



Universidade Federal do Pará
Centro de Geociências
Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**“CARACTERIZAÇÃO BIOGEOQUÍMICA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA
ZONA URBANA DE PORTO VELHO-RO”**

TESE APRESENTADA POR

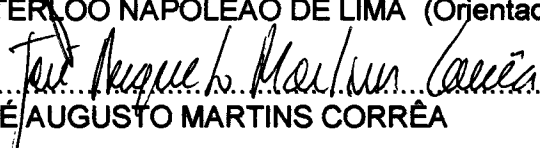
MARIA ALVES DA SILVA BAHIA

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em
Ciências na Área de **GEOQUÍMICA E PETROLOGIA.**

Data de Aprovação : 12 / 03 / 97

Comitê de Tese:


.....
WATERLOO NAPOLEÃO DE LIMA (Orientador)


.....
JOSÉ AUGUSTO MARTINS CORRÊA


.....
ANTONIO CARLOS FELIPE NICOLE S. TRANCREDI

BELÉM

A JESUS,
"Porque dele, e por ele, e para ele, são todas as coisas; glória, pois, a ele eternamente. Amém."

Romanos 11.36.

AGRADECIMENTOS

- **Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo subsídio financeiro para a execução desta pesquisa.**
- **À Universidade Federal do Pará (UFPA), em particular, ao Centro de Geociências, pela oportunidade de realizar esta dissertação.**
- **À Companhia de Águas e Esgotos de Rondônia (CAERD), pelo apoio dado nas atividades de campo e pela utilização de seu laboratório, quando da execução das análises.**
- **Ao professor Dr. Waterloo Napoleão de Lima, pela orientação e apoio dado a presente pesquisa.**
- **Ao Dr. José Augusto Martins Corrêa e ao Dr. Antônio Carlos F. N. S. Tancredi, pelas críticas e sugestões que aprimoraram este trabalho e pela participação no Comitê de Tese.**
- **À Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) / Residência de Porto Velho (REPO), pela permissão de acesso ao material bibliográfico, de consulta a relatórios específicos da CPRM, relatórios dos poços e cópias de mapas da área estudada.**
- **Aos geólogos da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - Residência de Porto Velho, pela orientação, apoio e colaboração que cada um deu, para a realização desta pesquisa.**
- **Ao geólogo Ruy Benedito Calliari Bahia, pelo apoio e acompanhamento em todas as fases deste, ensinando, criticando, sugerindo e auxiliando na obtenção de dados bibliográficos e nos trabalhos de campo.**

- Ao professor MSc. Eliomar Pereira da Silva, do Departamento de Geografia, da Universidade Federal de Rondônia - UNIR, pelas sugestões e orientações dadas durante o desenvolvimento deste.
- Aos funcionários do laboratório da Centrais Elétrica do Norte do Brasil (ELETRONORTE) - Usina III, engº químico João Aparecido Faustino Barroso e ao laboratorista Antônio Nóbrega de Mendonça, pela colaboração dada na fase de execução de análises.
- Às colegas de Pós-Graduação, Kátia Mireya Webster Roberts e Maria Tereza Primo dos Santos, pela preciosa colaboração durante os trabalhos de pesquisa bibliográfica e de laboratório.
- Às funcionárias da Companhia de Águas e Esgotos de Rondônia, engª química Eleide Sampaio Fróes e laboratorista Vera Cruz Parada Vasques, pela ajuda nos trabalhos de laboratório.
- Aos funcionários do CG/UFPA, que colaboraram das mais diversas maneiras, para a realização desta pesquisa, especialmente Gladys, Nilsa e ao Sr. Esteves.
- Sobretudo, a Deus.

SUMÁRIO

	pág.
DEDICATÓRIA.....	i
AGRADECIMENTOS.....	ii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	vii
RESUMO.....	01
ABSTRACT.....	03
1. INTRODUÇÃO.....	05
1.1. APRESENTAÇÃO.....	05
1.2. OBJETIVOS.....	06
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	08
2.1. LOCALIZAÇÃO.....	08
2.2. CLIMA.....	08
2.3. GEOLOGIA.....	11
2.4. VEGETAÇÃO.....	15
2.5. RELEVO.....	16
2.6. SOLOS.....	16
2.7. HIDROGRAFIA.....	17
2.8. OCUPAÇÃO DO ESPAÇO URBANO.....	18
3. METODOLOGIA.....	26
3.1. GENERALIDADES.....	26
3.2. PROCEDIMENTOS DE CAMPO.....	26
3.2.1. Águas.....	26
3.2.2. Sedimentos.....	33
3.3. PROCEDIMENTO DE LABORATÓRIO.....	33
3.3.1. Águas.....	33
3.3.2. Sedimentos.....	37
4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	38
4.1. GENERALIDADES.....	38

	pág.
4.2. PARÂMETROS FÍSICOS, FÍSICO-QUÍMICOS E QUÍMICOS	52
4.2.1. Temperatura	52
4.2.2. Cor	53
4.2.3. Turbidez	54
4.2.4. pH	55
4.2.5. Eh	57
4.2.6. Condutância específica	57
4.2.7. Oxigênio dissolvido	58
4.2.8. Oxigênio consumido	60
4.2.9. Alcalinidade	60
4.2.10. CO₂ livre	61
4.2.11. Cátions principais	62
4.2.11.1. Ca²⁺ e Mg²⁺	62
4.2.11.2. Na⁺ e K⁺	64
4.2.11.3. Ferro	64
4.2.12. Ânions principais	66
4.2.12.1. Bicarbonato	66
4.2.12.2. Sulfato	67
4.2.12.3. Cloreto	67
4.3. COMPONENTES DE CICLOS BIOGEOQUÍMICOS E DO INTEMPERIS	
MO	69
4.3.1. Amônia	69
4.3.2. Nitrito	71
4.3.3. Nitrato	72
4.3.4. Fosfato	72
4.3.5. Sílica	74
4.4. PARÂMETROS BACTERIOLÓGICOS	75
4.4.1. Coliformes totais e fecais	75
4.4.2. Bactérias heterotróficas	78

	pág.
4.5. SEDIMENTOS - ASPECTOS QUÍMICOS E MINERALÓGICOS	79
4.5.1. Mineralogia	79
4.5.2. Carbono orgânico	80
4.5.3. pH (em H₂O, proporção 1:1)	82
4.5.4. Integração dos resultados analíticos disponíveis	83
4.6. TRATAMENTO DE DADOS	85
4.6.1. Generalidades	85
4.6.2. Diagramas de dispersão (X-Y)	86
4.6.3. Diagramas triangulares (meq% de cátions e ânions)	91
4.6.4. Diagrama Eh - pH para o campo do nitrogênio	97
4.6.5. Tentativa de correlação entre alguns parâmetros geoambientais	98
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	102
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
ANEXOS	115
 ANEXO A1 Mapa de drenagem da área estudada , com localização dos pontos amostrados (Base cartográfica gerada a partir da Folha SC.20-V-B-V Porto Velho elaborada pela DSG, 1980).....	116
ANEXO A2 Mapa de localização dos pontos amostrados na área em estudo.....	117
ANEXO A3 Mapa de áreas inundáveis e umidade elevada (modificado de PEREIRA et al., 1996).....	118
ANEXO B1 Embasamento cristalino aflorante no leito do rio Madeira (Granito Tipo Serra da Providência/Maciço Santo Antônio), 2 Km a montante da área estudada.....	119
ANEXO B2 Sedimentos aluviais recentes depositados no leito do rio Madeira, em Porto Velho - RO.....	119
ANEXO C1 Cadastro de poços rasos e tubulares amostrados na zona urbana de Porto Velho - RO.....	120

	pág.
ANEXO C2 Perfis de poços tubulares perfurados na área estudada, que possibilitaram um melhor entendimento da geologia de Porto Velho	125
ANEXO C3 Difratoograma de minerais identificados nos sedimentos da área de estudo.....	129

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

	pág.
Figura 1	Mapa de localização da área estudada..... 09
Figura 2	Balanço hídrico para a localidade de Porto Velho (RO), segundo Thornthwaite apud LEPRUN et al. (1988)..... 10
Figura 3	Mapa geológico da zona urbana de Porto Velho (RO) e adjacências (modificado de ADAMY & ROMANINI, 1990)..... 12
Figura 4	Coluna estratigráfica da área estudada .(modificada de ADAMY & ROMANINI, 1990)..... 13
Figura 5	Exposição de crosta laterítica mostrando horizonte concrecionário, característico dos perfis lateríticos imaturos, que ocorrem na área..... 14
Figura 6	Mapa de drenagem da área estudada, com localização dos pontos amostrados (Base cartográfica gerada a partir da Folha SC.20-V-B-V Porto Velho elaborada pela DSG, 1980)..... 19
Figura 7	Igarapé dos Tanques, principal drenagem da área estudada, recebe contribuição de esgotos domésticos e industriais..... 20
Figura 8	Drenagem de esgotos domésticos a céu aberto, em Porto Velho - RO. Observe-se o tipo de solo favorável à rápida infiltração..... 20
Figura 9	Mosaico do Estado de Rondônia, elaborado a partir de imagens do satélite LANDSAT TM5, obtidas no ano de 1993. Observe-se a ocupação ao longo da BR-364 (Fonte: INPE)..... 22
Figura 10	Imagem da cidade de Porto Velho (RO), obtida pelo satélite LANDSAT TM5, bandas 3, 4, 5, composição R, G, B, no ano de 1995. Distingue-se a área mais antiga da cidade e mais densamente povoada, e área de expansão urbana (Fonte: INPE)..... 23

	pág.
Figura 11 Situação de saneamento básico na zona urbana de Porto Velho - RO.....	25
Figura 12 Mapa de localização dos pontos amostrados na área em estudo.....	29
Figura 13 Poço tubular com 42 m (NAC16). Apresenta boas condições higiênicas. Solo laterítico, o teor de ferro total é da ordem de 2,4 ppm. Zona urbana de Porto Velho - RO.....	30
Figura 14 Poço escavado tipo "amazonas" com 11 m (OLA37). Apresenta más condições higiênicas, não tem revestimento interno e nem bomba. O solo é areno-argiloso, fossa a 5 m. Zona urbana de Porto Velho - RO.....	30
Figura 15 Poço escavado tipo "amazonas" com 7 m (MOM33). Apesar de apresentar boas condições higiênicas, o solo é areno-argiloso e a fossa está localizada a 8 m de distância. Zona urbana de Porto Velho - RO.....	31
Figura 16 Poço escavado tipo "amazonas" com 12 m (CMR15). Apresenta péssimas condições higiênicas. Solo areno-argiloso. Zona urbana de Porto Velho - RO.....	32
Figura 17 Diagrama simplificado das alterações cíclicas do nitrogênio (modificado de GAUDY Jr. & GAUDY, 1988).....	71
Figura 18 Gráfico de dispersão da profundidade (m) versus condutância específica ($\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$) para águas subterrâneas da zona urbana de Porto Velho - RO.....	87
Figura 19 Perfil de poço perfurado na área estudada. Observe-se a profundidade de ocorrência do embasamento da região (modificado de SOUSA, 1986).....	88
Figura 20 Diagrama de dispersão Σ ânions (meq/l) versus condutância específica ($\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$) para águas subterrâneas da zona urbana de Porto Velho - RO.....	89

		pág.
Figura 21	Diagrama Eh - pH para águas subterrâneas de Porto Velho - RO.....	90
Figura 22	Diagrama triangular correlacionando $(Ca^{2+} + Mg^{2+}) - (HCO_3^-)$ - $(Na^+ + K^+)$ para águas subterrâneas de Porto Velho - RO.....	91
Figura 23	Diagrama triangular mostrando a correlação $(Ca^{2+} + Mg^{2+}) - Cl^- - (Na^+ + K^+)$ para águas subterrâneas da zona urbana de Porto Velho - RO.....	92
Figura 24	Diagrama triangular mostrando a correlação $(Ca^{2+} + Mg^{2+}) - SO_4^{2-} - (Na^+ + K^+)$ para águas subterrâneas da zona urbana de Porto Velho - RO.....	93
Figura 25	Diagrama triangular mostrando a correlação $(Ca^{2+} + Mg^{2+}) - NO_3^- - (Na^+ + K^+)$ para águas subterrâneas da zona urbana de Porto Velho - RO.....	94
Figura 26	Diagrama triangular mostrando a correlação $Cl^- - SO_4^{2-} - NO_2^-$ para águas subterrâneas da zona urbana de Porto Velho - RO.....	95
Figura 27	Diagrama triangular mostrando a correlação $HCO_3^- - Cl^- - SO_4^{2-}$ para águas subterrâneas da zona urbana de Porto Velho - RO.....	96
Figura 28	Diagrama Eh - pH mostrando os campos de ocorrência dos componentes do ciclo do nitrogênio para águas subterrâneas da zona urbana de Porto Velho - RO (modificado de SZIKSZAY et al., 1990).	97
Figuras 29a	Tentativa de correlação de parâmetros físico-químicos, químicos e geoambientais, de águas subterrâneas de Porto Velho com o perfil geológico característico da área, descrito por SOUSA (1986), a diferentes profundidades.....	100

Figuras 29b	Tentativa de correlação de parâmetros físico-químicos, químicos e geoambientais, de águas subterrâneas de Porto Velho com o perfil geológico característico da área, descrito por SOUSA (1986), a diferentes profundidades.....	pág. 101
-------------	---	-------------

TABELAS

Tabela 1	Média aritmética dos valores mais freqüentes de parâmetros físicos, físico-químicos e químicos de águas subterrâneas da zona urbana de Porto Velho (RO). Período abril/95 a outubro/95 e novembro/95 a fevereiro/96.....	pág. 40
Tabela 2	Máximos, mínimos e médias aritméticas de valores mais freqüentes de condutância específica de águas subterrâneas da zona urbana de Porto Velho - RO. Resultados obtidos nos períodos sazonais (abril a outubro/95) e (novembro/95 a fevereiro/96).....	44
Tabela 3	Valores máximos e mínimos de parâmetros físicos, físico-químicos e químicos de águas subterrâneas da zona urbana de Porto Velho (RO). Período abril/95 a outubro/95 e novembro/95 a fevereiro/96.....	47
Tabela 4	Valores máximos, mínimos e média geométrica de parâmetros bacteriológicos de águas subterrâneas da zona urbana de Porto Velho-RO. Períodos sazonais; (abril a outubro/95) e (novembro/95 a fevereiro/96). Resultados expressos em NMP/100 ml.....	51
Tabela 5	Resultados dos teores de C.O (%), M.O.(%) e pH em água, proporção 1:1 em sedimentos de perfis da zona urbana de Porto Velho (RO).....	84

RESUMO

A cidade de Porto Velho - RO tem uma população de 293.815 habitantes (IBGE, 1996). Destes, 56 % são abastecidos com água tratada, captada de mananciais de superfície; o restante, com água de poços tubulares e poços escavados do tipo “amazonas”.

Apenas 4,6 % da população conta com serviços de coleta de esgotos, de forma que as águas servidas são lançadas à céu aberto. Essas águas, quando infiltradas, misturam-se às de fossas, tornando-se potenciais fontes poluidoras dos poços, perfurados de forma rudimentar, sem levar em consideração as características geológicas e hidrogeológicas (litologia e estrutura dos terrenos, nível do lençol freático, etc.), não têm selo sanitário e o posicionamento de filtros é feito de forma inadequada.

Existe ainda, a deficiência dos serviços de coleta regular de lixo domiciliar, especialmente nos bairros periféricos, a maioria deles gerados por “invasões”. Esse lixo é jogado em áreas próximas às residências, o que possibilita a lavagem da massa de resíduos, com a conseqüente produção do chorume, que também poderá constituir uma fonte potencial de poluição das águas subterrâneas.

O presente trabalho avaliou as condições biogeoquímicas dessas águas e identificou características de qualidade da água subterrânea.

Nos períodos de abril/95 a outubro/95 e novembro/95 a fevereiro/96 (estiagem/95 e chuvoso/95), realizou-se análises de águas de 86 poços na área em estudo, sendo 43 poços tubulares e 43 poços escavados tipo “amazonas”, com profundidade média de 47 m e 12 m, respectivamente.

Efetuu-se também análises químicas, em amostras de calhas, dos sedimentos de perfis de poços perfurados durante o andamento desta pesquisa.

Os resultados analíticos mostraram-se eficientes na avaliação de impacto ambiental causado por atividades antropogênicas nas águas subterrâneas, resultantes da contaminação química e bacteriológica. A contaminação química manifestou-se pela presença de nitrato e de bactérias do grupo coliforme na água subterrânea da maioria dos poços amostrados. A contaminação bacteriológica resulta da utilização inadequada dos sistemas de despejos sanitários, dejetos de animais domésticos e de criação (aves e porcos, principalmente) às proximidades dos poços, perfuração e locação inadequadas desses poços, entre outras causas.

Os resultados dos parâmetros analisados permitiram ainda, a avaliação das principais características da qualidade de água dos aquíferos, e sua provável interrelação com a geologia local. Há águas subterrâneas pobres em eletrólitos, representativas de terrenos bastante lixiviados, há também águas subterrâneas mais ricas em eletrólitos. A composição físico-química dessas águas resulta do contato com as rochas percoladas e das condições climáticas da área, com clima úmido de elevada pluviosidade.

ABSTRACT

The city of Porto Velho - RO has a population of 293.815 inhabitants (IBGE, 1996). Of these, 56% received treated water, coming from surface head waters; the rest are supplied through tubular wells and dug "amazon" wells.

