poços, portanto é a tipologia predominante do aquífero fraturado (Complexo Atuba). Nestas águas a concentração mediana do HCO_3^- é 150,42 mg/L, Cl^- = 6,96 mg/L, NO_3^- = 0,8 mg/L, Ca^{2+} = 28,95 mg/L, Mg^{2+} = 8,73 mg/L, Na^+ = 12,30 mg/L e ferro total é 0,07 mg/L.

- As águas bicarbonatadas sódicas foram determinadas em 16,7% dos poços. Nestas águas a concentração mediana do HCO_3^- é 149,09 mg/L, Cl^- = 1,8 mg/L, NO_3^- = 0,8 mg/L, Ca^{2+} = 15,88 mg/L, Mg^{2+} = 3,55 mg/L, Na^+ = 40,15 mg/L e ferro total é 0,02 mg/L.

- As águas bicarbonatadas magnesianas estão presentes em 6,6% dos poços. Neste tipo de água a concentração mediana do HCO_3^- é 158 mg/L, Cl^- = 8 mg/L, NO_3^- = 2,87 mg/L, Ca^{2+} = 20,89 mg/L, Mg^{2+} = 18,30 mg/L, Na^+ = 12,30 mg/L e ferro total é 0,13 mg/L.

- As bicarbonatadas-cloretadas mistas e cloretada-bicarbonatada magnesianasódica mista foram determinadas em 3% dos poços. Nestas águas a concentração mediana do HCO_3^- é 52,32 mg/L, Cl^- = 21 mg/L, NO_3^- = 47,74 mg/L, Ca^{2+} = 20,16 mg/L, Mg^{2+} = 9,72 mg/L, Na^+ = 15 mg/L e ferro total é 0,12 mg/L. A correlação positiva entre o Cl^- e NO_3^- , especialmente nas proximidades da regional da matriz de Curitiba, permitiu identificar a degradação na qualidade destas águas pela ação antrópica.

A relação entre a distribuição espacial dos principais tipos de água com a proximidade de falhas, fraturas e/ou diáclases, poderá ser estudada mais profundamente com a realização de novas análises físico-químicas, associação com o uso do solo e etc.

O mapa de isoteor do NO_3^- apresenta uma nítida semelhança com as direções de crescimento populacional do município. Como não existe fonte natural para este composto químico, acredita-se que o nitrato foi introduzido no sistema através da infiltração de efluentes domésticos até o aquífero cristalino.

A partir da análise estatística multivariada, aplicada para 166 laudos físico-químicos, também foi possível verificar a existência da ação antropogênica nas águas, visto que os íons Cl^- e NO_3^- apresentaram similaridades entre si, a ponto de formar juntos, a quinta componente principal, denominada de Fator 5, a qual explicou 8,16% da variância total do sistema.

O Fator principal 1, discriminado na análise estatística multivariada pelas variáveis HCO_3^- , Ca^{2+} e Mg^{2+} , foi responsável por 20,68% da variância total. O Fator 2 foi determinado pelos teores de CO_3^- e Na^+ , sendo responsáveis por 14,55% variância global. No Fator 3 exercem maior peso PO_4^{3-} e ferro total, responsáveis juntos por 12,02% da variância total. O Fator 4, determinado apenas pela SiO_2^- foi responsável por 10,71% da variância total. Os ânions NO_3^- e Cl^- exercem maior peso no quinto fator, responsável por 8,16% da variância

total e, F^- e SO_4^{2-} exercem maior peso no Fator 6, o qual é responsável por 7,25% da variância total. Esta relativa porém significativa dispersão da variância associada a cada um dos cinco primeiros fatores é compatível com a complexidade das origens tanto naturais quanto artificiais dos parâmetros químicos analisados.

Os poços localizados em Curitiba situam-se em maior número sobre os sedimentos terciários da Bacia de Curitiba (Formação Guabirotuba), seguido por poços situados sobre os aluviões e Embasamento (Complexo Atuba).

A heterogeneidade litológica reflete em heterogeneidade hidroquímica visto que, as concentrações de compostos como SiO_2^- , HCO_3^- , CO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Mg^{2+} , STD calculados, cor, condutância específica, alcalinidade, PO_4^{3-} , NO_3^- , Na^+ , dureza calculada e acidez, variam conforme o tipo de rocha aflorante no Município.

Os poços situados no Complexo Atuba, em comparação aos poços localizados sobre a Formação Guabirotuba e sobre sedimentos aluvionares, apresentam as menores concentrações de SiO_2^- , HCO_3^- , CO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Mg^{2+} , STD calculados, cor, condutância específica e alcalinidade. Os poços construídos na Formação Guabirotuba possuem valores intermediários e, os poços construídos em terrenos aluvionares apresentam os valores mais elevados para os mesmos parâmetros.

Em contrapartida, poços localizados sobre os sedimentos da Formação Guabirotuba, seguidos respectivamente pelos poços localizados sobre os aluviões e sobre Complexo Atuba, apresentaram as concentrações médias mais elevadas de PO_4^{3-} , NO_3^- , Na^+ , dureza calculada e acidez.

Ainda que a maior parte dos poços estudados apresentem parâmetros que não ultrapassam os limites máximos estabelecidos pela Portaria nº 518 do Ministério da Saúde, existem poços tubulares profundos que contêm teores de F^- , NO_3^- , ferro total, pH e turbidez que não se enquadram nos limites máximos permitido para fins de potabilidade.

Sabendo que a captação dos poços tubulares de Curitiba dá-se no aquífero fraturado, e foi constatado que o nível dinâmico destes poços localiza-se próximo ao contato entre os aquíferos sedimentar/cristalino, notou-se que ocorre a degradação na qualidade das águas subterrâneas do aquífero fraturado mesmo com a espessura de 40 metros dos sedimentos da Bacia de Curitiba. Outro fator que corrobora na infiltração e recarga de águas de baixa qualidade é a poluição dos recursos hídricos superficiais, visto que, a morfologia das drenagens superficiais é condicionada por grandes lineamentos que, provavelmente são zonas de conectividade estrutural entre os dois aquíferos.

Aliado a estas informações torna-se imprescindíveis campanhas de amostragens permanentes para avaliar o estado atual qualitativo e quantitativo deste importante manancial subterrâneo, assim como estabelecer medidas preventivas, de proteção e gerenciamento para o mesmo.