Only 4.6% of the population is connected to the sewer system, thus the water used spills into open-air water bodies. This water mixes with water from garbage dumps inadequately deposited and septic tanks, becoming potential sources of pollution to the wells.

This paper evaluates the biogeochemical conditions of this water polluted by anthropogenic activity and identifies the characteristic features of ground water quality.

During the periods of April to October 1995 and November 1995 to February 1996, water was analyzed in 86 wells in the region under study, 43 of these being tubular wells and 43 "amazon" wells, with an average depth of 47 and 12 meters, respectively.

The analytical results showed themselves to be efficient in evaluating environmental impacts caused by anthropogenic activity to aquifers most near the surface, due to chemical and bacteriological pollution. Chemical contamination was mainly from the use of chemical products used for washing clothes and dishes, e leaching from household and industrial waste. Bacteriological contamination occurred from inadequate use of waste disposal systems, wastes from small livestock kept at home (mainly pigs and poultry) near the wells, inadequate perforation and installation of these wells, among others.

The results from the parameters analyzed also permitted the evaluating of the major characteristic features of water quality of the aquifers and the interrelation with local geology. Thus, there are groundwaters poor in electrolytes, representing lands with a high degree of leaching, predominantly intemperized. On the other hand, some groundwaters showed

themselves to be rich in electrolytes, characterizing an environment which has been altered, but which is, however, less intemperized. The physical-chemical composition suggests contact of these waters with the percolated rocks and from the climatic conditions of the area, with moist climate and high rainfall.

1. INTRODUÇÃO

1.1. APRESENTAÇÃO

A cidade de Porto Velho tem 293.815 habitantes (IBGE, 1996). Destes, 56% são abastecidos com água tratada ou captada de fonte segura. O restante da população se abastece, a nível individual, com água de poços tubulares e poços escavados “amazonas”.

O sistema de abastecimento público de Porto Velho é composto de captação superficial (50%) e subterrânea (6%). A distribuição é feita de forma intermitente, devido ao subdimensionamento das Estações de Tratamento de Água (ETAs), ocorrido após os anos 80, quando houve um intenso movimento migratório e provocou uma implosão na cidade, face a promessa de que Rondônia seria o “EL DORADO”. Devido a intermitência e aos constantes racionamentos, é que parte da população da área abastecida com água tratada, tem preterido os serviços e recorre constantemente às águas subterrâneas, perfurando ou escavando poços sem qualquer subsídio técnico quanto às características geológicas e hidrogeológicas dos aquíferos.

Apenas 4,6% da população conta com serviços de coleta de esgotos, de forma que a maioria das águas servidas são lançadas a céu aberto. Os serviços de limpeza e coleta de lixo são deficientes e irregulares, contribuindo para que o lixo seja depositado em locais inadequados.

As águas desses aquíferos, na maioria das vezes estão contaminadas por águas de infiltração, provenientes de esgotos a céu aberto, líquidos que percolam o lixo (chorume) e efluentes de fossas.

Tornou-se imperioso um estudo preliminar, orientativo, que permitisse subsidiar os trabalhos mais aprofundados sobre a qualidade química e bacteriológica das águas da zona urbana de Porto Velho. Os resultados permitiram avançar em breves considerações

biogeoquímicas, envolvendo os aquíferos contaminados. Foi possível, deste modo, estabelecer correlações entre o ambiente geológico e a composição química das águas nos aquíferos não contaminados, bem como identificar a vulnerabilidade dos aquíferos contaminados.

Pretende-se, a partir desta pesquisa, que iniciem-se trabalhos na área, que venham a aprofundar os conhecimentos sobre a qualidade, vulnerabilidade e disponibilidade das águas subterrâneas de Porto Velho (RO).

1.2. OBJETIVOS

O objetivo principal desta pesquisa é o estudo da qualidade das águas subterrâneas da zona urbana de Porto Velho - RO.

Face a ausência de dados anteriores referentes à qualidade dessas águas, este trabalho contribuiu com as informações básicas e necessárias para a compreensão das interações biogeoquímicas que estão ocorrendo na área e um melhor conhecimento dos aspectos hidrogeológicos dos aquíferos.

Especificamente, buscou-se alcançar os seguintes objetivos:

- Estudo biogeoquímico preliminar das águas subterrâneas da zona urbana de Porto Velho - RO;
- Mapeamento da cidade de Porto Velho, com identificação de fontes de poluição e de locais que não são servidos com rede pública de abastecimento de água potável;
- Controle analítico, por amostragem representativa, da qualidade biogeoquímica de águas subterrâneas da área em estudo (análises físicas, físico-químicas, químicas e bacteriológicas);
- Associação químico-mineralógica dos sedimentos associados a tais águas;

- Sugestões e propostas alternativas para o saneamento básico, visando maior proteção e controle no consumo dessas águas.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1. LOCALIZAÇÃO

A cidade de Porto Velho está localizada na parte noroeste do estado de Rondônia. Situa-se entre os meridianos 63° 30' e 64° 00' de longitude WGr e os paralelos 8° 30' e 9° 00' de latitude sul (LEAL et al., 1978). (Figura 1).

Liga-se à Região Sul e ao Estado do Acre, através da rodovia BR-364 e também ao Estado do Amazonas, pela rodovia BR-319. O acesso fluvial é feito através do rio Madeira, com seus 1.506 Km totalmente navegáveis desde Porto Velho até a sua foz no rio Amazonas, na cidade de Itacoatiara (AM).

2.2. CLIMA

De acordo com a classificação de Köppen apud MELO et al. (1978), o tipo climático é Am, quente e úmido, com estações bem definidas: chuvosa (outubro a março) e seca (abril a setembro), temperatura média anual em torno de 26° C, índice pluviométrico com cerca de 2.100 mm ao ano e umidade relativa média anual próxima de 85%.

A Figura 2 mostra o balanço hídrico para a localidade de Porto Velho (RO), segundo Thornthwaite apud LEPRUN et al. (1989). Observa-se que de setembro a março a precipitação supera a evapotranspiração potencial e entre março a agosto, existe um período de deficiência hídrica, que se prolonga até o início da estação chuvosa, quando se inicia a recarga dos aquíferos, após atingida a capacidade de armazenamento do solo, admitida como 100 mm.

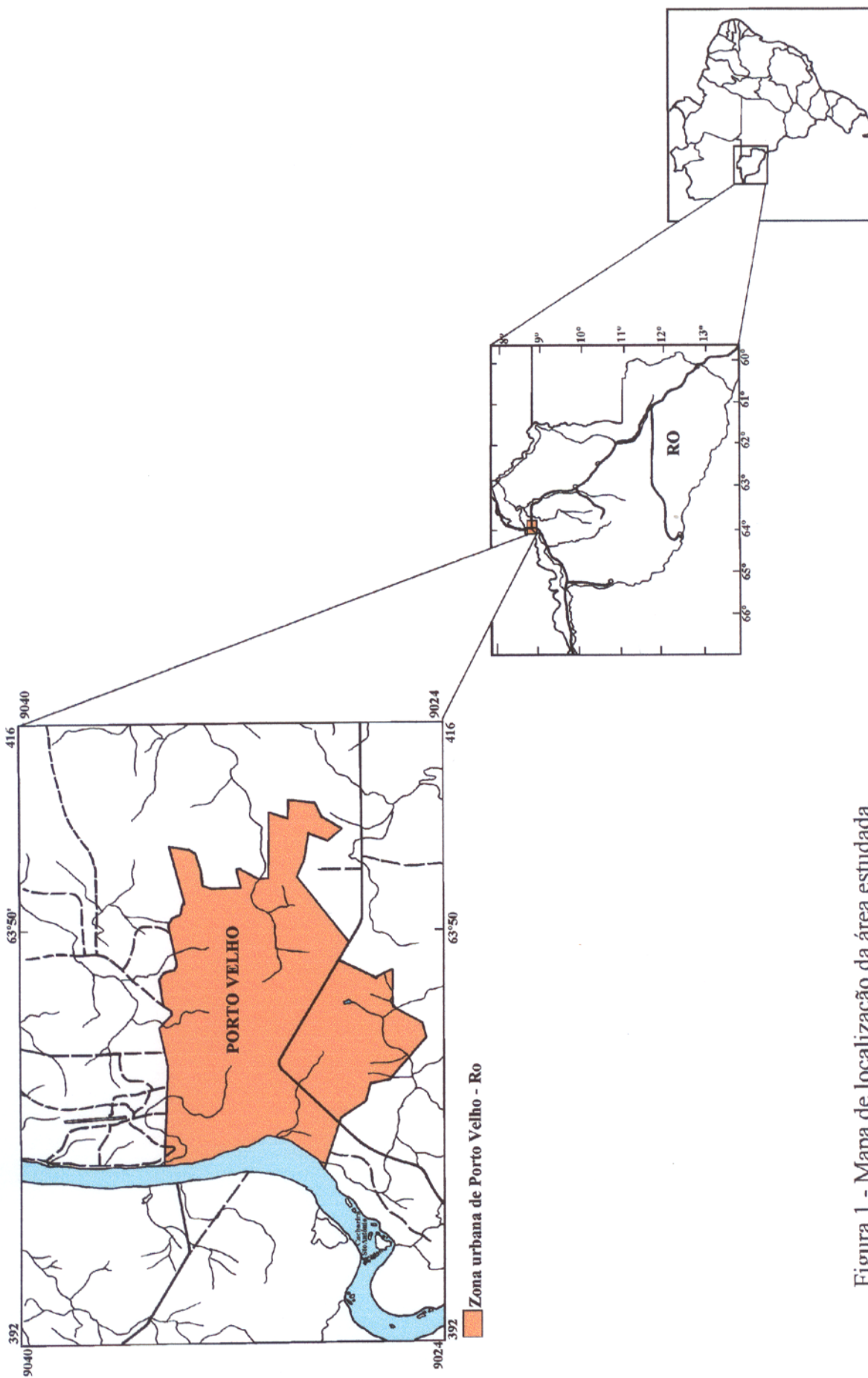


Figura 1 - Mapa de localização da área estudada.

Os dados meteorológicos são registrados pela estação de Porto Velho, operada pela Empresa Brasileira de Pesquisa agropecuária - EMBRAPA.

Nos meses de Junho a Julho ocorre o fenômeno da “friagem”, com baixas de temperaturas de até 12° C, conforme observou-se no ano de 1996. Este fenômeno é decorrente da massa de ar polar que vem do sul do País.

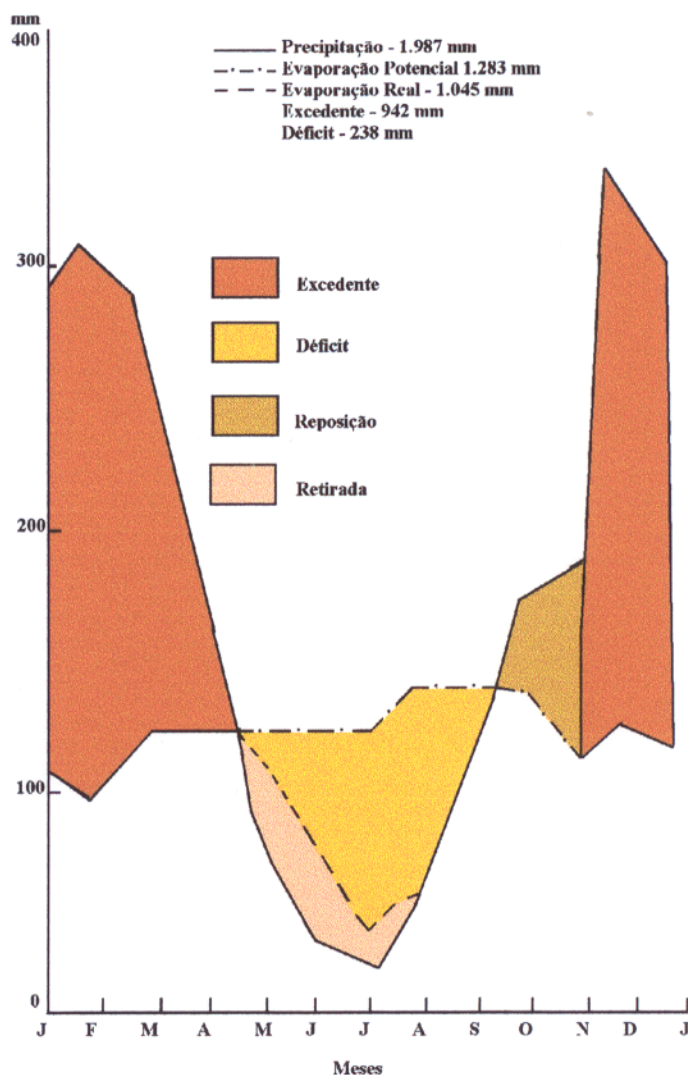


Figura 2 - Balanço hídrico para a localidade de Porto Velho - RO, segundo Thornthwaite apud LEPRUN et al. (1989).

2.3. GEOLOGIA

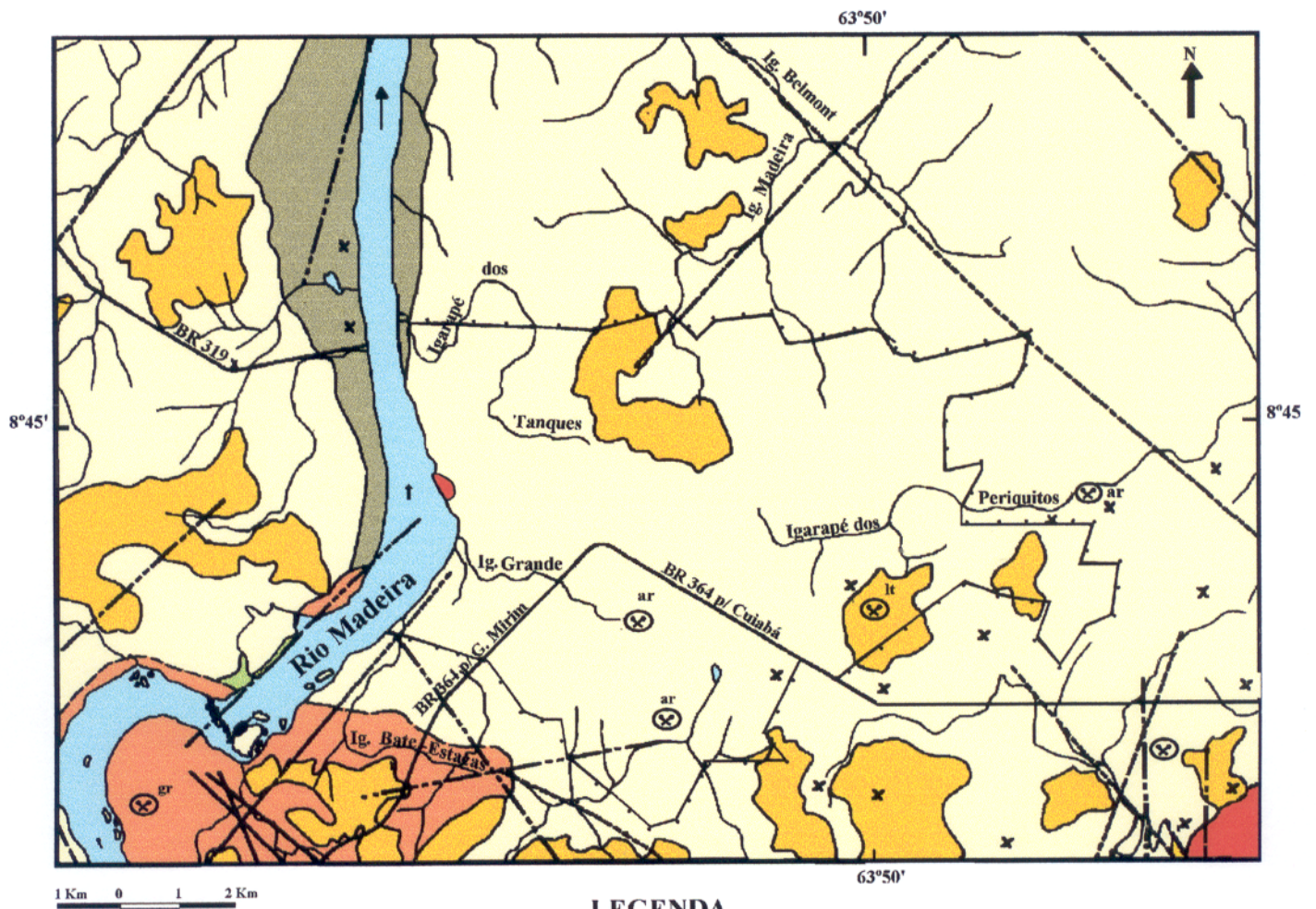
Na região de Porto Velho ocorrem quatro unidades geológicas: 1) Complexo Jamari, correspondendo ao embasamento cristalino da região; 2) Granitos Tipo Serra da Providência, constituídos de corpos graníticos intrusivos; 3) Formação Jaciparaná, representando uma seqüência sedimentar Pleistocênica colúvio-aluvionar, além de lateritos imaturos; 4) Sedimentos aluvionares recentes representados por uma seqüência fluviolacustre, fluviais e colúvio-aluviais. (ADAMY & ROMANINI, 1990). (Figura 3).

O Complexo Jamari é constituído por uma associação heterogênea de rochas metamórficas, que estão expostas por todo o Estado de Rondônia, consistindo no embasamento cristalino regional. Este complexo serve como substrato para a deposição das seqüências sedimentares, e de encaixante para as rochas intrusivas mais jovens. Litologicamente, é constituído de migmatitos, gnaisses, granitos de anatexia e anfibolitos (Figura 4)

Os Granitos Tipo Serra da Providência são maciços graníticos intrusivos sob a forma de batólitos e “stocks”, anorogênicos, com granulação média a grossa, de natureza alcalina, com ou sem textura rapakivi. (ADAMY & ROMANINI, op. cit.).

A Formação Jaciparaná é a unidade mais abrangente na área em estudo. É constituída de sedimentos colúvio-aluviais associados à depósitos de rios meadrantes e entrelaçados (“braided”). Estão geneticamente associados a processos erosivos e deposicionais, relacionados às variações climáticas no período Quaternário.

Os Sedimentos aluviais recentes ocorrem associados às calhas dos cursos d’água de maior porte, com características variáveis condicionadas à paleotopografia, à natureza do substrato



LEGENDA

- Sedimentos aluviais holocênicos arenosos
- Sedimentos aluviais holocênicos argilosos
- Sedimentos aluviais pleistocênicos relacionados à Formação Jaciparaná.

- Lateritos imaturos constituídos pelo horizonte concrecionário
- Complexo Jamari (embasamento cristalino)
- Granitos Serra da Providência relacionados ao Maciço Santo Antônio

CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

- Contato definido
- Contato provável
- Falha definida
- Falha encoberta

- Fratura
- X Afloramento
- X Jazida (ar = areia; lt = laterito; gr = granito)

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Estrada de tráfego permanente
- Limite da mancha urbana

- Rio e Igarapé
- Lago, lagoa

Figura 3 - Mapa geológico da zona urbana de Porto Velho e adjacências (modificado de ADAMY & ROMANINI, 1990).

COBERTURAS CENOZÓICAS SUPERIMPOSTAS					
COBERTURAS DETRÍTICAS			COBERTURAS RESIDUAIS		
ERA/PERÍODO	UNIDADE ESTRATIGRÁFICA	LITÓTIPOS	UNIDADE ESTRATIGRÁFICA	LITÓTIPOS	
F A N E R O Z Ó I C O	QUATERNÁRIO	Qh	Sedimentos aluviais recentes e detrito-lateríticos neogênicos	Sedimentos detriticos mal-selecionados, compostos por cascalhos, areia, silte e argila, inconsolidados. Domínio de areias de argilas ; coberturas detrito - lateríticas neogênicas ; arenitos ferruginizados, "seepages" manganésiteros e/ou ferríferos	
		ag			
	PLEISTOCENO	c	Pediplanos antigos, compostos por argilas, silte e areia heterogênea, incipientemente consolidados, individualizáveis ou não (facies colúvio-aluvial); terraços antigos de composição predominantemente arenosa, subordinadamente argilosa.	Lateritos imaturos	Qhc
		Qph			Qlm

ROCHAS PLUTÔNICAS E VULCÂNICAS ASSOCIADAS				
ERA / PERÍODO	EVENTO	UNIDADE / MACIÇO	LITÓTIPOS	QUIMISMO/ LINHAGEM *
P R O T E R O Z Ó I C O	P A R G U A Z E N S E	Granito tipo Serra da Providência / Santo Antônio.	Adamelitos, sienogranitos e alcalifeldspatogranitos	Alcalino / metaluminoso
MÉDIO		Complexo Jamari		

Figura 4 - Coluna estratigráfica da área estudada (modificada de ADAMY & ROMANINI, 1990)

cristalino, e à agração lateral e vertical dos rios. Constituem-se essencialmente de cascalho, areia, silte e argila inconsolidados e mal selecionados (ADAMY & ROMANINI, 1990).

Além das unidades acima citadas, ocorrem também na região de Porto Velho os lateritos (Figura 5), distribuídos de forma aleatória sobre todos os tipos de rocha aflorante na área, configurando as porções mais elevadas do relevo quase plano a moderadamente ondulado, os quais dependendo do seu aspecto evolutivo podem ser caracterizados como imaturos ou maduros. Frequentemente associados, de certa forma, encontram-se arenitos ferruginizados e/ou manganésíferos ao longo das drenagens (ADAMY & ROMANINI, op. cit.).



Figura 5 - Exposição de crosta laterítica mostrando horizonte concrecionário, característico dos perfis lateríticos imaturos, que ocorrem na área de trabalho.

De acordo com a Figura 3, o Complexo Jamari ocorre às margens do rio Madeira e na região sudeste de Porto Velho e o Granito Tipo Serra da Providência ocorre no leito do rio Madeira a montante da área estudada (Anexo B1). Predominam, na área de estudo, os sedimentos aluviais pleistocênicos, relacionados à Formação Jaciparaná (Anexo B2), com ocorrência pontual dos lateritos imaturos.

Na Figura 5, observa-se que os lateritos imaturos da região de Porto Velho (RO) são caracterizados pela presença dos horizontes pálido (constituídos de feldspatos e micas), mosqueado (o mais espesso, predomina a caulinita, seguida do quartzo) e concrecionário (composto pelos óxidos e hidróxidos de ferro: hematita e goethita).

2.4. VEGETAÇÃO

A vegetação predominante é a chamada Floresta Tropical Aberta, que apresenta uma vegetação arbórea heterogênea com um sub-bosque constituído por denso estrato de plântulas, na maioria das vezes proveniente de regeneração das árvores do estrato superior. Esta classe de formação apresenta os ecossistemas da palmeira, do cipó e do bambu. É caracterizada principalmente, por apresentar grandes árvores muito dispersas, que sobressaem no estrato arbóreo uniforme entre 25 e 35 m de altura, com freqüentes grupamentos de palmeiras e enormes quantidades de fanerófitas sarmentosas, que envolvem as árvores e recobrem principalmente o estrato inferior (SILVA et al., 1978).

2.5. RELEVO

A área estudada está inserida no Planalto Rebaixado da Amazônia (Occidental), que se caracteriza por apresentar extensas áreas aplainadas ainda conservadas (MELO et al., 1978). O relevo é classificado como plano a suavemente ondulado, exibe feições associadas às unidades litoestratigráficas relacionadas ao Proterozóico Médio (Granito Santo Antônio) e rochas relacionadas ao quaternário (Formação Solimões).

De maneira geral, a organização da rede de drenagem do planalto se faz em função do rio Madeira e a drenagem secundária apresenta padrão dentrítico.

2.6. SOLOS

Na área estudada ocorrem os solos podzólicos vermelho-amarelos; lateritos hidromórficos álicos; inclusões de solos hidromórficos, gleizados, podsolo hidromórfico lítólico e areias quartzosas (AMARAL FILHO et al., 1978).

Esses solos foram formados a partir de rochas proterozóicas (granitos, gnaisses e migmatitos), apresentando um relevo suavemente ondulado, e exibem variações, podendo ser encascalhados ou concrecionário.

Apresentam-se com textura areno-argilosa, argilo-arenosa e argilosa. Caracterizam-se, geralmente, pela acidez elevada e baixa fertilidade.

Os latossolos amarelo a vermelho-amarelo também são solos dominantes na região. São solos de baixa fertilidade natural, ácidos a fortemente ácidos e com textura média argilosa a muito argilosa, formando perfis friáveis a bastante porosos.

Segundo LEPRUN et al. (1989), os solos podzólicos vermelho-amarelos e os latossolos, desenvolvidos sobre granitos e rochas sedimentares mais ricas em quartzo, liberam os valores mais baixos de cátions e sílica.

2.7. HIDROGRAFIA

Destaca-se como principal rede de drenagem, a bacia do rio Madeira, um dos principais afluentes da margem direita do rio Amazonas, que tem origem na junção dos rios Beni e Mamoré, o primeiro pertence ao território boliviano e o segundo contorna o território brasileiro na fronteira com a Bolívia (MELO et al., 1978).

Segundo JUNK & FURCH (1980), o rio Madeira tem suas águas fortemente influenciadas pelas condições químicas Pré-Andinas. A água é relativamente rica em eletrólitos e turva durante a época chuvosa, dado o material inorgânico em suspensão, de origem andina.

STALLARD & EDMOND (1983) classificaram as águas da Bacia Amazônica quanto ao substrato geológico e ao regime de erosão, que seriam os controladores da composição química das águas superficiais. Assim, rios com soma de cátions (TZ^+) $<200 \mu\text{eq/l}$ apresentariam baixas concentrações de cátions básicos e materiais intemperizados, formados por condições de erosão, limitados pelo transporte. Rios com TZ^+ entre 200 e $450 \mu\text{eq/l}$ seriam típicos de concentração baixa a média de cátions básicos, com drenagem em terrenos silícicos e o controle geológico regido pela intemperização de silicatos. Rios com TZ^+ entre 450 e $3000 \mu\text{eq/l}$, apresentar-se-iam ricos em Ca^{2+} , sedimentos marinhos e material de leito de origem andina. Rios com $TZ^+ >3000 \mu\text{eq/l}$ pertenceriam aos rios cujo sistema de drenagem estariam relacionados aos evaporitos, ricos

em NaCl. O rio Madeira com $TZ^+ 694,7 \mu\text{eq/l}$, rico em cátions básicos devido ao posicionamento geográfico de suas nascentes nos Andes bolivianos, apresenta-se similar ao rio Amazonas.

Na área em estudo, a drenagem é composta principalmente pelos igarapés Grande, dos Tanques e Bate-Estacas, afluentes do rio Madeira pela margem direita (Figura 6 e Anexo A1). O igarapé dos Tanques, localizado em área mais densamente povoada, recebe maior contribuição de despejos urbanos (Figuras 7 e 8). O igarapé Bate-Estacas, de maior extensão e volume, tem a vantagem de estar localizado a montante da área urbana, entretanto, recebe eventualmente descargas de indústrias localizadas às suas margens (Coca-Cola e curtume). Este igarapé, é manancial de captação para abastecimento público das Centrais Elétricas do Norte - ELETRONORTE; do 5º Batalhão de Engenharia e Construção (5º BEC); e da Companhia de Águas e Esgotos de Rondônia - CAERD, que no período de chuva o utiliza, devido as suas águas apresentarem menor quantidade de sólidos em suspensão que as do rio Madeira, o que resulta em considerável economia do produto químico sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$).

Os igarapés da área de estudo possuem suas águas ácidas com pH entre 5,0 - 5,5. Este caráter ácido está possivelmente associado à geologia local ou aos solos da região, que são predominantemente ácidos (LEPRUN et al., 1989).

2.8. OCUPAÇÃO DO ESPAÇO URBANO

A cidade de Porto Velho se formou a partir da construção da estrada de ferro ligando o rios Madeira ao Mamoré no ano de 1910.

A exemplo de todas as cidades do Estado de Rondônia, Porto Velho tem um quadro sócio-econômico que reflete a política de exploração da própria região.

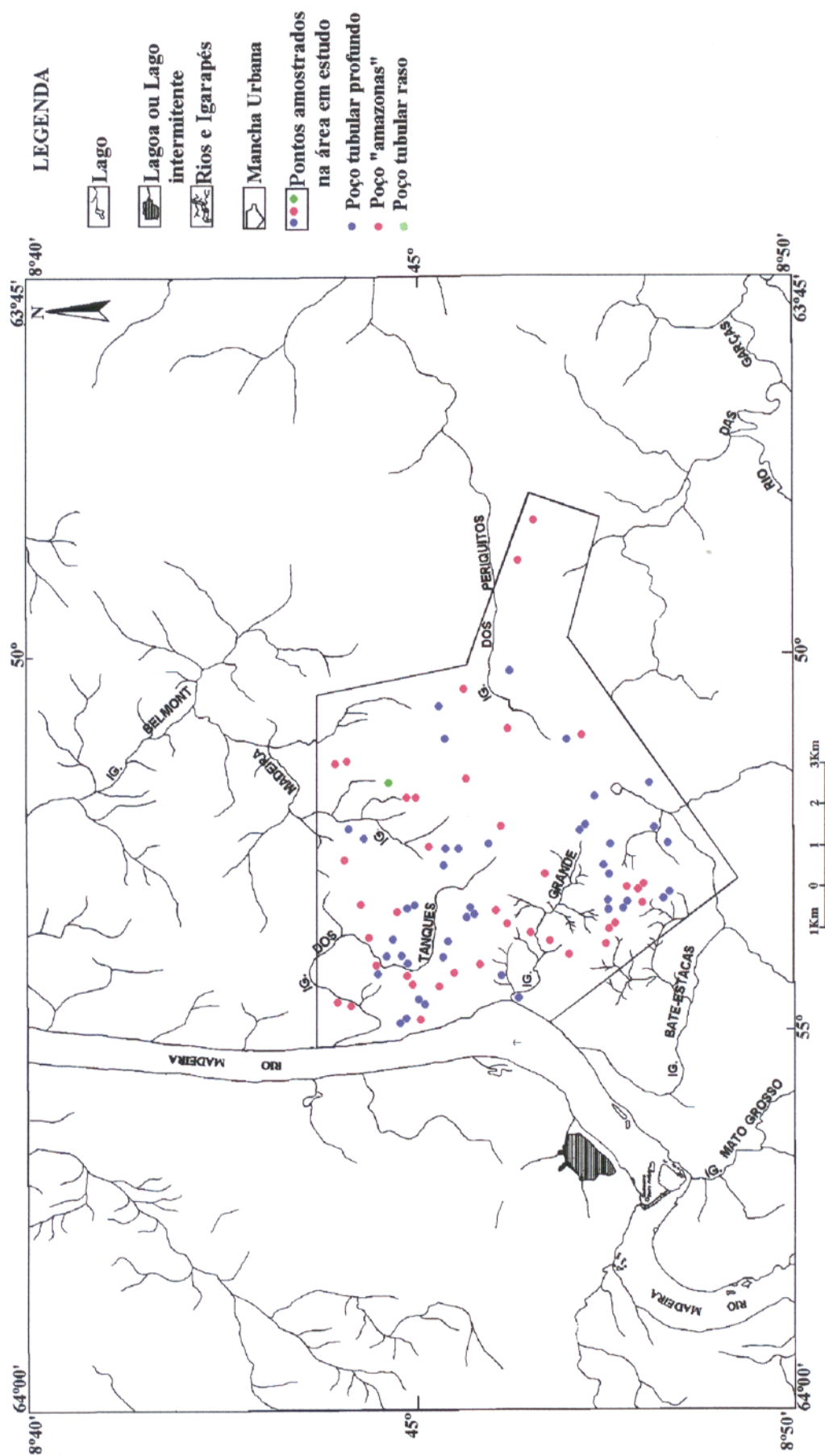


Figura 6 - Mapa de drenagem da área estudada, com localização dos pontos amostrados (Base cartográfica gerada a partir da Folha SC.20-V-B-V Porto Velho elaborada pela DSG, 1980).



Figura 7 - Igarapé dos Tanques, principal drenagem da área estudada, recebe contribuição de esgotos domésticos e industriais.



Figura 8 - Drenagem de esgotos domésticos a céu aberto, em Porto Velho - RO. Observe-se o tipo de solo, favorável à rápida infiltração

Até 1960, a economia da região era fundamentada no extrativismo da borracha e da castanha. A exploração da floresta por meio da caça, pesca e da coleta de produtos vegetais era feita para fins de subsistência, sem afetar o ambiente florestal.

Até a década de 80 a principal fonte de alimento era o peixe, a partir de então o município enfrentou uma queda na produção de pescado, em decorrência da contaminação pelo mercúrio utilizado nas áreas de garimpagem do ouro.

A agricultura no município de Porto Velho é insuficiente para abastecer sua população, necessitando de importação de gêneros alimentícios de primeira necessidade, como hortifrutigranjeiros, implicando em aumento considerável dos preços desses produtos.

A descoberta de ouro no leito do rio Madeira, fez da garimpagem uma das principais atividades econômicas da cidade de Porto Velho nas décadas de 70-80, sendo um dos fatores de migração para o Estado de Rondônia. A cidade era o centro comercial da atividade.

Em 1984, a pavimentação da BR-364 que liga Cuiabá a Porto Velho, desencadeou um intenso fluxo migratório proveniente do centro-sul do País, iniciado com o programa de reforma agrária desenvolvido pelo Instituto de Colonização e Reforma Agrária - INCRA, que oferecia terras boas e agricultáveis. Entretanto, o número de migrantes superou a expectativa do INCRA, e a maioria das famílias não assentadas estabeleceu-se ao longo da BR-364, conforme pode ser visto na imagem de satélite mostrando a ocupação do solo no Estado de Rondônia (Figura 9). A maior concentração dessas famílias deu-se nos municípios de Porto Velho e Guajará Mirim.