9 REFERÊNCIAS

- BECKER, R. D. 1982. **Distribuição dos sedimentos cenozóicos na região metropolitana de Curitiba e sua relação com a estrutura geológica e morfológica regional**. Tese (Doutorado) Pós Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- BIGARELLA J. J.; SALAMUNI R. 1959. Notas complementares à Planta Geológica da cidade de Curitiba e arredores. **IBPT- Instituto de Biologia e Pesquisas Tecnológicas**, Curitiba, n.º 40, p. 3-14.
- BIONDI, J.C. 2004. **Notas de aula**. Disciplina de Prospecção Mineral. Curitiba: UFPR, Curso de Graduação em Geologia.
- BITTENCOURT, A. V. L. 2006. **Notas de aula**. Disciplina Geoquímica Ambiental. Curitiba: UFPR, Curso de Pós Graduação em Geologia.
- BRASIL. 2004. Ministério da Saúde. Portaria nº 518 de 25 de março de 2004. Estabelece normas e o padrão de potabilidade da água destinada ao consumo humano. **Diário Oficial da União**, Brasília, v. 59, p. 266-270, 26 mar. 2004, Seção 1.
- CETESB. 2006. **Variáveis de qualidade das águas**. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp>> Acesso 10/10/2006.
- CHAVEZ-KUS, L. 2003. **Análise da tectônica rúptil em rochas do embasamento da Bacia de Curitiba com vistas à determinação de áreas favoráveis à exploração de água subterrânea**. Curitiba, 214 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Setor de Ciências da terra, Universidade Federal do Paraná.
- CHAVEZ-KUS, L. 2007. **Modelo hidrogeológico/estrutural de funcionamento do Aquífero fraturado do Complexo Atuba: análise multicritério**. Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Tese de Doutorado em andamento.
- CPRM. 2000a Serviço Geológico do Brasil. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br>> Acesso em 21 nov. 2004.
- CPRM. 2000b. **Hidrogeologia conceitos e aplicações**. Serviço Geológico do Brasil. 2ª ed.
- CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M. R. 1983a. **Hidrologia Subterrânea**. Barcelona: Omega.
- CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M. R. 2001. **Hidrologia Subterrânea**. 2ª edição. Barcelona: Omega.
- DALARMI, O. 1995. Utilização futura dos recursos hídricos da Região Metropolitana de Curitiba. **SANARE**, Curitiba, 4 (4):31- 43, abr./jun.1995.
- FETTER, C. W. 1994. **Applied Hydrogeology**. Upper Saddle River: Prentice-Hall.
- FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. 1979. **Groundwater**. Englewood: Prentice-Hall.
- FUCK, R; TREIN, E; MARINI, O. J. 1967. Geologia e petrografia dos migmatitos do Paraná. **Boletim paranaense de Geociências**. Curitiba, n.º 23-25, p. 5-41.

- GIUSTI, D. A. 1989. **Contribuição a Geologia Ambiental no Município de Curitiba – Pr.** Curitiba, 115 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.
- GONÇALES, V. G.; GIAMPÁ C. E. Q. 2006. **Águas Subterrâneas e Poços Tubulares Profundos.** São Paulo, 502 p, Signus Editora.
- HEM, J. D. 1970. *Study and Interpretation of the chemical characteristics of natural waters. Geological Survey Water- Supply Paper.* n. 1473, p1- 334.
- HEM, J. D. 1985. *Study and Interpretation of the chemical characteristics of natural waters. Geological Survey Water- Supply Paper.* n. 2254, p1- 263.
- HINDI, E. C. 1999. **Caracterização hidroquímica e hidrogeológica das fontes cársticas das Bacias dos rios Tumiri, Água Comprida, Fervida e das Onças – Colombo, PR.** Curitiba, 127 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.
- IAP INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. 2005. **Monitoramento da qualidade das águas dos rios da região metropolitana de Curitiba, no período de 2002 a 2005.** Curitiba: IAP.
- IAPAR. 2007. Instituto Agrônomo do Paraná. **Cartas Climáticas do Paraná.** Disponível em <<http://www.iapar.br>> Acesso em 04 nov. 2007.
- IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2007. Disponível em <<http://www.ibge.com.br>> Acesso em 17 nov. 2007.
- INMET Instituto Nacional de Meteorologia. 2006. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br>> Acesso em 13 jun. 2006.
- IPPUC Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba. 2006. Disponível em <<http://www.ippuc.org.br>>. Acesso em dezembro de 2006
- ISA Instituto Socioambiental. 2007. Disponível em <<http://www.socioambiental.org>> Acesso em 17 nov.2007.
- KRAUSKOPF, K. L. 1972. **Introdução à geoquímica.** São Paulo: Edusp-Polígono.
- LANDIM, P. M. B. 2004. **Apostila.** Introdução à análise estatística de dados geológicos multivariados. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. UNESP/ Campus Rio Claro.
- LAPPONI, J. C. 2005. **Estatística usando o Excel.** Rio de Janeiro. Editora Campus Elsevier.
- LICHT, O. A. B. 2001. **Análise multielementar na gestão ambiental – Identificação e caracterização de Províncias Geoquímicas naturais, alterações antrópica da paisagem, áreas favoráveis à prospecção mineral e regiões de risco para a saúde no Estado do Paraná, Brasil.** Curitiba, V1-V2. 209 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Setor de Ciências da terra, Universidade Federal do Paraná.
- LOPES, J. A. U. 1966. Nota explicativa da Folha Geológica de Curitiba. **Boletim da UFPR.** Curitiba, n.º 20, p. 1- 20.

- MAACK, R. 1947. Breves notícias dos Estados do Paraná e Santa Catarina. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**. Curitiba, v. 2, p. 63-154.
- MAACK, R. 1981. **Geografia física do Estado do Paraná**. 2., Rio de Janeiro: José Olímpio.
- MINEROPAR. 2001. **Atlas geoquímico da Folha Curitiba SG – 22 – XD - I**. Curitiba.
- NOGUEIRA, J. 1997. **A Bacia Hidrogeológica de Curitiba**. Curitiba, Dissertação (Mestrado em Geologia) – Setor de Ciências da terra, Universidade Federal do Paraná.
- PIPER, A.M. 1944. *A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses*. **Am. Geophys. Union Trans.** 25:914-923.
- ROSA FILHO, E. F.; LISBOA A. A. ; SCHOENAU O. 1996a. Abastecimento de água de Curitiba -Situação atual e proposta de solução . In: Workshop Internacional Ampliações dos Sistemas de Abastecimento de Água Potável nas Grades Metrôpoles, 1., Belo Horizonte. **Atas...**Belo Horizonte.
- ROSA FILHO, E. F.; PARANHOS FILHO, A. C.; PRAZERES FILHO, H. J.; VALASKI, Z. F. 1996b. Considerações sobre aspectos físicos e hidráulicos da Formação Guabirotuba na região Nordeste de Curitiba. **Boletim Paranaense de Geociências**. Curitiba, n°.44, p.35 – 50.
- ROSA FILHO, E. F.; BITTENCOURT, A. V. L.; HINDI, E. C. 1998a. Hidroquímica da Formação Guabirotuba na Porção Oriental da Bacia de Curitiba. **Boletim Paranaense de Geociências**. Curitiba, n°.46, p.131 – 139.
- ROSA FILHO, E. F.; HINDI, E. C.; GIUSTI, D. A.; NADAL, C. A. 1998b. Utilização das Águas Subterrâneas no Abastecimento Público das Cidades Paranaenses. **Boletim Paranaense de Geociências**. Curitiba: , v.46, p. 13 – 23.
- ROSA FILHO, E. F.; UDLUFT, P.; HEINRICH, G. 1998c. Determinação da Recarga das Camadas Aquíferas da Formação Guabirotuba na Bacia Hidrográfica do Iraí. **Boletim Paranaense de Geociências**. São Paulo ,v.17, p.10 – 27.
- ROSA FILHO E. F.; HINDI E. C.; LUCENA L. R. F. 2002. Os Aqüíferos que contribuem no abastecimento da cidade de Curitiba. **Revista Águas Subterrâneas**. n.º 16.
- ROSA FILHO, E. F.; HINDI, E. C. 2006. Diagnóstico das águas subterrâneas no Estado do Paraná: quantidade e Qualidade. **Relatório Técnico**.
- ROCHA, A.E. 1996. **Hidrogeologia da Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno**. Dissertação de mestrado. UFPR. 156 p. Curitiba.
- SANEPAR. 2005. Diagnóstico preliminar dos mananciais atuais e futuros do sistema integrado de abastecimento de água da Região Metropolitana de Curitiba. Companhia de Saneamento do Paraná. Curitiba: Sanepar/USHI.
- SALAMUNI R. 1981. Geologia da água subterrânea na Região Metropolitana de Curitiba. In: 3º Simpósio Regional de Geologia, V 2, 1981, Curitiba. **Atas...**SBG, Curitiba, p. 372- 389.
- SALAMUNI E. 1998. **Tectônica da Bacia Sedimentar de Curitiba**. Rio Claro, 214 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Unesp.