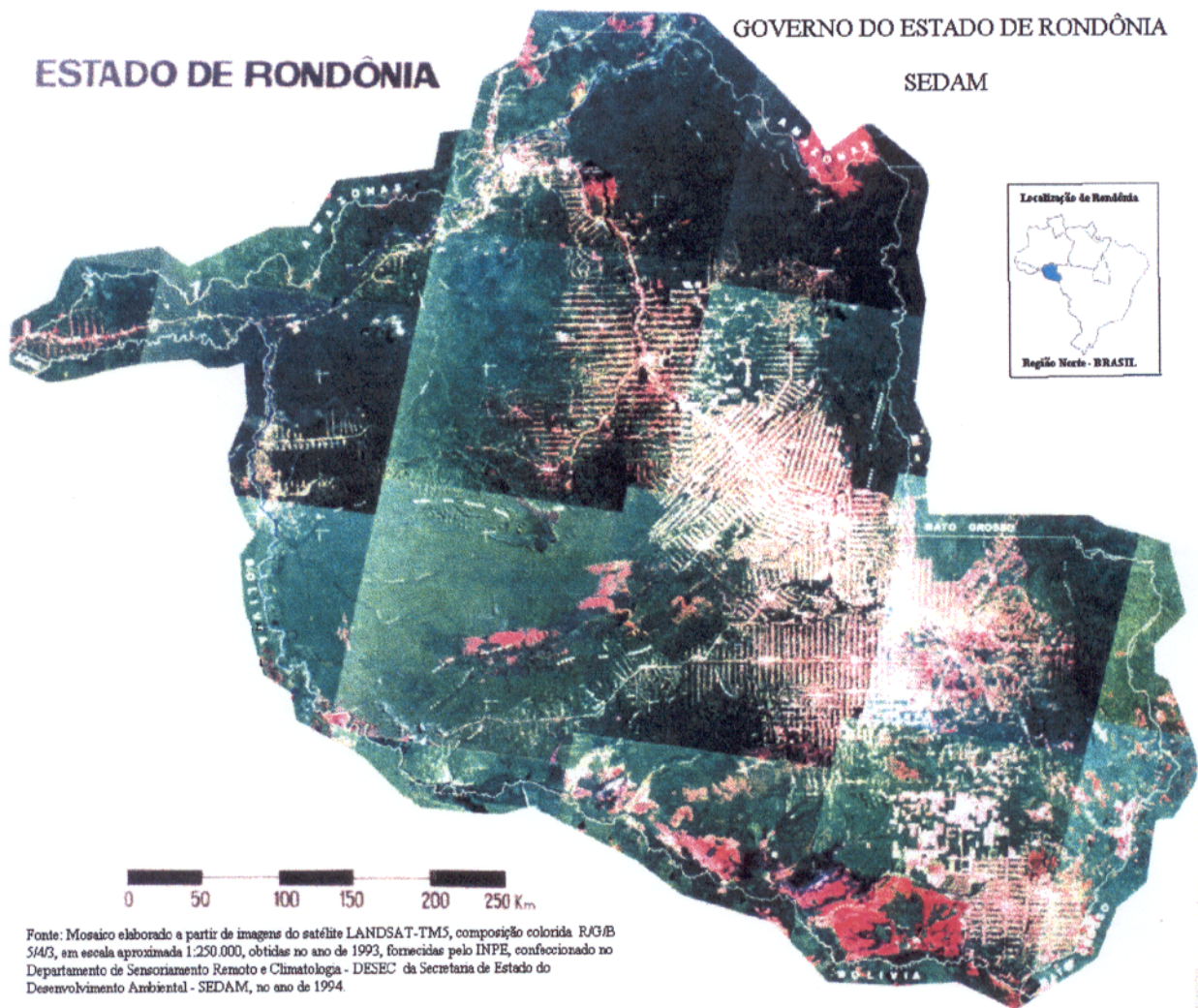


Figura 9 - Mosaico do Estado de Rondônia, elaborado a partir de imagens do satélite LANDSAT TM5, obtidas no ano de 1993. Observe-se a ocupação ao longo da BR-364 (Fonte: INPE).

Esse crescimento demográfico intenso e desordenado, ocorrido nos anos 70-80, deu origem a um processo de urbanização acelerada, com sérios problemas de infra-estrutura de serviços públicos, que não estavam dimensionados para atender demandas tão grandes em tão pouco tempo.

A imagem da cidade de Porto Velho obtida no ano de 1995, do satélite LANDSAT TM5 (Figura 10), mostra o crescimento urbano desordenado com a maioria dos bairros gerados por “invasões”.

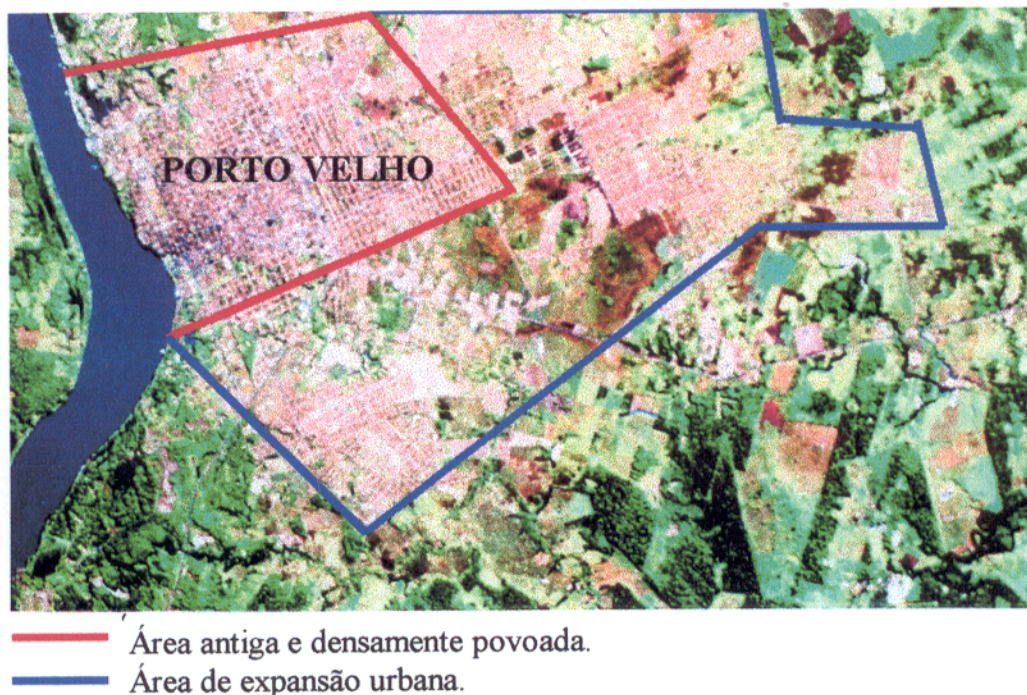


Figura 10 - Imagem da cidade de Porto Velho - RO, obtida pelo satélite LANDSAT TM5, bandas 3, 4, 5, composição R, G, B, no ano de 1995. Distingue-se a área mais antiga da cidade e mais densamente povoada, e área de expansão urbana (Fonte: INPE).

O primeiro sistema de abastecimento de água de Porto Velho foi construído em 1910, pelos ingleses, tendo como manancial de captação o igarapé Triângulo, na Baixa da União, hoje conhecido como o Igarapé das Lavadeiras.

Em 1953, foi criada a primeira Estação de Tratamento de Água de Porto Velho (ETA), com capacidade de 57 L/s, construída pela Fundação SESP, responsável pelos abastecimentos de água existentes no então Território de Rondônia. Em 1969 foi criada a CAERD, que assumiu toda a estrutura de saneamento básico montada pelo Serviço de Água Luz e Força do Território - SALFT, embora não pudesse assumir efetivamente as delegações, uma vez que não possuía suporte técnico e financeiro para acompanhar o crescimento dos núcleos urbanos. Portanto, as ações adotadas eram dirigidas para a resolução de segmentos dos problemas apresentados, tanto em função da escassa disponibilidade financeira, quanto ao distanciamento do órgão regional (CAERD) de tomada de decisões para a solução de metas, existindo um típico caso de planejamento “de fora para dentro”, resultando no não atendimento da demanda das populações (CORRÊA & CASARA, 1994).

Porto Velho conta com 4,6% de coleta de esgotos. As estimativas apontam que apenas 34% da população utiliza fossas sépticas; 42% dos domicílios possuem fossas rudimentares; 14% não possuem nenhum tipo de instalação sanitária e aproximadamente 5% estão indevidamente conectados à rede de drenagem (IBGE, 1991).

O subdimensionamento dos sistemas de abastecimento e a falta de recursos oriundos do Governo Federal para a ampliação desses sistemas, deixa boa parte da população de Porto Velho sem os benefícios da água tratada e sem esgotos sanitários, conforme é demonstrado na Figura 11, que trata da situação do saneamento básico na área de estudo.

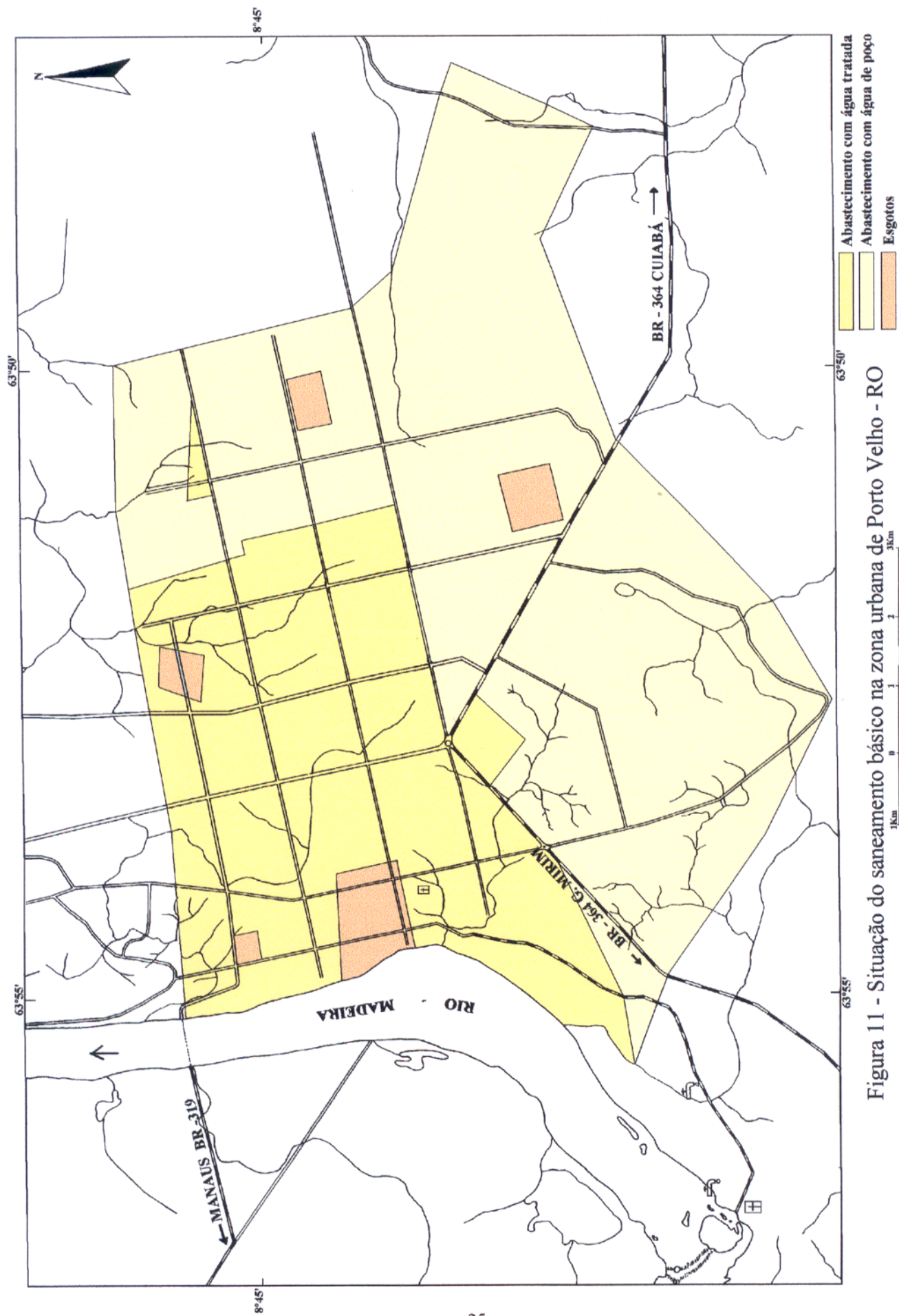


Figura 11 - Situação do saneamento básico na zona urbana de Porto Velho - RO

3. METODOLOGIA

3.1. GENERALIDADES

O presente trabalho foi desenvolvido em três fases: a) trabalhos de escritório, que constou de levantamento bibliográfico de todos os dados existentes sobre águas subterrâneas junto à CAERD e Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM/Residência de Porto Velho, empresas prestadoras de serviços de perfuração de poços, Secretaria de Estado de Desenvolvimento Ambiental - SEDAM (fotointerpretação de imagens de satélites da área estudada e do Estado de Rondônia), confecção de mapas e perfis de poços utilizando-se mapas, projetos específicos da CPRM e “software”; b) trabalhos de campo e laboratório, cadastramento, amostragem e execução de análises bacteriológicas e físico-químicas de águas dos poços cadastrados (tubulares e escavados), acompanhamento de perfuração de poços tubulares para coleta de sedimentos, determinação da mineralogia, pH, teores de carbono orgânico e teores de matéria orgânica; c) análise e interpretação dos dados obtidos nas fases anteriores.

3.2. PROCEDIMENTO DE CAMPO

3.2.1 Águas

Cadastrou-se 86 poços, sendo 43 escavados (“amazonas”) e 43 tubulares, de profundidade média 12 m e 47 m, respectivamente (Anexo C1). Na identificação dos pontos de

coleta de amostras de água utilizou-se as três primeiras letras do nome do bairro, seguidas do número de ordem do poço, e para aqueles bairros que tinham mais de um nome, a primeira letra de cada nome. Por ex. CMR15 (Conjunto Marechal Rondon, poço 15).

Conforme pode-se observar no Mapa de Localização de Pontos (Figura 12 e Anexo A2), concentrou-se um maior número de pontos na área mais densamente povoada. Alguns poços foram cadastrados muito próximos (alguns a até 20 m), devido a necessidades de se fazer testemunhos.

Foram selecionados os poços NAC16, OLA37, MOM33, CMR15, para evidenciar os aspectos sanitários de higiene e proteção, e que são considerados representativos dos poços amostrados (Figuras 13, 14, 15 e 16).

As coletas foram realizadas nos períodos de abril/95 a outubro/95 e novembro/95 a fevereiro/96, que correspondem aos períodos de estiagem e chuvoso.

A primeira campanha de amostragem teve um caráter diagnóstico, e após a mesma, definiu-se o número e a distribuição dos pontos de coleta. Da segunda etapa optou-se pelos poços administrados pela CAERD, e por poços que apresentaram teores excessivamente altos de coliformes totais ($>1,6 \times 10^3$ NMP/100 ml). Selecionou-se os parâmetros que pudessem melhor caracterizar, do ponto de vista biogeoquímico, as águas subterrâneas da área em estudo: temperatura, cor, turbidez, pH, Eh, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, oxigênio consumido, alcalinidade, CO₂ livre, dureza total, dureza em cálcio, cálcio, magnésio, sódio, potássio, bicarbonato, cloreto, sulfato, ferro total, ferro ferroso, silicato, fosfato total, amônia, nitrito, nitrato e sólidos totais dissolvidos.

Nos sedimentos procedeu-se análises da mineralogia, pH, teor de carbono orgânico e de matéria orgânica.

Face as limitações do laboratório local, não foi possível determinar demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO).

A coleta e preservação de amostras de águas foi feita segundo os critérios de amostragem adotados pela CETESB (1988). Dividiu-se as amostras em alíquotas e preservou-se segundo o parâmetro a determinar: 300 ml, coletados em frasco de polietileno, esterilizado, foram acondicionados em gelo e destinados à análise bacteriológica, 1000 ml, coletados em frasco de polietileno, para determinação de oxigênio dissolvido (OD), 300 ml em frasco de polietileno, contendo 1 ml de HCl conc./100 ml de amostra, para análise de ferro ferroso (Fe^{2+}) e 3000 ml para as demais determinações.

No local da coleta procedeu-se leitura da temperatura da água e do ar.

Nas amostras para OD, observou-se as recomendações de não deixar haver troca de gases entre a água e o ar (formação de bolhas).

Para as amostras de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , utilizou-se HNO_3 1:1 até $\text{pH} < 2$, e para as demais determinações não foram adicionados preservantes, uma vez que as mesmas foram realizadas imediatamente após a chegada ao laboratório.

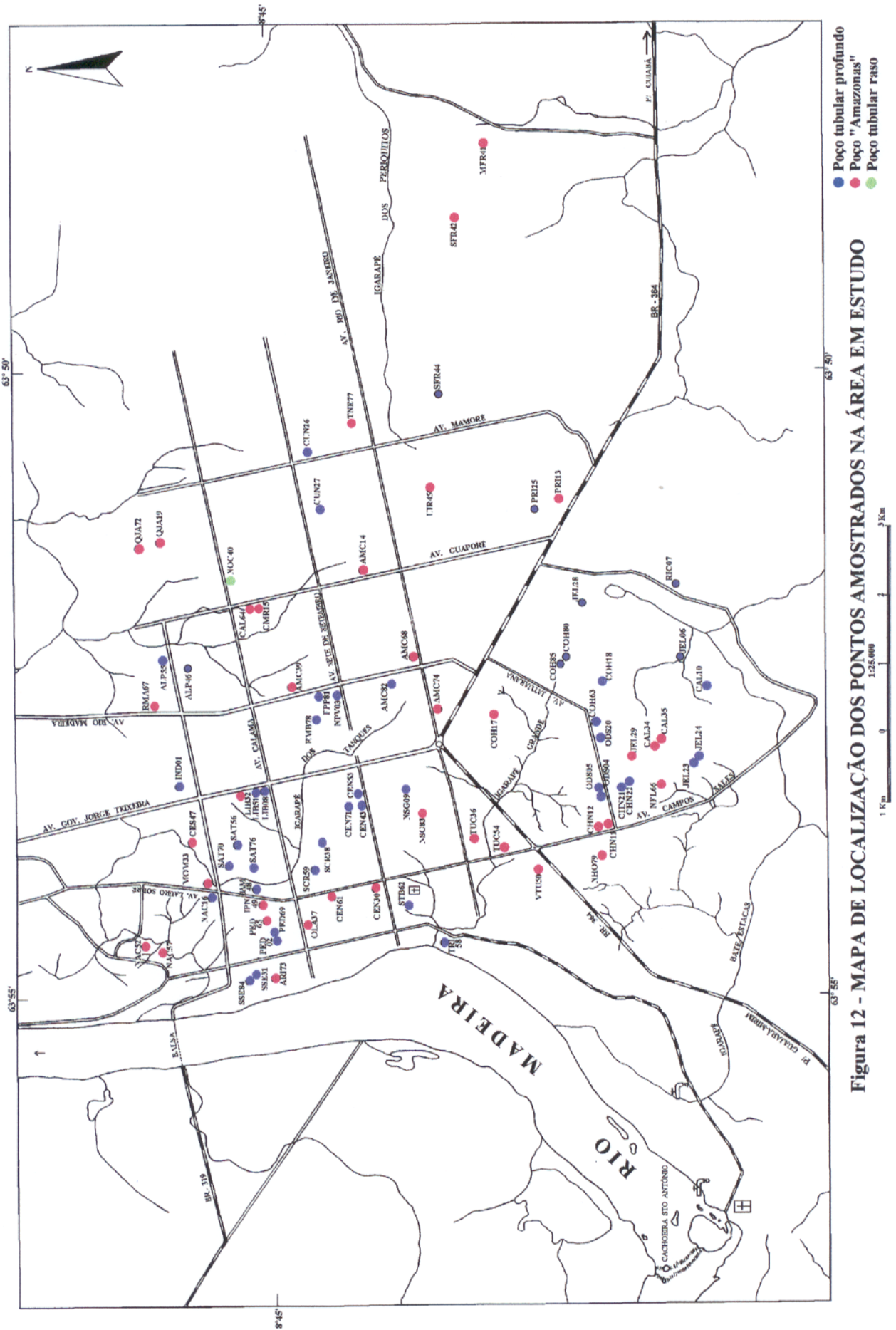




Figura 13 - Poço tubular com 42 m (NAC16). Apresenta boas condições higiênicas. Solo laterítico, o teor de ferro total é da ordem de 2,4 ppm. Zona urbana de Porto Velho - RO.



Figura 14 - Poço escavado tipo “amazonas” com 11 m (OLA37). Apresenta más condições higiênicas, não tem revestimento interno e nem bomba. O solo é areno-argiloso, fossa a 5 m. Zona urbana de Porto Velho - RO.



Figura 15 - Poço escavado tipo “amazonas” com 7 m (MOM33). Apesar de apresentar boas condições higiênicas, o solo é areno-argiloso e a fossa está localizada a 8m de distância. Zona Urbana de Porto Velho - RO.



Figura 16 - Poço escavado tipo “amazonas” com 12 m (CMR15). Apresenta péssimas condições higiênicas. Solo areno-argiloso. Zona urbana de Porto Velho- RO.

3.2.2 Sedimentos

Selecionou-se amostras de perfis de quatro poços perfurados pela empresa GEOESTE, a serviço da Companhia de Águas e Esgotos de Rondônia - CAERD.

Para a coleta dos sedimentos utilizou-se uma sonda rotativa, com amostragem em calhas a cada 2 m de profundidade e, posteriormente, secou-se ao ar.

Os perfis amostrados mostraram semelhanças com o perfil do poço COHAB (PBS11), descrito no anexo C2 por SOUSA & SCANDOLARA (1994), constituído essencialmente de sedimentos argilosos, com algumas intercalações de areia fina a média e com matriz argilosa. Nesses perfis de profundidades de até 60 m, foi atingido o embasamento.

3.3. PROCEDIMENTO DE LABORATÓRIO

3.3.1. Águas

Analisou-se as amostras imediatamente após a chegada no laboratório, obedeceu-se o prazo estabelecido para cada parâmetro. As determinações de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ foram feitas no Laboratório de Hidroquímica, do Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará - CG/UFPA. As demais determinações foram realizadas no laboratório da Companhia de Águas de Rondônia - CAERD e no laboratório das Centrais Elétricas do Norte - ELETRONORTE.

Na determinação dos parâmetros, utilizou-se os seguintes métodos e equipamentos:

Temperatura - observação visual, leitura direta em termômetro de Hg.

Cor - colorimétrico, medidor de cor, Aqua-Nessler POLILAB, modelo AN 1000, com disco colorimétrico, escala HANSEN/APHA de 0 a 100 unidades (ppm de Pt), modelo DCP. L.5.117 (CETESB, 1978).

Turbidez - turbidimétrico, turbidímetro de bancada, marca POLILAB, AP 1000. L.5.156 (CETESB, 1978).

pH, Eh - potenciométrico, com pH - metro de bancada, digital, eletrodo combinado de vidro e calomelano, marca ANALION, modelo PM 600.

Condutância específica - condutivimétrico, correção de temperatura para 25°C, turbidímetro de bancada, digital, marca ANALION, modelo C701.

Oxigênio dissolvido - químico (método de Winkler, modificado pela azida sódica), titulação com I_2 , $S_2O_3^{2-}$. NT.L5.169 (CETESB, 1978).

Oxigênio consumido - químico, titulação com $KMnO_4$.

Alcalinidade - químico, titulação com H_2SO_4 , utilizando-se a fenolftaleína e metilorange como indicadores.

CO_2 livre - químico e empírico, titulação com Na_2CO_3 , utilizando-se a fenolftaleína como indicador e quando não foi possível fazer a análise imediatamente calculou-se utilizando-se o ábaco do pH versus Alcalinidade Total, Water Works & Sewage apud AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (1975).

Dureza Total - químico, titulação com ácido etilenodiaminotetracético - EDTA 0,1 M; utilizou-se o negro de eriocromo como indicador.

Dureza em Ca - químico, titulação com EDTA 0,1 M, utilizando-se murexida como indicador.

Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ - espectrofotometria de absorção atômica (EAA), espectrofotômetro marca ZEISS, modelo FMD 4; utilizou-se lâmpadas de cátodo oco dos elementos a serem determinados. As amostras foram nebulizadas em chama ar/acetileno; os tampões espectrais usados e os comprimentos de onda foram os seguintes: La (dosagem de Ca^{2+} e Mg^{2+}); Cs (dosagem de K^+ e Na^+); $\lambda = 427,2 \text{ nm}$ para o Ca^{2+} ; $\lambda = 202,5 \text{ nm}$ para o Mg^{2+} ; $\lambda = 589,6 \text{ nm}$ para o Na^+ e $\lambda = 776,5 \text{ nm}$ para o K^+ .

Bicarbonato - empírico, relação numérica com a alcalinidade (CUSTODIO & LLAMAS, 1976), utilizando a fórmula:

$$\text{HCO}_3^- = \text{alcalinidade (ppm CaCO}_3) \times 1,22$$

Cloreto - químico, titulação com nitrato mercúrico 0,0141 N, H_2SO_4 e indicador mixto de difenilcarbazona e azul de bromofenol (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1975).

Sulfato - turbidimétrico, turvação através do cloreto de bário, leitura em $\lambda = 420 \text{ nm}$, no espectrofotômetro SC-90 PROCYON. NT.L5.153 (CETESB, 1978).

Ferro Total ($\text{Fe}^{3+} + \text{Fe}^{2+}$) - colorimetria, formação do complexo alaranjado-avermelhado de 1.10 - fenantrolina, com leitura feita a $\lambda = 510 \text{ nm}$ em espectrofotômetro SC-90 PROCYON. NT. L5. 126 (CETESB, 1978).

Ferro ferroso (Fe^{2+}) - colorimetria, formação do complexo alaranjado - avermelhado de 1.10 - fenantrolina, com leitura feita a $\lambda = 510 \text{ nm}$ em espectrofotômetro SC-90 PROCYON (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1975).

Silicato - colorimetria, com formação do complexo azul de Mo, leitura em $\lambda = 620 \text{ nm}$ no espectrofotômetro SC-90 PROCYON.

Fosfato total - colorimetria, formação do complexo azul de Mo, leitura em $\lambda = 650$ nm, no espectrofotômetro SC-90 PROCYON.

Amônia - colorimetria, formação do azul do fenato, leitura a $\lambda = 650$ nm, espectrofotômetro SC-90 PROCYON.

Nitrito - colorimetria, formação do complexo violeta - avermelhado com sulfanilamina e N - (1 - naftil) - etilenodiamino, leitura a $\lambda = 543$ nm em espectrofotômetro SC-90 PROCYON. NT.L5.137 (CETESB, 1978).

Nitrato - colorimetria, formação do complexo amarelo do ácido fenoldissulfônico, leitura a 480 nm em espectrofotômetro SC-90 PROCYON.

Sólidos totais dissolvidos - evaporação a 105° em estufa marca FANEM, capacidade de aquecimento de até 300° C.

Coliformes totais - colimetria, através da técnica dos tubos múltiplos (TM), com diluições de 10, 10⁰, 10⁻¹, incubação em estufa com temperatura 35° C, durante 24 - 48 horas e através da técnica da membrana filtrante (MF), que consiste em filtrar a vácuo, utilizando-se uma membrana de porosidade 0,45 μ , 100 ml ou um volume diluído da amostra, e posteriormente incubá-la a 35°C por um período de 24 horas (CETESB, 1991).

Coliformes fecais - colimetria, através da técnica dos tubos múltiplos (TM), com diluições de 10, 10⁰, 10⁻¹ e incubação em estufa com temperatura 35° C, durante 24 - 48 horas (CETESB, op cit.)

Contagem padrão de bactérias - Semeou-se 1,0 ml da amostra em 10 ml de ágar padrão, distribuiu-se em placas de Petri, incubou-se a 35° C, por um período de 24 horas em estufa marca FANEM, posteriormente, procedeu-se a contagem de colônias em ágar padrão (CETESB, op cit.)

3.3.2. Sedimentos

Após secagem à temperatura ambiente, pulverizou-se as amostras em gral de ágata e separou-se em duas alíquotas: uma destinada para as determinações mineralógicas, realizadas no Laboratório de Difração de Raio-X do CG/UFPa; outra para a determinação dos teores de carbono orgânico, matéria orgânica e leitura de pH, no laboratório da CAERD.

Nas determinações de sedimentos utilizou-se os seguintes métodos e equipamentos:

Mineralógica - difratometria (método do pó); utilizou-se gerador de raio - X, com monocromador de grafite e tubo com ânodo de cobre, modelo PW 1729, marca PHILLIPS, com as seguintes condições:

faixa de varredura = 5 - 65 [$2^\circ(2\Theta)$]/cm/min]

constante do tempo = 0,4 s

sensibilidade = 1000 imp/s

intensidade = 2×10^3 cm/s

% C.O. - químico, segundo Jackson modificado por GAUDETTE et al. (1974).

% M.O. - empírico, calculado a partir da fórmula: % M.O. = % C.O. x 1,724, conforme Manual de Métodos de Análises do Solo, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (1979).

pH - potenciométrico, em solução aquosa, na proporção 1:1, pH - Metro, de bancada digital, modelo PM 600, marca ANALION.

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

4.1. GENERALIDADES

Os resultados de análises físicas, físico-químicas, químicas e bacteriológicas obtidos neste estudo foram colocados na forma de tabelas, diagramas e gráficos, visando alcançar uma coerência das características químicas das águas subterrâneas.

Inicialmente, apresenta-se a Tabela 1, contendo os resultados analíticos mais freqüentes (médias aritméticas), envolvendo os parâmetros físicos, físico-químicos e químicos.

A Tabela 2 reúne dados de condutância específica para cada poço, em que se procedeu leituras pelo menos duas vezes em períodos sazonais diferentes.

A Tabela 3 agrupa resultados analíticos registrando valores máximos e mínimos, observados para cada poço.

Finalmente, a Tabela 4 reúne valores máximos, mínimos e média geométrica de parâmetros bacteriológicos.

Os resultados dos teores de carbono orgânico, teor de matéria orgânica e pH dos sedimentos são apresentados na tabela 5.

A Tabela 1, que apresenta a média dos resultados analíticos mais freqüentes, permitiu a montagem dos gráficos (Figuras 18, 20, 21, 28 do capítulo 4.6.2) e dos diagramas triangulares (Figuras 22, 23, 24, 25, 26, 27 do cap. 4.6.3).

A Tabela 3, que agrupa os resultados analíticos máximos e mínimos, observados para cada poço, permitiu a confecção dos gráficos (Figuras 29a e 29b do capítulo 4.6.5.), onde foi possível inferir profundidade versus parâmetros (ou variáveis) tais como cor, turbidez,

condutividade, sólidos totais dissolvidos, ferro total, ferro ferroso, pH, cloreto, sulfato, oxigênio consumido, nitrito e nitrato.

Complementa essa abordagem, os anexos C2, que representam perfis geológicos construídos a partir de relatórios de poços tubulares (CPRM, 1978a,b; COSTA, 1986; SILVA, 1986, 1988; ENGEO, 1988; VILLAS BOAS, 1989, 1990, 1991; OLIVEIRA, 1992; SOUSA & SCANDOLARA, 1994) perfurados a diferentes profundidades, e que são característicos da área geográfica em estudo.

Tabela 1 - Parâmetros físicos, físico-químicos e químicos de águas subterrâneas. Zona urbana de Porto Velho (RO). Médias aritméticas dos resultados mais frequentes. Períodos sazonais: (abril a outubro/95) e (novembro/95 a fevereiro/96). (Continua).

Poços	Prof.	N	Temp	Cor	Turb.	pH	Eh	Cond.	OD	OC	Alc.	CO ₂	D. Tot.	D. em	HCO ₃ ⁻
(m)			° C	ppm Pt	ppm SiO ₂		mV	µS.cm ⁻¹	ppm O ₂	ppm O ₂	ppm CaCO ₃	livre ppm CO ₂	ppm CaCO ₃	ppm Ca	ppm
CHN11	11	5	26	14	30,0	5,5	318,4	133	3,5	0,0	40	75,0	21,0	8,8	49,0
QJA19	11	4	26	5	1,0	4,5	385,4	170	4,0	0,0	15	33	0,0	0,0	18,0
OLA37	11	5	27	54	12,0	5,4	335,4	304	3,2	2,0	25	54,0	35,0	6,8	30,0
SFR42	11	6	27	96	28,0	4,1	379,4	16	4,0	2,6	20	62,0	0,0	0,0	25,0
NSG83	11	4	27	120	51,0	3,6	342,4	172	3,0	3,2	20	> 90	16,0	5,2	24,0
AMC14	12	6	26	13	5,0	5,2	327,4	99	2,1	2,4	32	63,0	12,0	4,0	39,0
CMR15	12	6	27	59	25,0	5,6	314,4	165	2,0	4,8	49	82,0	46,0	9,5	60,0
AMC39	12	6	27	4	2,0	4,9	346,4	96	2,0	0,0	31	111,0	16,0	5,2	38,0
NAC57	12	6	26	24	4,0	4,0	393,4	55	2,5	4,1	26	57,0	0,0	0,0	32,0
LIB32	13	5	26	22	10,0	4,9	349,4	143	3,1	0,8	29	56,0	20,0	4,0	35,0
CES47	13	6	26	43	37,0	4,8	302,4	122	3,4	1,1	35	75,0	16,0	4,0	43,0
NAC52	13	6	25	9	5,0	5,1	333,4	47	3,3	0,0	22	66,0	0,0	0,0	27,0
TUC54	15	6	23	0	2,0	5,4	301,4	72	4,0	1,0	46	69,0	15,0	3,8	56,0
PRI13	18	6	26	5	16,0	5,2	326,4	25	3,5	1,0	35	46,0	35,0	6,8	9,0
IPN49	18	6	26	5	6,0	5,3	332,4	116	2,0	0,7	34	66,0	21,0	7,8	41,0
LIB08	38	6	26	7	5,0	5,1	354,4	59	1,8	1,0	21	61,0	13,0	3,0	26,0
SSE31	38	6	26	4	4,0	5,3	329,4	60	3,8	1,0	32	30,0	13,0	3,2	40,0
NAC16	42	6	26	7	30,0	5,8	340,4	24	3,2	1,1	35	62,0	12,0	3,2	43,0
ALP46	42	5	26	7	30,0	4,2	324,4	22	3,0	0,0	30	75,0	19,0	6,8	37,0
JAM48	42	6	27	5	3,0	4,8	357,4	69	3,0	1,3	50	51,0	0,0	0,0	61,0
ALP55	42	6	23	2	2,0	4,3	368,4	37	2,8	3,7	26	40,0	0,0	0,0	32,0
TRI58	42	6	25	21	2,0	5,0	378,4	19	2,9	0,5	27	89,0	14,0	3,2	32,0
SCR59	45	6	26	4	4,0	4,7	333,4	28	2,5	1,0	35	74,0	6,0	2,3	43,0

OBS: Poços (abreviatura do nome do bairro, seguido do nº de ordem do poço); Prof. (profundidade); N (número de análises realizadas); Temp. (temperatura); Turb. (turbidez); Cond. (condutância específica); OD (oxigênio dissolvido); OC (oxigênio consumido); Alc. (alcalinidade); D. Tot. (dureza total); D. em Ca (dureza em Ca).

Tabela 1 - Parâmetros físicos, físico-químicos e químicos de águas subterrâneas. Zona urbana de Porto Velho (RO). Médias aritméticas resultados mais frequentes. Períodos sazonais: (abril a outubro/95) e (novembro/95 a fevereiro/96). (Continuação).