SALAMUNI E.; SALAMUNI R.; EBERTH H. D. 1999. Contribuição à geologia da Bacia Sedimentar de Curitiba (PR). **Boletim Paranaense de Geociências**, Universidade Federal do Paraná, v. 47.

SALAMUNI, E. 2005. Aspectos da Tectônica cenozóica e condicionamento do relevo da Serra do Mar e Planalto de Curitiba. **Programa de excursão temática**. Curitiba, X-SNET Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos e *IV-ST International Symposium on Tectonics*. Curitiba, jun/ 2005.

SEIXAS FILHO, C.; FERNANDES, L. R.; CARVALHO, F. B. 2006. Tutorial PCA- Uso de uma técnica de análise multivariada para detecção antecipada de comportamento anormal em controle de processos. **Brasil Intech**. Curitiba, n° 85, p. 32-41.

SIGA JR. O. 1995. **Domínios tectônicos da região sudeste do Paraná e nordeste de Santa Catarina. Geocronologia e evolução crustal**. São Paulo, 212p. (Tese de Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

SIGA JR., O.; BASEI, M. A. S.; REIS NETO, J. M.; MACHIAVELLI, A.; HARARA, O. M. 1995. O Complexo Atuba: Um cinturão paleoproterozóico intensamente retrabalhado no neoproterozóico. **Boletim do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo**, Série Científica, v.26, p.69-98.

STIFF, H. A. Jr. 1951. *The interpretation of Chemical Water Analysis by Means of Patterns*. **Journal of Petroleum Technology**. n°.3, V. 10, p.15 – 17.

SUREHMA. 1989. Localização dos poços de Curitiba. **Mapa preliminar**. Escala 1: 25000.

THORNTWAITE, C. W., MATHER, J. R. 1955. The water balance. **Climatology** 8:1-104.

TOOD, D. K. 1959. **Hidrologia de águas subterrâneas**. São Paulo: Edgar Blücher.

USGS. *United State Geological Servey*. 2006. Disponível em <<http://www.usgs.gov/>>.

ANEXO 1 – ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Codigo	Turb.	Cond.	pH	Dur. cal.	STD	SiO2	HCO3	CO3	Cl	F	PO4	SO4	NO3	Ca	Mg	Na	K	Fe
1	0,7	263,0	8,1	57,0	281,0	32,2	147,1	7,5	1,4	0,7	0,0	11,9	0,0	20,4	1,5	42,0	1,4	0,0
2	0,5	224,0	7,1	62,7	165,0	32,3	126,4	0,0	1,9	1,2	0,0	14,0	0,0	17,2	4,8	27,7	5,3	0,1
3	0,4	268,0	8,2	92,5	258,0	31,1	146,8	0,1	6,6	0,5	0,0	0,5	8,4	29,4	4,6	20,9	1,4	0,0
5	0,0	260,0	7,8	95,0		0,0	132,4	0,0	12,8	0,0	0,0	3,0	0,1	24,5	8,3	18,6	1,8	0,3
6	1,5	233,0	7,8	103,0	193,0	56,9	171,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,5	0,0	27,3	8,5	11,0	3,1	0,2
7	0,0	417,0	7,3	168,6		0,0	263,8	0,0	16,6	0,0	0,0	0,5	0,2	45,7	13,2	24,8	3,9	0,1
8	0,5	318,0	8,3	75,5	206,4	21,4	146,4	7,5	5,6			2,4	0,0	20,0	6,2	30,2	1,4	0,0
11	0,3	410,0	7,4	179,1	385,0	35,1	209,5	0,0	12,4	0,0	0,1	13,2	13,6	43,5	17,1	8,4	1,3	0,0
15	0,5	345,0	8,4	148,6	232,0	50,6	182,0	0,0	7,7	0,2	0,2	0,5	3,2	34,5	15,2	10,3	1,5	0,0
17	0,0	211,0	7,7	55,7		0,0	123,6	0,0	1,4	0,0	0,0	1,3	0,0	15,8	4,0	22,2	1,7	0,1
18	2,0	267,0	7,7	113,8	197,0	30,6	182,4	0,0	0,5	0,2	0,0	0,5	0,0	33,0	7,6	15,2	1,1	1,0
19	0,6	241,0	7,9	91,7		33,6	153,2	0,1	7,5	0,0	0,0	4,4	1,0	22,9	8,4	21,8	1,8	0,1
20	0,0	207,0	6,7	73,5		0,0	68,4	0,0	21,5	0,0	0,0	13,7	3,2	16,4	7,9	16,2	3,2	0,0
21	1,0	312,0	8,1	90,1	192,0	27,9	199,9	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	21,7	8,8	33,2	2,0	0,0
23	0,0	281,0	8,0	81,7		0,0	180,5	3,1	3,6	0,0	0,0	6,4	0,0	13,0	3,9	52,3	2,0	0,0
24	1,5	156,0	7,2	111,1	128,0	38,0	116,7	0,0	3,1	0,0	0,1	0,5	0,0	22,9	6,0	8,0	2,7	1,7
29	0,4	193,0	8,0	59,4	196,0	28,1	127,1	0,0	3,1	0,0	0,1	0,5	0,8	31,7	7,8	3,7	1,0	0,0
30	4,0	237,0	7,6	128,9	142,0	13,4	141,3	0,0	0,6	0,3	0,0	15,6	0,0	19,6	2,5	29,2	2,8	0,0
31	0,8	291,0	7,8	107,7		0,0	213,1	0,1	7,2	0,0	0,0	0,5	0,0	35,8	9,6	16,9	15,0	0,4
32	1,0	264,0	7,3	46,4		0,0	139,3	0,1	14,5	0,0	0,0	4,8	3,5	23,2	12,1	14,4	2,6	0,1
34	0,0		6,5	64,7		0,0	73,2	0,1	3,3	0,0	0,0	0,7	0,0	11,5	4,3	7,3	2,4	1,2
36	1,5	182,0	6,5	60,0	119,0	11,5	52,3	0,0	18,3	0,2	0,4	0,5	22,0	16,6	5,7	9,8	1,6	0,3
37	0,2	166,0	7,5	151,7	175,5	55,5	93,7	0,1	0,7	0,3	0,4	0,5	0,7	13,3	6,5	9,9	2,1	0,1
41		452,4	7,6	125,8	134,2	3,4	122,0		63,9	0,4		0,2	3,4	40,0	12,6	2,5	17,5	0,4
42	1,0	294,0	7,9	163,2	180,0	29,2	195,5		2,6	0,4		2,4	5,4	35,2	9,2	18,0	1,2	0,4
44	2,3	427,0	7,6	61,2	134,2	32,7	244,0		21,3	0,4		6,0	5,4	48,7	10,1	33,2	0,8	0,3
56	0,0		7,0	19,9		0,0	80,3	0,0	1,1	0,0	0,0	0,5	1,1	14,3	6,2	5,7	1,2	0,0
57	0,0	245,0	8,7	190,1		0,0	144,3	14,8	1,5	0,0	0,0	0,5	0,0	6,0	1,2	52,0	1,8	0,0
58	1,0	392,0	7,7	126,0	215,0	28,0	225,6	0,0	10,9	0,2	0,3	24,6	1,9	17,7	35,5	13,0	3,8	1,4
59	0,1	410,0	7,0	37,3		35,5	146,4	0,0	17,8	0,0	0,0	0,9	5,2	32,0	11,2	9,8	2,3	0,0
60	0,0		8,6	123,1		0,0	158,6	6,0	1,0	0,0	0,0	6,5	0,0	9,5	3,3	50,0	1,7	0,1