Poços	Prof.	N	Temp	Cor	Turb	pH	Eh	Cond.	OD	OC	Alc.	CO ₂ livre	D. Tot.	D. em Ca	HCO ₃
	(m)		°C	ppm Pt	ppm SiO ₂	-	mV	µS.cm ⁻¹	ppm O ₂	ppm O ₂	ppm CaCO ₃	ppm CO ₂	ppm CaCO ₃	ppm CaCO ₃	ppm
ODS04	48	6	26	17	25,0	3,9	429,4	155	2,8	0,2	16	70,0	27,0	8,7	19,5
ODS05	48	6	25	0	5,0	4,4	376,4	111	2,8	5,0	13	> 90	0,0	0,0	16,0
JEL23	48	6	27	20	30,0	4,8	393,4	43	2,4	0,0	29	41,0	0,0	0,0	36,0
JEL24	48	6	27	5	5,0	4,5	411,4	71	2,4	0,0	25	80,0	0,0	0,0	30,5
SCR38	48	4	26	2	3,0	4,3	390,4	24	3,1	1,2	28	62,0	6,0	2,0	34,5
JEL06	50	6	26	120	46,0	5	395,4	58	4,0	0,2	21	40,0	19,0	7,0	26,0
PR125	50	6	26	15	13,0	4,6	380,4	11	3,2	0,0	18	23,0	0,0	0,0	22,6
CUN27	50	6	27	5	3,0	4,5	400,4	11	3,6	0,6	36	60,0	0,0	0,0	44,0
PED02	52	4	26	7	3,0	5	353,4	41	2,8	0,0	21	65,0	0,0	0,0	26,0
NPV03	52	4	27	2	1,0	4,5	373,4	51	1,9	2,6	28	48,0	0,0	0,0	34,0
ODS21	52	6	27	2	1,0	3,9	433,4	89	3,2	0,0	23	105,0	0,0	0,0	29,0
ODS22	52	6	27	2	1,0	3,9	439,4	131	3,4	0,0	26	117,0	0,0	0,0	32,0
CUN26	52	6	27	5	4,0	4,7	394,4	15	3,8	0,0	24	22,0	6,0	3,0	30,0
SSE84	52	4	25	0	2,0	5,7	337,4	189	2,8	0,0	20	7,0	0,0	0,0	24,0
COH85	52	4	27	0	23,0	4,8	434,4	20	3,3	0,0	40	106,0	0,0	0,0	49,0
IND01	56	4	28	5	4,0	5,2	371,4	36	3,0	1,1	18	52,0	8,7	3,5	22,0
CUN86	58	4	28	0	15,0	5,0	422,4	10	3,5	0,0	32	99,0	0,0	0,0	39,0
COH80	60	4	24	0	3,0	3,9	408,4	20	2,8	2,0	40	33,0	0,0	0,0	49,0

OBS: Poços (abreviatura do nome do bairro, seguido do nº de ordem do poço); Prof. (profundidade); N (número de análises realizadas); Temp. (temperatura); Turb. (turbidez); Cond. (condutância específica); OD (oxigênio dissolvido); OC (oxigênio consumido); Alc. (alcalinidade); D. Tot. (dureza total); D. em Ca (dureza em Ca).

Tabela 1 - Parâmetros físicos, físico-químicos e químicos de águas subterrâneas. Zona urbana de Porto Velho (RO). Médias aritméticas dos resultados mais frequentes. Períodos sazonais: (abril a outubro/95) e (novembro/95 a fevereiro/96). (Continuação).

Poços	Prof. (m)	N	Ca ²⁺ ppm	Mg ²⁺ ppm	Na ⁺ ppm	K ⁺ ppm	Cl ⁻ ppm	SO ₄ ²⁻ ppm	Fe Tot. ppm	Fe ²⁺ ppm	SiO ₂ ppm	PO ₄ ³⁻ ppm	NO ₂ ⁻ ppm N	NO ₃ ⁻ ppm N	NH ₃ ppm	STD ppm
CHN11	11	5	1,9	0,2	33,5	0,8	15,0	1,0	0,04	0,02	29,0	0,03	0,01	3,19	<0,02	82
QJA19	11	4					5,5	1,5	0,02	ND	25,0	0,03	<0,01	7,00	<0,02	123
OLA37	11	5	5	0,2	43,9	3,1	41,0	30,3	0,08	ND	25,0	<0,01	0,03	0,25	<0,02	138
SFR42	11	6	0,4	0,12	0,7	1,2	1,0	4,3	0,24	0,02	25,0	0,03	<0,01	0,44	<0,02	73
NSG83	11	4					68,5	3,0	0,24	0,04	30,0	0,02	0,01	3,75	<0,02	344
AMC14	12	6	12,5	0,3	16,1	1	11,0	4,6	0,50	0,07	8,0	0,02	0,05	1,55	<0,02	107
CMR15	12	6	16,4	1,1	26,1	3,6	34,0	40,0	0,35	0,05	28,0	0,02	0,07	1,59	<0,02	192
AMC39	12	6	1,5	0,2	16,8	0,7	13,0	<1,0	ND	ND	30,0	0,03	0,01	1,32	<0,02	77
NAC57	12	6					3,0	19,0	0,20	0,05	24,0	ND	0,01	1,67	<0,02	153
LIB32	13	5	3,7	0,3	18,3	2,5	16,0	14,6	0,7	0,15	61,0	0,02	0,01	1,31	<0,02	129
CES47	13	6	3,5	0,7	20,3	3,1	14,0	3,0	0,20	<0,02	24,0	<0,01	0,07	4,77	<0,02	169
NAC52	13	6	0,5	0,07	0,4	1,1	13,0	<1,0	0,07	<0,02	28,0	ND	<0,01	0,71	<0,02	102
TUC54	15	6	1,5	0,06	7,6	0,4	2,0	9,5	0,13	0,05	13,0	0,03	0,13	0,25	<0,02	245
PRI13	18	6	7,2	0,5	5,8	1,2	1,0	3,0	0,70	ND	14,0	0,02	<0,01	0,64	<0,02	145
IPN49	18	6	5,8	0,2	15,3	0,9	8,5	5,0	0,23	0,04	29,0	0,02	0,02	0,44	<0,02	152
LIB08	38	6	3,2	0,3	8,2	0,5	8,5	9,5	1,22	0,43	49,0	<0,01	0,05	1,60	<0,02	130
SSE31	38	6	2,6	0,03	10,2	0,4	2,8	2,6	0,20	0,02	50,0	ND	<0,01	1,36	<0,02	183
NAC16	42	6	1,8	0,05	2,53	1,4	1,8	4,2	2,03	1,16	17,0	<0,01	0,05	0,25	<0,02	109
ALP46	42	5					9,5	7,0	0,80	0,02	14,0	<0,01	0,05	7,46	<0,02	299
JAM48	42	6					7,7	3,0	0,93	0,20	29,0	0,03	0,06	0,37	<0,02	118
ALP55	42	6	1,6	0,06	6,2	0,4	3,0	<1,0	0,11	ND	6,0	<0,01	ND	1,45	<0,02	164
TRI58	42	6	1	0,08	2,6	0,8	1,0	<1,0	0,53	0,03	6,0	<0,01	0,01	0,78	<0,02	157
SCR59	45	6	1,5	0,04	4	0,4	1,0	1,5	0,02	0,02	17,0	<0,01	<0,01	0,31	<0,02	230

OBS: Poços (abreviatura do nome do bairro, seguida do nº de ordem do poço); Prof. (profundidade); Fe Tot. (Ferro Total); STD (sólidos totais dissolvidos).

Tabela 1 - Parâmetros físicos, físico-químicos e químicos de águas subterrâneas. Zona urbana de Porto Velho (RO). Médias aritméticas dos resultados mais frequentes. Períodos sazonais: (abril a outubro/95) e (novembro/95 a fevereiro/96). (Conclusão).

Poços	Prof. (m)	N	Ca ²⁺ ppm	Mg ²⁺ ppm	Na ⁺ ppm	K ⁺ ppm	Cl ⁻ ppm	SO ₄ ²⁻ ppm	Fe Tot. ppm	Fe ²⁺ ppm	SiO ₂ ppm	PO ₄ ³⁻ ppm	NO ₃ ⁻ ppm N	NO ₃ ⁻ ppm N	NH ₃ ppm	STD ppm
ODS04	48	6	17,8	0,16	12,8	0,4	15,7	4,7	ND	ND	19,0	<0,01	<0,01	4,05	<0,02	24
ODS05	48	6					14,5	4,7	0,06	0,04	19,0	0,02	ND	7,68	<0,02	23
JEL23	48	6					7,0	12,0	0,11	0,06	19,0	<0,01	<0,01	1,53	<0,02	173
JEL24	48	6					10,0	1,5	0,08	0,06	26,0	<0,01	<0,01	1,67	<0,02	99
SCR38	48	4	1	0,1	2,1	1,95	1,0	3,0	0,27	0,02	41,0	<0,01	ND	0,25	<0,02	141
JEL06	50	6	6	1,9	2,5	2,9	8,5	5,0	0,24	0,04	24,0	0,02	0,02	2,62	<0,02	258
PRI25	50	6	0,5	0,1	0,7	1	1,7	4,6	0,13	0,07	23,0	0,02	<0,01	0,77	<0,02	159
CUN27	50	6	0,9	0,024	2,4	1,3	1,7	<1,0	0,02	ND	48,0	<0,01	ND	0,65	ND	127
PED02	52	4					3,5	<1,0	0,15	0,06	30,0	ND	<0,01	0,47	<0,02	138
NPV03	52	4	2	0,05	7,2	0,4	2,8	9,0	0,04	0,02	8,0	0,02	ND	1,53	<0,02	94
ODS21	52	6					9,7	1,5	0,73	ND	22,0	<0,01	<0,01	2,25	<0,02	99
ODS22	52	6					11,5	2,0	ND	ND	13,0	<0,01	<0,01	2,11	<0,02	91
CUN26	52	6	1	0,025	2,53	1,4	1,0	<1,0	0,11	ND	30,0	<0,01	ND	0,77	ND	96
SSE84	52	4					<0,5	<1,0	0,02	ND	58,0	0,02	ND	ND	<0,02	105
COH85	52	4					2,0	2,0	0,28	0,04	27,0	<0,01	<0,01	0,37	<0,02	23
IND01	56	4	1,5	0,4	5,06	0,6	0,5	8,0	0,05	0,04	30,0	0,02	ND	0,51	<0,02	130
CUN86	58	4					0,5	4,5	0,10	ND	30,0	<0,01	ND	0,25	ND	41
COH80	60	4					<0,5	<1,0	0,23	0,06	27,0	0,02	<0,01	0,51	<0,02	25

OBS: Poços (abreviatura do nome do bairro, seguida do nº de ordem do poço); Prof. (profundidade); Fe Tot. (Ferro Total); STD (sólidos totais dissolvidos).

Tabela 2 - Máximos, mínimos e médias aritméticas de valores mais frequentes de condutância específica de águas subterrâneas da zona urbana de Porto Velho - RO. Resultados obtidos nos períodos sazonais (abril a outubro/95) e (novembro/95 a fevereiro/96). (Continua).

Poços	Prof. (m)	N	Período Sazonal	Cond. ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	M.A.	Observações:
CHN11	11	5	verão inverno	Máx. 193 Mín. 134	133	- poço escavado, sem revestimento, boca de 1 m de diâmetro, terreno alto, areno-argiloso, umidade média, más condições higiênicas. Abastece 8 famílias (estância).
SFR42	11	6	verão inverno	Máx. 22,3 Mín. 13,3	16	- poço escavado, construído há 6 anos, boca medindo 1 m de diâmetro, revestido com manilha até 6 m, terreno baixo, solo argiloso, nível do lençol freático pouco profundo, área pouco povoada, boas condições higiênicas
CMR15	12	6	verão inverno	Máx. 281 Mín. 87	165	- poço escavado, boca medindo 1 m de diâmetro, sem revestimento, terreno baixo, solo areno-argiloso, fossas a 10 m, más condições higiênicas.
AMC39	12	6	verão inverno	Máx. 127 Mín. 82,4	96	- poço escavado, construído há 5 anos, terreno baixo, solo areno-argiloso, fossa à 15 m, localizado em condomínio fechado (casas), há criação de animais domésticos (galinhas, gatos, cachorros), próximo de canal aberto de drenagem de esgotos urbanos (100m).
LIB32	13	5	verão inverno	Máx. 180 Mín. 109	143	- poço escavado, sem revestimento, boca medindo 1 m de diâmetro, 8 anos, terreno baixo, areno argiloso, fossa a 15 m, más condições higiênicas, canal aberto de drenagem de esgotos urbanos a 100 m. Área densamente povoada.
CES47	13	6	verão inverno	Máx. 198 Mín. 62	122	- poço escavado, boca medindo 1 m de diâmetro, sem revestimento, em terreno alto, solo argiloso, área densamente povoada. próximo a igarapé, que recebe contribuição de esgotos e fossas das residências próximas.

OBS: Poços (foram identificados pela abreviatura do nome do bairro, seguido do número de ordem); Prof. (Profundidade) ; N (número de leituras realizadas); Cond. (condutância específica); M.A. (média aritmética).

Tabela 2 - Máximos, mínimos e médias aritméticas de valores mais frequentes de condutância específica de águas subterrâneas da zona urbana de Porto Velho - RO. Resultados obtidos nos períodos sazonais (abril a outubro/95) e (novembro/95 a fevereiro/96). (Continuação).

Poços	Prof. (m)	N	Período Sazonal	Cond. ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	M.A	Observações
NAC52	13	6	verão inverno	Máx. 61 Mín. 35	47	- poço escavado, boca medindo 1,20 de diâmetro, revestido de manilha até 6 m, área densa e desordenadamente povoada ("invasão"), terreno alto, argiloso, fossas a 15 m. Más condições higiênicas.
IPN49	18	6	verão inverno	Máx. 195 Mín. 77	116	- poço escavado, revestido com manilha até 6 m, boca medindo 1 m de diâmetro, terreno baixo, solo areno argiloso, área pouco povoada, fossas a 15 m, lavanderia e pia de cozinha a 5 m. Boas condições higiênicas.
LIB08	38	6	verão inverno	Máx. 72 Mín. 49	59	- poço tubular, 4 anos, terreno baixo, argiloso, área densamente povoada, próximo a canal aberto de drenagem de esgotos urbanos (50 m). Apresenta odor forte e característico de derivados de petróleo, possivelmente proveniente de vazamento de óleo de um grupo gerador a 15 m de distância.
SSE31	38	6	verão inverno	Máx. 73 Mín. 55	60	- poço tubular, em terreno argiloso, próximo do leito do rio Madeira, onde ocorre o embasamento a pouca profundidade (32 a 42 m), terreno baixo, alagável, em área portuária.
NAC16	42	4	verão inverno	Máx. 26 Mín. 21	24	- poço tubular, 18 anos, terreno alto, solo argiloso, tem apresentado teor alto e variado de ferro nos últimos 3 anos, cor elevada. Área pouco povoada, próxima de drenagens que recebem contribuições de esgotos urbanos.

OBS: Poços (foram identificados pela abreviatura do nome do bairro, seguido do número de ordem); Prof. (Profundidade) ; N (número de leituras realizadas); Cond. (condutância específica); M.A. (média aritmética).

Tabela 2 - Máximos, mínimos e médias aritméticas de valores mais freqüentes de condutância específica de águas subterrâneas da zona urbana de Porto Velho - RO. Resultados obtidos nos períodos sazonais (abril a outubro/95) e (novembro/95 a fevereiro/96). (Conclusão).

Poços	Prof. (m)	N	Período Sazonal	Cond. ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	M.A	Observações
JAM48	42	6	verão inverno	Máx. 96 Mín. 51	69	- poço tubular, 8 anos, prédio residencial, terreno alto, solo argiloso, área densamente habitada, dista 50 m do igarapé dos Tanques (principal drenagem da área de estudo).
TRI58	42	6	verão inverno	Máx. 29 Mín. 14	19	- poço tubular, construído há 15 anos, terreno alto, solo argiloso, área pouco povoada, com intensa vegetação próxima.
SCR38	48	4	verão inverno	Máx. 36 Mín. 14	24	- poço tubular, 10 anos, terreno alto, solo argiloso, área densamente povoada, dista 500 m do igarapé dos Tanques.
CUN27	50	6	verão inverno	Máx. 12 Mín. 10	11	- poço tubular, 8 anos, terreno baixo, solo argiloso, área pouco povoada, lençol freático pouco profundo.
PED02	52	4	verão inverno	Máx. 75 Mín. 41	41	- poço tubular, 9 anos, terreno alto, solo argiloso, área densamente povoada.
NPV03	52	4	verão inverno	Máx. 58 Mín. 47	51	- poço tubular, 10 anos, terreno alto, solo areno-argiloso, em condomínio residencial (prédio), densidade média de população.
CUN26	52	4	verão inverno	Máx. 23 Mín. 14	17	- poço tubular, 8 anos, terreno baixo, solo argiloso, área pouco povoada, lençol freático pouco profundo.

OBS: Poços (foram identificados pela abreviatura do nome do bairro, seguido do número de ordem); Prof. (Profundidade) ; N (número de leituras realizadas); Cond. (condutância específica); M.A. (média aritmética).

Tabela 3 - Valores máximos e mínimos de parâmetros físicos, físico-químicos e químicos de águas subterrâneas da zona urbana de Porto Velho (RO). Período abril/95 a outubro/95 e novembro/95 a fevereiro/96. (Continua).

Poços	Prof. (m)	N	Var.	Temp. °C	Cor ppm Pt	Turb. ppm SiO ₂	PH	Eh mV	Cond. µS.cm ⁻¹	OD ppm O ₂	OC ppm O ₂	Alc. ppm CaCO ₃	CO ₂ livre ppm CO ₂	D. Tot. ppm CaCO ₃	D. em Ca ppm CaCO ₃
CHN11	11	5	Máx.	26	20	18,0	6,0	336,4	193	3,5	1,3	40	94,6	21,0	8,8
			Mín.	25	2	5,0	5,0	297,4	134	0,8	0,0	25	26,4	18,0	6,8
OLA37	11	5	Máx.	28	150	32,0	5,7	353,4	322	3,2	5,6	40	121,0	35,0	8,0
			Mín.	26	2	2,0	4,8	277,4	277	0,5	0,4	20	30,8	35,0	6,8
SFR42	11	6	Máx.	29	300	83,0	4,8	411,4	15	4,0	3,6	22	66,0	25,0	6,8
			Mín.	27	2	1,0	4,3	294,4	13	2,1	1,0	20	39,6	0,0	0,0
NSG83	11	4	Máx.	27	12	51,0	3,9	342,4	157	3,0	3,2	22	38,2	16,0	5,2
			Mín.	26	5	28,0	3,6	129,4	135	0,8	0,8	20	26,4	0,0	0,0
AMC14	12	6	Máx.	26	30	7,0	5,4	368,4	111	2,1	4,4	38	66,0	12,0	4,0
			Mín.	25	5	3,0	5,0	302,4	62	0,5	0,5	18	28,6	0,0	0,0
CMR15	12	6	Máx.	28	100	45,0	6,2	327,4	206	2,0	5,6	120	143,0	55,0	20,0
			Mín.	26	7	18,0	5,0	297,4	87	1,5	2,4	22	50,6	30,0	7,2
AMC39	12	6	Máx.	28,5	5	4,0	5,5	350,4	127	2,0	3,2	38	220,0	16,0	5,2
			Mín.	26	2	1,0	4,3	342,4	82	0,8	2,4	25	33,0	0,0	0,0
NAC57	12	6	Máx.	26	40	4,0	3,8	302,4	55	2,5	6,3	50	154,0	0,0	0,0
			Mín.	25	10	2,0	3,0	170,4	52	1,8	2,0	22	70,4	0,0	0,0
LIB32	13	5	Máx.	27	50	18,0	5,5	401,4	180	3,1	3,0	30	154,0	19,6	4,0
			Mín.	25	2	4,0	4,0	293,4	109	1,5	0,7	22	26,4	15,0	4,3
CES47	13	6	Máx.	29	100	80,0	5,3	380,4	198	3,4	4,8	42	173,8	16,0	4,0
			Mín.	26	2	5,0	4,5	292,4	62	0,8	0,2	22	39,6	0,0	0,0
NAC52	13	6	Máx.	27	20	9,0	5,7	372,4	61	3,3	1,0	32	114,4	0,0	0,0
			Mín.	26	2	2,0	4,2	294,4	35	0,8	0,5	22	13,2	0,0	0,0
TUC54	15	6	Máx.	26	5	3,0	5,4	371,4	51	4,0	0,9	50	77,0	15,0	3,8
			Mín.	23	2	1,0	5,1	286,4	39	1,8	0,2	42	61,6	0,0	0,0
PR113	18	6	Máx.	26	7	10,0	6,3	372,4	25	3,5	1,0	38	66,0	35	6,8
			Mín.	25	2	4,0	4,5	276,4	21	2,0	0,8	21	27,5	30	6,6

Obs: Poços (abreviatura do nome do bairro, seguido do número de ordem do poço); Prof. (profundidade); N (número de análises realizadas); Var. (variação); Temp. (temperatura); Turb. (turbidez); Cond. (condutância específica); OC (oxigênio consumido); OD (oxigênio dissolvido); Alc. (alcalinidade); D. Tot. (dureza total); D. em Ca. (dureza em cálcio).

Tabela 3 - Valores máximos e mínimos de parâmetros físicos, físico-químicos e químicos de águas subterrâneas da zona urbana de Porto Velho (RO). Período abril/95 a outubro/95 e novembro/95 a fevereiro/96. (Continuação).

Poços	Prof. (m)	N	Var.	Temp. °C	Cor ppm Pt	Turb. ppm SiO ₂	PH	Eh mV	Cond. µS.cm ⁻¹	OD ppm O ₂	OC ppm O ₂	Alc. ppm CaCO ₃	CO ₂ livre ppm CO ₂	D. Tot. ppm CaCO ₃	D. em Ca ppm CaCO ₃
IPN49	18	6	Máx.	28	10	11,0	5,5	356,4	185	2,0	2,0	100	110,0	21,0	7,8
			Mín.	25	2	3,0	5,1	282,4	77	1,9	0,6	22	44,0	0,0	0,0
LIB08	38	6	Máx.	26	10	8,0	5,7	392,4	72	1,8	1,1	30	143,0	13,0	3,2
			Mín.	25	5	3,0	4,8	312,4	49	0,7	0,8	17	39,6	0,0	0,0
SSE31	38	6	Máx.	26	5	5,0	5,4	338,4	57	3,8	1,0	80	180,4	12,0	3,2
			Mín.	25	2	3,0	5,1	311,4	55	1,9	0,6	30	26,4	0,0	0,0
NAC16	42	6	Máx.	27	10	55,0	6,1	395,4	26	3,2	8,2	80	138,6	19,0	6,8
			Mín.	26	7	2,0	5,6	313,4	21	0,2	0,1	12	53,9	0,0	0,0
ALP46	42	5	Máx.	27	7	30,0	4,2	324,4	52	3,0	0,8	30	74,8	0,0	0,0
			Mín.	26	7	5,0	4,0	308,0	27	1,7	0,5	17	84,0	0,0	0,0
JAM48	42	6	Máx.	26	5	5,0	6,0	433,3	96	3,0	1,9	60	156,2	0,0	0,0
			Mín.	25	2	3,0	3,6	268,4	51	1,0	0,8	18	35,2	14,0	3,2
ALP55	42	6	Máx.	28	5	3,0	4,3	387,4	37	2,8	3,7	30	61,6	6,0	5,0
			Mín.	26	2	2,0	4,3	349,4	23	2,1	2,1	22	17,6	6,0	2,3
TRI58	42	6	Máx.	26	40	5,0	5,7	401,4	29	2,9	0,8	32	92,4	0,0	0,0
			Mín.	25	2	1,0	4,2	326,4	14	1,5	0,3	20	85,8	0,0	0,0
SCR59	45	6	Máx.	26	5	4,0	5,3	354,4	28	2,5	1,0	40	90,0	16,0	4,2
			Mín.	25	2	3,0	4,2	311,4	21	2,0	1,0	30	57,2	0,0	0,0
ODS04	48	6	Máx.	26	30	33,0	4,3	429,4	155	2,8	0,2	20	90,0	27,0	8,7
			Mín.	25	5	18,0	3,5	257,4	127	2,0	0,2	12	50,6	0,0	0,0
ODS05	48	6	Máx.	26	5	5,0	4,4	280,4	111	2,8	5,0	13	90,0	0,0	0,0
			Mín.	25	2	2,0	4,3	270,4	43	1,8	0,2	12	54,0	0,0	0,0
JEL23	48	6	Máx.	27	20	30,0	5,0	424,4	120	2,4	0,0	39	70,4	0,0	0,0
			Mín.	25	5	2,0	4,6	362,4	96	1,9	0,0	20	11,0	0,0	0,0

Obs: Poços (abreviatura do nome do bairro, seguido do número de ordem do poço); Prof. (profundidade); N (número de análises realizadas); Var. (variação); Temp. (temperatura); Turb. (turbidez); Cond. (condutância específica); OC (oxigênio consumido); OD (oxigênio dissolvido); Alc. (alcalinidade); D. Tot. (dureza total); D. em Ca. (dureza em cálcio).

Tabela 3 - Valores máximos e mínimos de parâmetros físicos, físico-químicos e químicos de águas subterrâneas da zona urbana de Porto Velho (RO). Período abril/95 a outubro/95 e novembro/95 a fevereiro/96. (Continuação).

Poços	Prof. (m)	N	Var.	HCO ₃ ⁻ ppm	Cl ⁻ ppm	SO ₄ ²⁻ ppm	Fe Tot. ppm	Fe ²⁺ ppm	SiO ₂ ppm	PO ₄ ³⁻ ppm	NO ₂ ⁻ ppm N	NO ₃ ⁻ ppm N	NH ₃ ppm NH ₃	STD ppm
CHN11	11	5	Máx. Mín.	48,8 30,5	16,5 13,0	18,0 <1,0	0,40 0,30	0,08 0,02	35,0 24,0	0,03 0,02	0,03 <0,01	3,75 2,25	<0,02 <0,02	240 73
OLA37	11	5	Máx. Mín.	49,0 24,4	46,0 33,5	84,0 21,0	0,11 0,03	ND ND	36,0 25,0	0,02 0,01	0,05 <0,01	2,78 0,25	<0,02 <0,02	720 113
SFR42	11	6	Máx. Mín.	27,0 24,0	3,0 <0,5	59,0 2,0	0,47 0,03	0,02 ND	28,0 18,0	0,02 <0,01	0,03 <0,01	0,51 0,25	<0,02 <0,02	240 53
NSG83	11	4	Máx. Mín.	24,0 22,0	68,5 46,0	4,0 3,0	1,22 0,04	0,08 0,02	32,0 20,0	0,02 <0,01	0,01 <0,01	3,75 6,36	<0,02 <0,02	344 85
AMC14	12	6	Máx. Mín.	46,4 22,0	17,5 10,5	5,0 1,5	1,22 0,04	0,11 <0,02	13,0 3,3	0,02 <0,01	0,06 <0,01	2,02 0,77	<0,02 <0,02	260 56
CMR15	12	6	Máx. Mín.	146,0 26,9	37,5 15,5	60,0 14,0	0,5 0,22	0,43 0,02	36,0 15,3	0,02 0,01	0,18 0,03	2,94 0,25	<0,02 <0,02	767 166
AMC39	12	6	Máx. Mín.	46,4 30,5	24,0 11,5	16,0 <1,0	ND ND	ND ND	36,0 25,0	0,03 0,02	0,02 <0,01	1,59 0,64	<0,02 <0,02	571 67
NAC57	12	6	Máx. Mín.	61,0 27,0	7,5 3,0	27,0 11,0	0,22 0,13	<0,02 <0,02	23,0 15,0	0,02 <0,01	0,02 <0,01	2,02 1,31	<0,02 <0,02	181 130
LIB32	13	5	Máx. Mín.	37,0 27,0	22,0 15,5	15,0 1,5	0,93 0,48	0,36 <0,02	61,0 35,0	0,02 <0,01	0,03 <0,01	1,31 0,25	<0,02 <0,02	223 117
CES47	13	6	Máx. Mín.	51,0 27,0	16,5 7,0	53,0 1,5	0,40 0,02	0,02 <0,02	28,20 20,0	0,02 <0,01	0,18 <0,01	5,37 3,42	<0,02 <0,02	303 144
NAC52	13	6	Máx. Mín.	39,0 26,7	14,0 1,5	1,5 <1,0	0,43 0,04	0,03 <0,02	32,0 23,0	0,02 <0,01	0,01 <0,01	1,04 0,26	<0,02 <0,02	420 85
TUC54	15	6	Máx. Mín.	61,0 51,0	3,0 1,0	<1,0 <1,0	0,55 0,11	0,11 ND	13,0 3,3	0,03 0,02	0,13 ND	0,37 0,13	<0,02 <0,02	295 196
PRU13	18	6	Máx. Mín.	46,4 26,0	1,5 0,5	7,0 4,0	0,88 0,22	ND ND	20,0 15,30	0,02 0,01	0,01 <0,01	0,92 0,38	<0,02 <0,02	160 135

Obs: Poços (nome do bairro seguido do número de ordem do poço); Prof. (profundidade); N (número de análises realizadas); Var. (variação); STD (sólidos totais dissolvidos).

Tabela 3 - Valores máximos e mínimos de parâmetros físicos, físico-químicos e químicos de águas subterrâneas da zona urbana de Porto Velho (RO). Período abril/95 a outubro/95 e novembro/95 a fevereiro/96. (Conclusão).

Poços	Prof. (m)	N	Var.	HCO ₃ ⁻ ppm	Cl ⁻ ppm	SO ₄ ²⁻ ppm	Fe Tot. ppm	Fe ²⁺ ppm	SiO ₂ ppm	PO ₄ ³⁻ ppm	NO ₂ ⁻ ppm N	NO ₃ ⁻ ppm N	NH ₃ ppm NH ₃	STD ppm
IPN49	18	6	Máx.	122,0	24,5	7,0	0,30	0,05	30,0	0,02	0,02	0,51	<0,02	760
			Mín.	27,0	3,5	1,5	0,16	0,03	24,0	0,01	0,01	0,37	<0,02	138
LIB08	38	6	Máx.	37,0	14,0	9,0	1,40	0,70	49,0	0,02	0,08	2,47	<0,02	147
			Mín.	21,0	6,5	2,0	0,07	0,20	10,0	<0,01	<0,01	0,25	<0,02	80
SSE31	38	6	Máx.	97,6	3,5	4,0	0,03	0,02	50,0	0,02	<0,01	1,73	<0,02	221
			Mín.	36,6	2,5	1,5	0,12	ND	30,0	<0,01	ND	1,04	<0,02	145
NAC16	42	6	Máx.	97,6	2,0	84,0	2,43	1,44	24,0	0,02	0,07	1,59	<0,02	139
			Mín.	14,6	1,0	3,0	0,06	0,04	17,5	0,01	<0,01	0,25	<0,02	42
ALP46	42	5	Máx.	36,6	9,5	7,0	0,68	0,30	17,5	0,02	<0,01	7,46	<0,02	299
			Mín.	20,7	1,0	<1,0	0,40	0,20	10,0	0,01	<0,01	6,36	<0,02	170
JAM48	42	6	Máx.	73,0	12,5	12,0	0,93	0,40	49,0	0,03	0,12	0,37	<0,02	327
			Mín.	22,0	7,0	2,0	ND	<0,02	17,5	0,02	ND	ND	<0,02	78
ALP55	42	6	Máx.	36,6	2,5	<1,0	0,11	<0,02	29,0	0,01	ND	1,45	<0,02	270
			Mín.	27,0	3,5	<1,0	ND	ND	20,0	<0,01	ND	ND	<0,02	58
TRI58	42	6	Máx.	39,0	1,0	1,5	0,94	0,04	7,0	0,01	0,01	1,31	<0,02	190
			Mín.	24,4	0,5	<1,0	0,13	0,02	5,0	<0,01	ND	ND	<0,02	71
SCR59	45	6	Máx.	49,0	1,5	1,5	0,02	0,02	20,0	0,01	0,02	0,37	<0,02	270
			Mín.	37,0	0,5	<1,0	<0,02	<0,02	15,0	<0,01	0,01	0,25	<0,02	190
ODS04	48	6	Máx.	24,4	17,5	6,0	<0,02	<0,02	30,0	0,01	<0,01	6,36	<0,02	88
			Mín.	15,0	14,0	3,0	<0,02	<0,02	20,0	<0,01	ND	1,73	<0,02	78
ODS05	48	6	Máx.	16,0	135,0	<1,0	0,06	0,02	24,0	0,02	ND	7,68	<0,02	139
			Mín.	15,0	25,0	<1,0	0,04	0,02	19,5	<0,01	<0,01	3,70	<0,02	88
JEL23	48	6	Máx.	47,6	78,0	12,0	0,11	0,06	26,0	0,01	<0,01	2,02	<0,02	290
			Mín.	24,4	6,00	<1,0	<0,02	<0,02	19,5	<0,01	<0,01	1,04	<0,02	57

Obs: Poços (nome do bairro seguido do número de ordem do poço); Prof. (profundidade); N (número de análises realizadas); Var. (variação); STD (sólidos totais dissolvidos).

Tabela 4 - Valores máximos, mínimos e média geométrica de indicadores bacteriológicos de águas subterrâneas da zona urbana de Porto Velho - RO. Períodos sazonais; (abril a outubro/95) e (novembro/95 a fevereiro/96). Resultados expressos em NMP/100 ml.

Poços	Prof. (m)	N	CT		MF		CPB	
			Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
CHN11	11	5	6	≥ 1600	249			> 500
OLA37	11	5		≥ 1600	> 1600			> 500
SFR42	11	6	80	≥ 1600		20	300	> 500
AMC14	12	6		≥ 1600	> 1600	> 500		451
CMR15	12	6		≥ 1600	> 1600	> 500		> 500
AMC39	12	6		≥ 1600	> 1600	2		> 500
LIB32	13	5	< 2	≥ 1600	172	> 500		> 500
CES47	13	6	< 2	≥ 140	18	6	300	> 500
NAC52	13	6		≥ 1600	> 1600	> 500		451
TUC54	15	6	22	≥ 1600	188			> 500
PR113	18	6	< 2	≥ 1600	172	20		> 500
IPN49	18	6		≥ 1600	> 1600	10		> 500
LIB08	38	6	< 2	≥ 920	7	150	200	289
SSE31	38	6	8	≥ 1600	187	2		> 500
NAC16	42	6	< 2	≥ 8	56	> 500	50	109
JAM48	42	6	< 2	≥ 1600		< 1	100	173
ALP55	42	6	2	14	23		280	374
TRI58	42	6	7	80	17		100	224
SCR59	45	6	14	22	3		300	387
ODS04	48	6	< 1	11	3			250
JEL23	48	6		2	2	< 1		200
JEL24	48	6	50	≥ 1600	283	20	370	430
SCR38	48	4	< 2	8	3	10	30	90
PR125	50	6	2	900	42	< 1		160
CUN27	50	6	< 2	4	4	< 1	30	77
NPV03	52	4	< 2	11		6	20	82
ODS21	52	6	< 2	12		40	100	126
ODS22	52	6	< 2			< 1	100	173
CUN26	52	6	< 2	≥ 1600	18	> 500		> 500
IND01	56	4	< 2			30	5	> 500

OBS: Poços (abreviatura do nome do bairro, seguido do número de ordem); prof. (profundidade); N (número de análises realizadas); NMP (número mais provável); CT (coliformes totais); MF (membrana filtrante); CPB (contagem padrão de bactérias).