Codigo	Turb.	Cond.	pH	Dur. cal.	STD	SiO2	HCO3	CO3	Cl	F	PO4	SO4	NO3	Ca	Mg	Na	K	Fe
61	0,3		7,9	103,9		35,3	201,3	0,0	7,8	0,0	0,0	1,7	0,0	34,3	9,1	23,5	2,5	0,2
62	0,7	339,3	8,2	81,8		36,6	152,0	3,0	8,5	0,0	0,0	1,4	0,0	30,4	6,8	16,7	2,3	0,2
63	0,4	178,0	7,7	165,7		40,5	115,9	0,1	6,7	0,0	0,0	0,5	2,3	17,6	9,2	10,3	1,7	0,4
64	0,3	412,0	7,3	118,2	391,0	31,7	124,4	0,0	41,5	0,0	0,1	0,5	74,0	32,7	20,4	21,0	5,0	0,2
66	0,1	299,0	6,6	118,1		40,5	132,2	0,1	18,5	0,0	0,0	5,6	25,8	24,1	14,1	18,7	1,7	0,0
67	1,2	283,0	6,7	116,1		54,4	131,2	0,1	13,4	0,0	0,0	8,0	16,6	28,0	11,7	12,7	1,9	0,1
68	0,3		7,7	128,6		42,2	189,1	0,0	1,4	0,0	0,0	2,8	0,0	32,0	8,8	20,1	0,2	0,0
69	1,5	308,0	6,6	20,3	200,0	32,0	126,0	0,1	22,4	0,0	0,0	2,5	22,0	36,0	9,4	11,5	1,3	0,3
70	0,0	341,0	9,8	74,8	240,4	0,0	170,8	18,0	7,1	0,0	0,0	5,1	0,0	5,0	1,9	74,9	1,7	0,4
72	0,0	197,0	6,3	143,1		0,0	77,3	0,0	8,7	0,0	0,0	0,5	21,3	20,8	5,6	6,6	1,7	0,1
73	0,1	307,0	7,7	124,0	nd	31,3	160,2	3,4	10,9	0,0	0,0	5,5	5,8	42,3	9,1	8,5	1,0	0,0
74	0,3	360,5	7,6	185,3		38,2	189,1	1,5	6,0	0,0	0,0	0,5	0,0	31,2	11,2	19,0	1,0	0,0
75	2,2		7,0	155,3	264,0	31,5	183,0	3,0	26,6	0,0	0,0	0,8	16,0	55,9	11,1	8,8	1,5	0,2
76	0,5	322,0	7,7	90,3		28,8	159,1	0,1	16,8	0,0	0,0	4,2	20,0	36,8	15,4	8,4	0,8	0,0
77	0,3	258,0	6,3	98,5	167,0	31,8	63,5	0,0	20,7	0,1	0,2	0,5	47,7	20,2	9,7	6,7	4,9	0,0
78	0,2	269,0	6,0	135,5		42,3	48,8	0,0	24,9	0,0	0,0	0,0	60,7	24,6	9,0	9,6	3,6	0,0
79	0,8	410,0	7,1	247,6		37,2	152,5	0,0	17,7	0,0	0,0	1,1	12,7	36,8	10,6	10,4	2,6	0,1
80	0,0	452,0	7,6	89,9		0,0	299,7	0,1	21,5	0,0	0,0	3,9	0,0	58,6	24,6	15,5	2,6	0,1
82	1,4		8,0	85,5		32,5	128,1	3,0	4,6	0,0	0,0	4,5	1,2	24,8	6,8	12,7	3,6	0,3
84	0,0	233,0	8,3	89,1		0,0	157,6	0,1	3,9	0,0	0,0	7,0	0,6	23,7	6,4	24,0	3,6	0,1
85	0,0	251,0	8,1	117,9		0,0	152,5	6,0	7,0	0,0	0,0	6,2	0,0	26,3	5,7	22,5	3,5	0,0
87	0,0	303,0	7,9	113,9		35,4	207,4	0,1	1,8	0,0	0,0	5,1	0,0	29,6	10,7	26,9	1,1	0,0
88	0,0	159,0		42,1		0,0	140,3	0,1	10,6	0,0	0,0	0,5	10,3	28,8	10,2	9,4	3,1	0,0
89	0,7		8,5	113,9		0,0	120,0	10,0	0,4	0,4	0,0	7,6	0,1	11,1	3,5	36,0	1,5	0,1
90	0,3	259,0	7,6	101,9		40,7	140,3	0,0	10,6	0,0	0,0	0,0	10,3	28,8	10,2	9,4	3,1	0,0
93	0,5	259,0	8,2	89,6	225,0	31,1	184,6	0,0	12,3	0,5	0,0	4,1	0,1	31,7	5,5	26,2	2,9	0,3
94	1,5	269,0	8,1	113,5	152,0	32,1	166,8	0,1	1,4	0,2	0,1	0,5	0,3	25,9	6,1	21,7	2,6	0,2
95	0,4	326,0	8,0	61,6	213,6	31,0	219,6	3,0	3,6	0,0	0,0	1,6	0,0	31,1	8,7	34,2	3,1	0,0
96	0,6	247,0	8,2	67,1		25,6	136,2	6,7	10,7	0,0	0,0	0,5	0,2	18,9	3,5	34,0	1,9	0,1
97	0,0	189,0	6,2	180,8	189,0	0,0	73,2	0,1	15,6	0,0	0,0	0,1	19,5	16,0	6,6	12,9	2,1	0,4
98	0,0		6,8	94,5		35,1	158,6	0,1	39,0	0,1	0,0	3,3	7,3	48,0	14,8	2,6	2,1	0,0
99	0,6	263,0	6,9	129,3		0,0	102,1	0,1	22,2	0,0	0,0	0,5	7,2	19,7	11,0	20,0	2,6	0,0

Codigo	Turb.	Cond.	pH	Dur. cal.	STD	SiO2	HCO3	CO3	Cl	F	PO4	SO4	NO3	Ca	Mg	Na	K	Fe
100	0,1		7,9	163,5		0,0	152,5	0,1	14,2	0,0	0,0	2,1	8,0	33,5	11,1	10,1	1,9	0,1
101	0,0	410,0	6,6	185,7		37,5	178,7	0,0	31,9	0,0	0,0	3,2	0,0	36,8	17,4	11,2	1,6	0,1
102	0,5	346,0	7,9	73,4	225,0	36,1	244,0	0,0	9,8	0,2	0,1	7,8	0,5	48,2	15,9	12,0	3,0	0,1
104	0,5	257,0	8,2	151,7	171,0	30,8	137,4	0,0	5,2	0,8	0,8	0,5	0,0	17,4	7,3	24,7	1,9	0,0
105	0,3	452,0	7,6	95,0		40,0	122,0	0,1	63,9	0,0	0,0	0,2	10,0	40,0	12,6	17,5	2,5	0,4
106	0,4	259,0	8,0	138,8		30,3	152,5	0,0	1,5	0,0	0,0	16,2	0,0	26,2	7,2	20,6	1,0	0,1
107	0,0	377,0	7,3	126,7		0,0	206,9	0,0	19,6	0,0	0,0	0,5	0,1	43,7	7,2	26,3	1,5	0,1
108	0,5	292,0	7,7	50,5	127,0	51,2	157,3	0,0	6,5	0,3	0,3	0,5	18,6	32,8	10,9	11,6	2,1	0,1
110	0,0	133,0	7,6	121,0		0,0	81,5	0,0	0,1	0,0	0,0	0,5	0,0	13,7	4,0	7,1	2,2	0,0
111	0,5	316,0	8,0	149,6	206,0	27,0	193,9	0,0	2,2	0,4	0,0	0,5	0,0	30,5	10,9	18,6	4,8	0,0
112	0,0			134,8		0,0	244,0	6,0	1,0	0,0	0,0	2,3	0,0	37,5	13,6	26,7	4,8	0,5
113	0,0	327,0	7,7	83,5		0,0	218,8	0,1	3,7	0,0	0,0	3,7	0,0	35,2	11,4	21,5	4,6	0,6
116	0,3	216,0	7,8	49,0	139,0	34,7	114,5	0,0	1,9	0,0	0,0	0,5	0,4	24,7	5,3	8,9	1,0	0,2
117	0,0	113,0	6,6	104,7		0,0	70,1	0,0	3,7	0,0	0,0	0,5	2,5	16,8	1,7	4,4	1,0	0,2
120	0,4	249,0	7,9	167,4	286,0	27,6	139,9	0,0	3,2	0,1	0,0	15,6	0,9	28,2	8,4	10,0	1,2	0,1
121	2,5		7,6	129,1	307,0	33,0	146,4	0,0	17,8	0,2	0,1	12,4	35,2	41,6	15,4	7,4	1,4	0,3
122	0,5	314,0	7,9	118,2	207,4	24,5	207,4	0,0	2,8	0,0	0,0	4,3	0,0	34,9	10,2	19,8	1,0	0,1
124	1,0	295,0	7,7	92,5	174,0	33,1	168,2	0,1	8,2	0,2	0,1	0,5	5,2	35,5	7,2	10,4	0,9	0,1
125	0,4	268,0	8,2	127,9	258,0	25,9	146,8		6,6	0,5		1,0	8,4	29,4	4,6	20,9	1,4	0,3
126	0,1	324,0	7,0	101,9	214,8	43,7	170,8	0,1	19,2	0,0	0,0	1,2	1,1	22,4	17,5	16,8	3,8	0,0
127	0,1	264,0	7,5	116,4	172,0	34,7	146,4	3,0	9,2	0,0	0,0	4,0	7,0	24,0	10,2	16,4	3,6	0,0
128	0,1	288,0	6,2	102,0	159,2	50,1	134,0	0,1	18,5	0,0	0,0	0,5	14,0	26,5	12,2	12,2	3,6	0,4
129	0,4	252,0	7,1	69,6		47,6	152,5	0,1	8,5	0,0	0,0	2,4	0,9	25,7	9,2	15,6	3,4	0,0
130	0,0	273,0	8,4	61,9		0,0	139,8	3,3	14,5	0,0	0,0	34,8	0,0	21,3	4,0	48,3	1,6	0,1
132	0,0	209,0	6,9	123,7		0,0	131,2	0,1	3,7	0,0	0,0	0,5	0,0	14,4	6,3	17,2	2,5	5,9
138	0,3	266,0	6,8	54,2		0,0	174,2	0,0	4,1	0,0	0,0	1,0	3,7	33,0	10,1	14,6	4,1	1,2
143	0,0		8,6	69,1		0,0	158,6	1,5	1,4	0,0	0,0	3,0	0,0	7,2	8,8	37,5	1,4	0,7
144	9,0		7,5	119,2	122,0	20,0	78,0	0,0	8,0	0,0	0,0	6,0	2,9	14,0	8,3	8,8	1,4	1,3
146	0,6	360,5	8,0	30,6		25,2	146,4	6,0	9,9	0,0	0,0	1,1	2,8	31,1	10,1	11,7	2,3	0,0
148	0,0	254,0	8,5	99,5		0,0	159,8	6,6	14,5	0,0	0,0	0,5	0,0	10,6	1,0	58,8	3,1	0,0

Codigo	Turb.	Cond.	pH	Dur. cal.	STD	SiO2	HCO3	CO3	Cl	F	PO4	SO4	NO3	Ca	Mg	Na	K	Fe
149	0,0	318,0	7,8	319,6	130,0	0,0	140,3	3,0	3,5	0,0	0,0	1,0	0,0	31,1	5,3	10,7	2,6	0,1
153	0,9	610,0		105,6		0,0	353,8	0,1	28,4	0,0	0,0	0,1	12,2	84,0	26,7	8,3	1,4	0,0
155	0,0	250,0	7,2	258,5		0,0	151,3	0,1	7,1	0,0	0,0	1,3	0,8	30,6	7,1	11,5	4,3	0,0
156	0,0	532,0	6,7	103,9		0,0	252,1	0,1	12,4	0,0	0,0	72,2	1,2	74,5	17,6	16,1	5,4	0,0
159				119,4	192,4	36,6	152,0		8,5			1,4	0,0	30,4	6,8	16,7	2,3	
160				96,0	219,6	40,2	176,9		14,2			5,4	0,0	34,3	8,2	21,8	3,0	
161				151,7	175,2	28,8	152,5		1,1			3,5	0,0	25,6	7,8	19,1	2,0	
162				60,5	360,0	44,3	122,0		63,9			3,4	0,2	40,0	12,6	17,5	2,5	
163				97,9	226,0	21,7	189,1		2,1			6,1	0,0	16,0	5,0	48,6	2,3	
164				124,0	173,2	32,8	140,3		2,1			3,6	0,0	28,0	6,8	10,9	2,1	
166				135,5	206,0	38,2	189,1		6,0			0,5	0,0	31,2	11,2	19,0	1,0	
168				19,6	256,0	37,2	152,5		17,7			1,1	0,0	36,8	10,6	10,4	2,6	
169				163,2	80,0	0,0	27,4		9,2			0,4	1,7	4,7	1,9	7,4	1,2	
170				155,3	312,0	32,7	244,0		21,3			6,0	0,0	48,7	10,1	33,2	0,8	
171				134,1	208,0	28,8	159,1		16,8			4,2	20,0	36,8	15,4	8,4	0,8	
172				113,5	209,6	24,5	207,4		2,8			4,3	0,0	36,9	10,2	19,8	1,0	
175				141,0	213,6	31,0	219,6		3,6			1,6	0,0	31,1	8,7	34,3	3,1	
178				69,4	407,0	15,0	122,0		34,0			3,0	6,0	25,1	19,0	3,8	1,2	
179				101,8	103,6	41,8	122,0		21,3			2,1	0,0	20,7	4,3	30,7	2,4	
180				102,0	209,6	49,4	103,7		42,0			4,0	2,6	24,8	9,7	13,4	4,4	
182				116,4	202,0	47,6	152,5		8,5			2,4	0,9	25,7	9,2	15,6	3,4	
183				101,9	159,2	50,1	134,2		18,5			0,0	14,0	26,5	12,2	12,2	3,6	
184				84,0	134,2	34,7	146,4		9,2			4,0	7,0	24,0	10,2	16,4	3,6	
185				62,5	176,0	32,4	134,2		2,1			0,9	0,0	21,6	7,3	12,0	2,0	
186				173,4	184,8	34,5	164,7		1,7			4,8	0,0	19,1	3,6	32,6	7,0	
188				60,6	351,2	21,7	183,0		67,5			4,9	6,3	55,1	8,7	36,1	1,0	
189				81,3	121,6	39,6	91,5		5,0			2,3	2,3	17,5	4,1	10,4	3,6	
190				59,3	239,2	39,9	67,1		28,4			0,8	15,0	20,7	7,2	10,5	3,0	

Codigo	Turb.	Cond.	pH	Dur. cal.	STD	SiO2	HCO3	CO3	Cl	F	PO4	SO4	NO3	Ca	Mg	Na	K	Fe
191				37,0	180,4	41,0	62,5		10,6			3,3	15,5	17,5	3,8	8,6	3,2	
192				148,8	124,0	35,9	69,5		1,2			1,0	0,2	8,8	3,7	8,5	1,7	
193				67,9	306,0	1,0	141,5		19,6			24,3	0,1	47,3	7,5	10,0	2,3	
195				60,1	132,0	31,8	132,9		2,0			0,0	0,0	19,5	4,7	17,0	2,9	
196				41,4	143,2	42,5	97,6		0,7			0,0	0,0	16,0	4,9	8,1	2,5	
198				21,5	112,4	69,2	61,0		2,4			4,1	0,0	10,3	3,8	6,1	2,4	
199				99,5	73,6	24,0	30,5		2,8			0,4	0,0	4,0	2,8	2,4	2,8	
200				156,8	183,2	41,1	140,3		3,5			1,0	0,0	31,1	5,3	10,7	2,6	
201				69,3	298,0	7,8	184,2		8,0			1,0	11,9	43,0	12,0	7,5	0,7	
202				175,6	221,0	41,9	186,5		1,9			0,0	0,0	22,0	3,5	43,6	1,8	
203				103,5	241,0	8,0	175,6		6,0			3,0	7,8	27,2	26,1	1,4	0,5	
204				114,1	104,0	12,8	125,6		2,6			0,1	0,2	23,0	11,2	4,0	0,9	
205				95,9	208,4	35,3	183,0		1,4			1,1	3,4	26,4	11,7	24,6	2,6	
206				104,0	190,0	34,5	158,6		5,3			4,9	3,4	27,2	6,8	25,3	3,5	
207				88,1	155,6	29,2	134,2		2,4			0,6	0,0	25,5	9,8	5,2	1,0	
208				92,0	223,6	33,5	130,0		11,3			55,7	0,0	26,2	5,5	41,7	1,4	
209				95,4	134,2	88,0	163,6		1,1			0,0	0,0	24,3	7,6	21,4	2,0	
215				122,3	178,4	46,8	152,5		1,1			1,5	0,0	28,0	6,2	11,8	5,6	
216				126,0	190,4	19,0	164,7		9,2			7,1	6,1	35,3	8,3	9,2	3,3	
221				131,1	212,8	35,5	146,4		17,8			0,9	5,2	32,0	11,2	9,8	2,3	
222				122,3	228,4	42,0	152,5		8,9			3,7	19,6	38,5	8,5	14,3	0,7	
223	2,0	265,0	6,5	59,3	159,0	36,3	116,4	0,0	12,0	0,2	0,2	0,5	19,9	30,8	11,0	7,7	1,3	0,0
224	1,4	179,3	6,3	173,8		41,0	62,5	0,0	10,6	0,0	0,0	3,3	15,5	17,5	3,8	8,6	3,2	0,1
225	1,6		7,9	18,7	321,6	40,1	158,6	0,1	17,7	0,0	0,0	2,4	46,0	47,2	13,6	7,7	3,3	0,6
227	1,0	340,0	8,4	69,0	194,0	15,2	192,8	15,5	0,5	0,3	0,0	14,1	0,2	5,2	1,4	77,0	1,6	0,0
233	0,5	200,0	7,5	96,4	189,0	0,0	115,5	0,0	1,4	0,1	0,0	4,7	0,6	19,6	4,9	14,4	1,8	0,1
239	0,0	186,0	6,4	111,8		0,0	116,1	0,0	2,1	0,0	0,0	49,0	0,0	32,0	4,0	11,9	1,9	0,0
243	0,0	209,0	7,9	124,6		0,0	152,5	0,1	2,0	0,0	0,0	0,5	0,6	24,0	12,6	7,1	0,9	0,2
244	0,0		8,0	130,5		0,0	176,0	0,0	1,0	0,0	0,0	24,0	0,2	15,8	20,7	20,0	4,6	0,0

Codigo	Turb.	Cond.	pH	Dur. cal.	STD	SiO2	HCO3	CO3	Cl	F	PO4	SO4	NO3	Ca	Mg	Na	K	Fe
245	0,5	330,0	7,6	88,6	147,0	18,4	198,7	0,0	5,2	0,3	0,0	19,6	4,3	40,5	7,1	18,7	4,6	0,0
250	0,0	220,0	7,4	33,7		0,0	136,9	0,0	2,0	0,0	0,0	0,5	0,2	21,1	8,8	11,0	3,5	0,2
252	0,0	104,2	7,0	63,2		0,0	74,4	0,1	0,7	0,0	0,0	0,5	0,0	9,7	2,3	11,3	3,0	0,0
253	0,0	155,4	7,3	63,1		0,0	105,4	0,1	1,1	0,0	0,0	0,5	0,0	17,9	4,5	10,0	2,4	0,0
260	0,2	182,0	4,6	78,2	258,0	3,5	18,5	0,0	21,0	0,0	0,0	0,0	50,2	5,3	12,2	15,0	3,8	0,1
262	0,6	187,6	8,1	84,5	119,0	36,7	125,7	0,0	0,3	0,3	0,0	0,5	0,0	21,6	5,9	14,7	2,0	0,1
263	1,0	217,0	7,8	102,9	182,0	41,9	141,1	0,0	5,7	0,7	0,9	0,5	0,0	24,5	5,7	16,4	1,8	0,2
266	3,0		8,0	69,8	200,0	25,0	158,0		1,0	0,3		5,9	0,2	10,3	18,8	18,7	2,8	0,3
276	0,0	245,0	7,8	83,3		0,0	164,1	0,0	0,8	0,0	0,0	0,1	0,0	19,7	5,0	34,6	2,3	0,2
277	0,5	297,0	7,3	95,9	238,0	32,4	151,1	0,0	8,4	1,5	0,2	34,7	3,4	23,9	5,8	35,2	2,0	0,0
278	0,6	245,0	7,9	131,1		34,5	158,6	6,0	5,3	0,0	0,0	4,9	3,4	27,2	6,8	25,3	3,5	0,1
282	0,0	248,0	7,8	99,3		0,0	170,5	0,0	2,5	0,0	0,0	0,5	4,2	32,1	12,4	8,2	1,1	0,0
283	1,0	268,0	8,1	115,3	147,0	37,2	160,6	0,0	2,4	0,5	4,5	0,5	0,0	28,0	7,1	23,0	2,1	0,0
284	0,0	269,0	7,5	74,1		0,0	141,2	0,0	3,5	0,0	0,0	25,5	0,2	29,1	10,4	11,0	1,4	0,0
285	0,4	170,0	6,4	74,1	141,0	21,3	64,4	0,0	9,2	0,0	0,2	0,5	21,1	22,4	4,4	6,3	0,0	0,0
286	3,4	203,0	6,5	85,8	185,0	39,8	90,8	0,0	6,9	0,0	0,3	3,0	21,0	21,2	5,1	11,8	2,0	1,1
287	0,2	244,0	7,9	50,3	237,0	1,0	154,7		0,3	0,4		1,0	0,0	25,1	5,6	18,2	2,2	0,0
289	0,3	131,6	7,6	109,4	112,8	34,8	93,6	0,1	2,5	0,0	0,0	0,5	0,3	14,2	3,6	12,0	2,8	0,0
290	4,0	329,0	8,1	72,8		31,4	170,8	6,0	24,8	0,0	0,0	2,5	0,0	25,5	11,1	34,6	2,4	0,2
292	0,0	157,5	8,0	148,6		0,0	90,5	3,4	7,3	0,0	0,0	0,5	0,0	15,8	8,1	7,1	7,0	0,5
294	0,5	345,0	8,4	77,1	232,0	50,6	182,0	0,0	7,7	0,2	0,2	0,5	3,2	34,5	15,2	10,3	1,5	0,0
295	2,0	188,8	7,3	48,9	113,0	55,5	111,6	0,0	2,7	0,2	0,3	0,5	0,0	17,9	7,9	8,8	2,3	0,2
296	0,5	137,8	8,0	121,2	83,0	37,4	68,2	3,5	0,5	0,4	0,2	11,4	1,2	11,7	4,8	9,5	3,2	0,1
297	1,5	201,0	7,8	43,1	199,0	34,4	160,2	3,3	8,7	0,4	0,1	0,5	0,5	24,5	14,6	15,4	2,1	0,2
298	0,5	108,9	7,6	193,1	134,2	12,3	49,8	0,0	7,3	0,1	0,0	0,5	10,2	11,2	3,7	4,9	2,0	0,0
299	0,5	464,0	7,4	105,9	311,0	35,1	197,4	0,0	29,7	0,4	0,0	0,5	31,8	59,6	10,8	23,0	1,6	0,0
300	5,0	121,5	7,6	127,5	73,0	52,3	144,3	0,0	6,5	0,4	0,3	0,5	0,0	36,6	3,5	12,4	1,7	0,8
301	2,0	273,0	7,8	42,9	145,0	46,0	134,1	0,0	12,0	1,4	7,1	0,5	7,5	20,9	18,3	12,3	0,8	0,0
302	27,0	168,5	6,0	109,3	115,0	8,3	31,1	0,0	17,9	0,0	0,1	0,5	38,5	12,4	2,9	16,3	0,5	
303	2,7	336,0	6,7	92,4	252,0	46,5	90,3	0,0	40,0	0,1	4,5	0,5	39,8	26,8	10,3	28,2	2,0	0,8

Codigo	Turb.	Cond.	pH	Dur. cal.	STD	SiO2	HCO3	CO3	Cl	F	PO4	SO4	NO3	Ca	Mg	Na	K	Fe
304	1,0	197,6	6,7	82,2	174,0	49,0	99,9	0,0	7,1	0,0	2,0	0,5	17,2	20,3	10,1	6,5	1,6	0,1
306	3,0	208,0	6,5	66,4	123,0	34,3	103,2	0,0	5,9	1,3	0,0	0,5	2,9	12,6	12,4	13,9	2,6	1,3
307	0,5	219,0	6,8	123,6	131,0	34,5	55,9	0,0	5,7	0,1	0,3	0,5	42,4	18,7	4,8	11,3	5,0	0,3
308	3,0	266,0	8,3	39,8	173,0	42,4	143,7	0,0	10,6	0,4	0,0	0,5	17,5	32,9	10,1	14,3	4,6	0,3
309	0,5	215,0	8,3	106,7	180,0	33,2	141,7	6,0	0,3	1,2	0,1	0,5	0,0	13,7	1,4	38,8	0,2	0,0
310	0,6	398,0	7,8	285,6	360,0	33,7	219,0	0,0	1,5	0,0	61,3	0,5	0,0	33,2	5,8	70,0	2,6	8,9
311	5,0	542,0	7,2	125,0	331,0	35,4	302,0	0,0	27,0	0,1	3,9	11,3	22,1	81,9	19,7	12,8	1,9	0,0
312	0,4	320,0	8,7	156,1	230,0	29,6	164,1	12,0	7,4	0,0	0,5	12,5	5,3	33,0	10,4	21,0	4,6	1,9
314	0,5	317,0	7,6	95,5	232,0	40,2	190,9	0,0	10,1	0,0	0,2	0,5	3,8	37,9	15,0	8,7	1,9	0,0
315	2,0	230,0	8,1	137,7	133,0	32,0	109,6	7,7	2,8	0,6	0,0	26,2	0,1	25,3	7,9	16,8	5,1	0,0
316	1,0	330,0	7,5	109,0	220,0	29,2	181,8	0,0	12,5	0,0	2,5	0,5	7,1	29,3	15,7	13,2	5,0	0,2
317	0,5	280,0	7,8	247,6	168,0	12,7	168,7	0,0	5,6	1,4	0,0	25,5	0,0	30,4	8,1	34,4	1,5	0,0
318	3,0	153,0	7,5	172,7	299,0	20,2	291,2	0,0	10,8	0,3	0,1	0,5	0,0	42,0	34,7	15,5	1,3	0,2
319	0,5	351,0	7,5	96,3	134,2	47,9	198,2	0,1	18,3	0,3	0,6	16,9	0,3	46,1	14,0	7,8	1,2	0,1
320	2,0	264,0	6,5	120,3	192,0	46,4	94,2	0,0	7,3	4,9	11,8	0,5	19,9	18,5	12,2	11,5	3,3	2,3
322	3,0	248,0	6,9	79,3	166,0	38,4	156,3	0,0	2,1	0,1	0,2	0,5	4,8	32,2	9,7	5,5	1,2	0,8
323	0,5	181,2	7,6	122,7	115,0	48,2	120,8	0,0	1,2	0,0	0,5	0,5	0,0	16,4	9,3	9,9	3,1	0,0
325	0,5	300,0	7,9	80,5	137,0	38,2	127,5	0,0	3,1	0,7	0,0	65,2	0,0	23,2	15,8	25,0	0,9	0,0
326	0,5	216,0	8,2	19,3	129,0	29,8	101,2	0,0	5,4	0,5	0,1	19,6	10,1	21,9	6,3	13,2	0,9	0,1
327	0,5	237,0	8,6	44,2	178,0	19,8	151,7	8,4	2,5	0,7	0,0	0,5	0,0	5,6	1,3	47,4	1,7	0,1
328	0,5	238,0	8,0	99,7	136,0	21,3	134,1	0,0	2,3	2,0	0,0	20,3	0,0	12,1	3,4	41,5	1,2	0,0
329	6,0	266,0	8,1	52,5	200,0	32,3	184,9	0,0	1,1	0,5	0,2	0,5	0,0	25,2	8,9	18,8	2,1	1,7
330	2,0	167,6	7,5	49,7	99,0	46,7	117,2	0,0	3,2	0,7	0,0	0,5	0,0	15,9	3,1	15,4	2,4	0,1
332	1,0	324,0	8,1	61,1	225,0	16,4	231,9	0,0	0,8	2,7	0,0	16,3	0,0	5,4	0,8	83,0	2,4	0,0
333	1,0	142,0	8,0	91,1	125,0	45,5	82,1	0,0	1,1	0,1	0,0	0,5	1,0	13,5	6,6	6,7	1,2	0,0
334	3,1	226,0	8,0	143,1	180,0	38,2	152,0	0,0	0,4	0,6	0,1	0,5	0,0	24,7	7,2	16,1	1,7	0,3
335	0,5	313,0	8,1	183,7	223,0	23,1	172,7	0,0	12,6	0,5	4,2	0,5	15,5	37,7	11,9	12,8	1,9	0,0
336	0,5	374,0	7,7	184,3	198,0	34,6	171,5	0,0	23,0	0,1	0,1	0,5	21,7	27,0	28,2	9,0	1,4	0,0
337	2,0	390,0	7,6	60,0	216,0	33,7	169,1	0,0	22,5	0,1	0,0	0,5	33,2	23,3	30,7	8,2	1,5	0,0

Codigo	Turb.	Cond.	pH	Dur. cal.	STD	SiO2	HCO3	CO3	Cl	F	PO4	SO4	NO3	Ca	Mg	Na	K	Fe
338	0,5	233,0	6,8	81,2	242,0	29,6	138,7	0,0	3,0	1,0	0,0	11,3	0,0	19,6	2,7	34,0	1,8	0,0
340	0,9	272,0	7,6	136,5	189,0	39,1	152,7	0,0	6,9	0,2	11,6	0,5	0,0	24,4	4,9	29,5	2,2	0,5
342	0,5	380,0	8,1	14,8	241,0	37,2	180,9	0,0	8,3	1,1	0,1	13,1	0,0	38,0	10,1	24,2	0,9	0,0
344	1,3	242,0	8,7	96,7	155,0	14,0	126,0	7,2	0,6	0,7	0,1	0,5	0,1	5,2	0,5	49,6	1,5	0,2
345	0,5	233,0	7,8	62,0	140,0	16,9	149,5	2,0	5,3	0,2	0,2	0,5	0,0	28,3	6,3	10,9	2,5	0,0
346	28,0	131,5	7,1	58,8	74,0	12,5	61,6	0,0	0,7	2,7	10,4	0,5	0,0	12,8	7,3	7,5	2,1	0,1
347	0,5	179,6	8,2	113,3	150,0	32,9	116,4	0,0	1,4	0,5	0,5	0,5	0,2	18,9	2,8	20,8	1,8	0,7
348	0,5	337,0	7,8	56,5	202,0	31,6	164,1	3,2	12,0	0,7	0,1	25,0	5,1	32,0	8,1	33,2	2,0	0,0
349	0,5	250,0	8,2	88,6	116,0	23,5	167,1	4,6	0,3	1,2	0,0	0,5	0,0	15,0	4,6	45,2	1,7	0,0
351	2,0	187,8	7,5	65,9	112,0	71,4	111,0	0,0	1,7	0,1	0,2	0,5	0,5	20,5	9,1	5,1	1,7	0,1
352	1,0	170,3	7,9	121,5	76,0	30,8	100,7	0,0	1,8	0,3	0,1	16,3	0,4	20,4	3,6	13,5	2,6	0,2
354	0,5	259,0	8,0	258,7	192,0	36,2	131,4	0,0	6,5	0,3	0,0	0,5	17,7	32,7	9,7	8,7	1,4	0,2
356	1,0	581,0	7,8	258,7	348,0	45,7	285,6	11,5	28,5	0,4	0,0	16,3	0,0	59,4	26,8	23,1	3,1	0,1
358	0,5	456,0	7,7	162,6	273,0	42,2	209,6	10,1	21,8	0,4	0,0	13,9	0,0	44,2	12,7	34,0	3,4	0,1
361	0,5	252,0	8,6	162,6	168,0	23,6	136,0	1,3	0,7	1,7	0,0	0,5	0,0	5,5	0,5	51,2	1,6	0,0
362	1,0	328,0	8,5	15,9	179,0	38,3	208,9	0,0	5,2	0,4	0,1	0,5	0,1	10,4	19,9	35,3	3,8	0,0
369	1,0	290,0	8,3	107,6	174,0	14,5	127,2	0,0	1,6	3,3	0,0	43,1	0,0	4,8	0,0	62,7	0,7	0,0

ANEXO 2 – DADOS HIDRODINÂMICOS

Poço	Profun.	Vazão	N.D.	N. E.
1	137,0	4,0	64,0	3,0
2	50	2,5	37	5
3	137	4	64	3
4	101	4	33	5
5	305	0,2	100	23
6	151	2,64	55	5
7	128,5	13,2	45	5
8	111	9	52,3	8,1
9	161	7	72	5
10	253	2,9	129	9
11	127	1,5	70	45
12	150	5,8	60	8
13	216	0	x	x
14	230	0,9	68	9
15	122	2,25	73	17
16	163	14	31	3
17	73	24,8	33	6
18	211	0,3	83	32
19	151	2,25	68	5
20	200	1,9	78	39
21	87	2,5	58	35
22	210	0	x	x
23	300	3,39	78	37
24	200	1	100	47
25	105	2	87	6
26	85	4,8	72	45
27	122	8	65	52
28	228	0,4	148	56
29	278	6,34	78	47
30	123	9,06	60	12
31	105	0	x	x
32	75	0,6	66	24
33	144	2,2	75	35
34	220	0,8	73	12
35	70	3,5	59	2
36	92	3,2	81	35
37	107	1,67	75	36
38	170	8	60	32
39	122	6	50	38
40	100	7,2	65	15
41	170	3,2	45	24
42	130	0,10	78	35
43	90	5,5	55	20
44	118	1,5	61	15
45	250	0,10	70	35
46	75	3	32	16
47	161	1,9	82	4

Poço	Profun.	Vazão	N.D.	N. E.
48	56	6	50	1
49	120	6	61,5	1,3
50	180	3	54	4
51	40	8	25	1
52	50	3,1	30	1,5
53	244	1	50	5
54	100	0,9	57	36
55	205	0,2	70	40
56	101	4,8	65	15
57	180	3	123	4,5
58	121	8	85	4
59	202	0	x	x
60	168	1,3	x	40
61	161	3,42	76	5
62	79	32	28	2
63	142	4,5	90	1
64	140	11	40	10
65	142	22,5	79	14
66	113	14,4	18	6
67	180	8,8	55	9
68	118	21,18	79,8	16
69	120	2,98	73	12
70	171	12	68	24
71	97	20,3	51	4
72	157	2,3	88	42
73	185	0,8	85	40
74	87	12	45	12
75	66	30	30	2
76	301	0,2	90	65
77	115	12	40	10
78	156	9,23	78,65	27,65
79	190	0,6	80	28
80	110	4	55	5
81	160	1,68	x	37
82	250	3	96	5
83	120	0	x	x
84	150	6,1	69,1	1,8
85	127	18	20	13
86	135	0,2	70	4
87	103	7,5	54	13
88	100	0,6	71	12
89	100	12	31	5
90	66	5	25	1,5
91	88	3,8	33	1
92	202	5	63	2
93	152	6,4	78	15
94	120	9	18	10

Poço	Profun.	Vazão	N.D.	N. E.
95	76	7,2	10	4
96	100	6,9	45	6
97	55	8	24	5
98	130	10	70	40
99	185	5,5	93	21
100	150	7	84	10
101	180	0,6	x	55
102	157	5	60	9
103	111	8,8	31	18
104	53	2	27	9
105	50	4	32	6
106	100	7,5	70	0
107	136	6,5	59	5
108	101	8	38	8
109	157	0,9	70	5
110	67	44	x	2
111	100	15	18,5	4
112	281	12,6	83	7
113	130	14,4	39,04	12,87
114	103	4	x	4
115	59	6	42	2
116	153	5,8	75	50
117	150	4	62	2
118	105	12	38	1
119	82	3	54	5
120	200	3,2	x	95
121	160	2	84	30
122	55	2	44	5
123	56	3	40	5
124	70	0,8	65	2
125	50	3,5	30	12
126	58	0	x	x
127	115	1,8	54	22
128	160	1,98	90	32
129	60	0,6	41	9
130	191	7,76	65	15
131	249	4,4	82	3
132	200	6,4	64	3