4.2. PARÂMETROS FÍSICOS, FÍSICO - QUÍMICOS E QUÍMICOS

4.2.1. Temperatura

A temperatura da água influencia diretamente sua densidade, sua capacidade de solubilizar gases como o CO_2 , O_2 , etc., e a velocidade das reações químicas e bioquímicas que se processam no meio (temperaturas acima de 33°C aceleram as reações favorecendo o desenvolvimento dos microrganismos).

As temperaturas dos grandes rios amazônicos são muito estáveis, entre 28°C e 30°C (SIOLI, 1949).

Durante o período estudado, observou-se a temperatura do rio Madeira, que apresentou valores entre 27°C e 29°C . Essas leituras foram realizadas no período da manhã, quando a temperatura do ar é relativamente baixa e a radiação solar, que promove o aquecimento da água, é pequena.

As temperaturas medidas nos poços estudados oscilaram entre 23°C (poços TUC54, NSG9, CEN53) e 29°C (poços NAC42 e CES47).

De maneira geral, foi observado que a maioria das águas analisadas apresentam temperaturas no intervalo de 25°C a 27°C , coincidente com a temperatura média do ambiente (26°C), que variam entre 25°C a 32°C , evidenciando as características do clima local, quente e úmido, conforme citado no capítulo 2.2.

4.2.2. Cor

A cor é uma característica da água devida à existência de substâncias dissolvidas em solução. Essas substâncias podem ser orgânicas como ácidos húmicos, exudatos, etc., ou inorgânicas na forma de íons complexos de ferro (humatos, fulvatos), etc., produzindo, em geral, colorações de diversas matizes de amarelo (LEVINSON, 1974; BRANCO, 1978; DREVER, 1988).

No período estudado, 36% das amostras apresentaram cor >5 ppm de Pt e 16% apresentaram valores >15 ppm de Pt, ultrapassando os limites de potabilidade fixados na Portaria Nº 36, que fixa Normas e Padrões de Potabilidade para consumo humano (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1990).

28,3% apresentaram valores mínimos de 2,5 ppm de Pt, tendo sido registrado o maior valor de cor no poço SFR42 (300 ppm de Pt) e 19,7 % dos poços amostrados apresentaram ausência de cor.

Deve-se esperar que as águas subterrâneas de Porto Velho tenham sua cor devida à dissolução do Fe^{2+} e à concentração de solutos orgânicos ou de seus complexos metálicos, que lhes confere uma coloração marrom-avermelhada, característica de águas que percolam solos lateríticos.

4.2.3. Turbidez

A turbidez da água é devida a partículas sólidas insolúveis, matéria orgânica e organismos microscópicos em suspensão, (MOTA, 1988; SZIKSZAY, 1993). A intensidade e o aspecto dessa turbidez depende do tipo de solo em que a água tenha circulado, das características do ambiente onde fica retida e de sua velocidade de escoamento. Os materiais suspensos na água podem ser constituídos de grãos de areia, silte, argila e produtos químicos insolúveis (C. NETO et al., 1980).

Os resultados das análises das águas dos poços RIC07 e STB62, apresentaram máximos e mínimos valores de turbidez 130 e 0,5 ppm de SiO_2 , respectivamente.

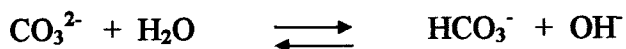
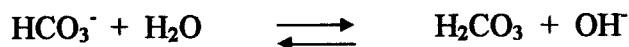
8,3% das amostras analisadas apresentaram valores < 1 ppm de SiO_2 , 51% das amostras apresentaram valores entre 1 e 5 ppm de SiO_2 , que são os aceitáveis e os máximos permitidos para consumo humano, respectivamente, conforme a Portaria Nº 36, que fixa Normas e Padrões de Potabilidade para águas de consumo humano (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1990). 40,7% apresentaram valores > 5 ppm de SiO_2 .

Em sua maioria, as águas subterrâneas de Porto Velho apresentaram boa qualidade estética. Problemas de turbidez são decorrentes da má construção e mal funcionamento dos poços, devido a ausência do filtro e pré-filtro, proteção sanitária e regime de sobre-exploração; areia e silte são carregados pela água quando bombeada.

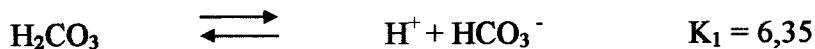
4.2.4. pH

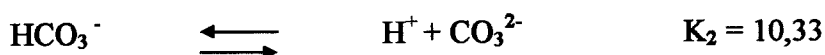
O pH pode ser considerado uma das variáveis ambientais mais importantes, ao mesmo tempo que uma das mais difíceis de se interpretar. Esta complexidade de interpretação dos valores de pH se deve ao grande número de fatores que podem influenciá-lo. Na maioria das águas continentais o pH é influenciado pela concentração de íons H^+ originados das reações de íons carbonato e bicarbonato com a molécula de água, que eleva os valores de pH para a faixa alcalina, e da dissociação de ácido carbônico que gera valores baixos de pH (KRAUSKOPF, 1972; DREVER, 1988).

A alcalinidade devida aos íons bicarbonato e carbonato pode ser, abaixo, evidenciada:



As reações seguintes, mostram a acidez devida à dissociação do ácido carbônico (KRAUSKOPF, 1972).





Os valores de pH das águas amazônicas estão relacionados, até certo grau, com a natureza mineralógica do solo e subsolo (SIOLI, 1957).

JUNK & FURCH (1980), estudando a caracterização química das águas de rios e igarapés da Bacia Amazônica e áreas adjacentes no trecho Porto Velho - Cuiabá, observaram que os resultados dos parâmetros analisados, inclusive o pH, estariam em combinação com as informações existentes sobre a geologia da região, mostrando uma intensa relação entre as águas e a geologia de sua áreas de captação.

LIMA & KOBAYASHI (1988) relacionaram os pH ácidos das águas subterrâneas de Barcarena - PA, com o perfil geológico da área, rico em argilas cauliniticas, contendo restos de vegetais e sedimentos carbonosos, provavelmente associados aos ácidos húmicos.

Os índices de pH das amostras analisadas mostraram valores que variaram de 3,9 (NAC57) a 7,0 (COH63), sendo que a maioria das águas apresentaram valores entre 4,0 a 5,7.

Os valores mais baixos de pH, deve-se certamente às elevadas concentrações de CO₂ dissolvido na água, resultantes dos processos de decomposição de matéria orgânica que liberam CO₂, diminuindo o pH, e também de pequenas quantidades de cátions de metais alcalinos e alcalino-terrosos, principalmente o cálcio, que estariam associados aos solos da região, que são ácidos.

4.2.5. Eh

O Eh avalia a tendência de uma substância reagir com outras, quando estão envolvidos processos de oxidação ou redução. Portanto, o Eh mede a capacidade do ambiente em fornecer elétrons a um agente oxidante ou em retirá-los de um agente redutor (KRAUSKOPF, 1972; LEVINSON, 1974; DREVER, 1988). Valores elevados de Eh indicam tendências para ambientes aerados.

Os resultados obtidos para a determinação de Eh estão na faixa de 274,4 mV a 436 mV, caracterizando o ambiente com tendência para aerado, oxidante.

4.2.6. Condutância específica

A condutividade elétrica da água está associada diretamente à concentração de substâncias ionizadas dissolvidas em seu meio, e varia com a temperatura, mobilidade e valência dos íons presentes (CUSTODIO & LLAMAS, 1976).

SIOLI (1968), classificou os rios da Amazônia em rios de água branca, clara e preta. Os rios de água branca teriam origem na região andina, responsável pelo transporte de grande carga de sedimentos em suspensão, e portanto, rica em espécies iônicas dissolvidas, como por exemplo: os rios Amazonas e Madeira. Os rios de água clara são oriundos do Planalto Central, cujo tipo de solo predominante é o latossolo. Quimicamente, seriam relativamente pobres em espécies iônicas dissolvidas. Seriam exemplos dessas águas os rios Tapajós e Xingu. Os rios de água preta, cuja característica principal é a grande quantidade de material húmico dissolvido, seriam extremamente pobres em espécies iônicas inorgânicas dissolvidas. Seriam extremamente ácidos, com pH abaixo de 4,0. Os rios Negro e Cururu seriam os exemplos dessa classe de águas.

O capítulo 2.7 mostra uma outra classificação para as águas da Bacia Amazônica, associadas ao substrato geológico e ao regime de erosão, que seriam os controladores da composição química das águas superficiais (STALLARD & EDMOND, 1983).

Devido à sua grande atividade biológica, a zona do solo tem grande importância na composição físico-química da água, ocorrendo lixiviação e transporte das espécies dissolvidas resultantes das interações da água rica em CO_2 e O_2 com os minerais e a matéria orgânica. SANTOS et al. (1985), estudando a composição química de amostras de águas de percolação, provenientes de diferentes tipos de solos do Estado de Rondônia, concluíram ser o solo a fonte principal dos elementos dissolvidos nas águas, e não a chuva.

MORTATTI (1988), estudando as alterações ecológicas, em função da colonização intensiva no Estado de Rondônia, através da caracterização biogeoquímica de seus principais rios, considerou os rios da região, pobres em eletrólitos (condutância específica de 4,0 a 12,0 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$) quando comparados com o rio Madeira (60 a 70 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$).

Na área estudada, as águas subterrâneas rasas (profundidade até 20 m) apresentaram valores de condutividade que variam de 13,6 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ (poço SFR 42) a 329 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ (poço OLA37). Em amostras de poços mais profundos, registrou-se valores de condutividade de 9,7 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ (poço CUN27) a 189 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ (poço SSE84).

4.2.7. Oxigênio dissolvido

As principais fontes de oxigênio para a água são a atmosfera e a fotossíntese. Por outro lado, as perdas são o consumo pela decomposição de matéria orgânica (oxidação), perdas para a

atmosfera, respiração de organismos aquáticos e oxidação de íons metálicos, como o ferro e o manganês (ESTEVES, 1988).

O oxigênio dissolvido produz um meio oxidante, e tem grande importância na solubilização ou precipitação de íons que trocam com facilidade a valência, assim como na atividade dos microrganismos (CUSTODIO & LLAMAS, 1976).

A redução pode ser causada por agentes redutores químicos (sulfetos, sais ferrosos, sais estanosos, anidrido sulfuroso e seus compostos, etc.) ou pela decomposição biológica da matéria orgânica presente no líquido. A redução do oxigênio dissolvido nas águas superficiais provoca desequilíbrios ecológicos, podendo resultar na morte de peixes e de outros organismos aeróbios. O oxigênio dissolvido de saturação está associado à temperatura (maiores temperaturas significam menores teores de oxigênio) (ESTEVES, 1988).

Os valores de OD para águas subterrâneas variam de 0 a 5 ppm (CUSTODIO & LLAMAS, 1976).

As amostras analisadas apresentaram concentrações de OD que variaram de 0,2 a 4,0 mg/l, estando coerentes com os valores citados acima.

Valores baixos de OD em geral são resultantes do consumo de oxigênio pela oxidação de minerais de ferro dissolvidos na água. As águas subterrâneas são deficientes de oxigênio dissolvido, e com o aumento da profundidade tornam-se mais reduzidas.

4.2.8. Oxigênio consumido

A medida de oxigênio consumido (OC) permite avaliar a disponibilidade de oxigênio para oxidar a matéria orgânica dissolvida ou em solução, considerando-se que o material redutor existente na água seja, predominantemente, matéria orgânica.

Nas amostras analisadas, os valores de OC variaram de 0,1 a 8,2 ppm de O_2 . Os maiores valores evidenciam maior quantidade de matéria orgânica, relativamente elevada, quando comparadas às águas dos rios e igarapés da região. Conforme análises realizadas pela Divisão de Controle de Qualidade da CAERD, os valores de OC para o rio Madeira variam de 1,0 ppm a 2,5 ppm, e para o igarapé Bate-Estacas, variam de 0,8 ppm a 1,5 ppm.

4.2.9. Alcalinidade

A alcalinidade de uma água reflete sua capacidade de neutralizar ácidos adicionados a essa água. Essa capacidade depende de alguns compostos, principalmente bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos.

A alcalinidade pode ser classificada em :

- a) alcalinidade total, devida à concentração total de OH^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- ;
- b) alcalinidade à fenofaleína (TA) , devida a OH^- e CO_3^{2-} ;
- c) alcalinidade ao metil-orange (TAC) devida aos íons CO_3^{2-} e HCO_3^- .

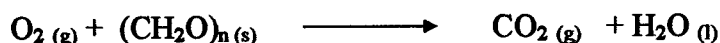
Alcalinidade e pH estão sempre bem relacionados, assim, a maioria dos valores de alcalinidade TAC, em ppm de $CaCO_3$, corresponde a valores baixos de pH (SAWYER & CARTY, 1978).

pH abaixo de 8,5, que é o ponto da curva de neutralização de CO_3^{2-} , origina HCO_3^- , que é detectado pela presença de fenoftaleína (TA).

As amostras analisadas apresentaram valores nulos para a alcalinidade TA. Assim, a alcalinidade das águas subterrâneas de Porto Velho é devida ao metil-orange (TAC), que corresponde a valores baixos de pH. Considera-se que a alcalinidade TAC expressa a contribuição de íons bicarbonato em solução existentes nessas águas.

4.2.10. CO_2 Livre

Geoquimicamente, o mais importante ácido produzido no solo é o H_2CO_3 , derivado da reação do CO_2 e água da chuva. O CO_2 é gerado da decomposição da matéria orgânica e da respiração das plantas. A matéria orgânica decomposta é a principal fonte de CO_2 , segundo a reação (HEM, 1970):



O CO_2 presente na atmosfera pode atingir as águas subterrâneas, principalmente as de pequenas profundidades, através das águas de infiltração, onde está diluído. Parte desse CO_2 permanece livre em solução, e parte reage com a água formando HCO_3^- , CO_3^{2-} , H^+ , os quais compõem um sistema em equilíbrio (sistema carbonato), juntamente com o próprio CO_2 livre. As reações envolvendo esse sistema controlam o pH da maioria das águas (DREVER, 1988). A matéria orgânica em decomposição nos solos, principalmente vegetais, também é uma fonte importante de gás carbônico para as águas subterrâneas de pequenas profundidades (HEM, op. cit.).

As determinações de CO_2 revelaram valores variando de 8,8 a 220 ppm. O valor mais baixo verifica-se no poço PRI25. O valor mais elevado ocorreu no poço AMC39, de menor profundidade (12 m). A origem do CO_2 pode ser favorecida pela atividade antropogênica como das reações químicas e bioquímicas.

4.2.11. Cations principais

4.2.11.1. Cálcio e Magnésio

O cálcio ocorre nas águas naturais proveniente da dissolução das rochas carbonáticas, decomposição dos minerais silicáticos, anfibólios, plagioclásios e feldspatos cálcicos (LEVINSON, 1974; DREVER, 1988).

O Ca^{2+} tem seu quimismo associado ao carbonato e bicarbonato em muitas águas naturais, podendo precipitar ou dissolver, com variação de pH e pressão parcial do CO_2 (CUSTODIO & LLAMAS, 1976).

Foram encontrados baixos valores de Ca^{2+} (0,5 - 17,8 ppm) para a maioria das águas, o que evidencia sua pequena disponibilidade nos solos e nas rochas. Observou-se um enriquecimento relativo nos poços JEL06, ODS04, PRI13, sugerindo uma relação com a composição mineralógica das rochas do Complexo Jamari, onde é notável a presença de anfibólios, epidotos, etc. (Anexo C2).

O magnésio ocorre naturalmente na água por dissolução de dolomitos, ataque de silicatos magnésianos e ferromagnésianos, em áreas de mistura com água do mar e de contaminação industrial (CUSTODIO & LLAMAS, 1976).

Geralmente, o Mg^{2+} é o cátion menos abundante nas águas subterrâneas. Segundo LIVINGSTONE (1963), as composições das águas no mundo possuem um valor médio de 15 ppm de magnésio, enquanto que as águas da América do Sul, apresentam um valor médio de 7,2 ppm de magnésio.

Baixas concentrações de Mg^{2+} e baixos valores de pH, caracterizam as águas como não carbonatadas e extremamente não tamponadas (Hutchinson, Ruttner apud JUNK & FURCH, 1980).

As águas analisadas apresentaram valores muito baixos de Mg^{2+} (0,02 - 0,7 ppm).

A dureza de uma água é causada pela presença de cátions metálicos divalentes, principalmente Ca^{2+} e Mg^{2+} (SAWYER & CARTY, 1978).

Os sais de Ca^{2+} e Mg^{2+} estão geralmente sob a forma de bicarbonatos, sulfatos e cloretos.

A dureza de uma água pode ser considerada temporária ou permanente. A dureza temporária é devida à carbonatos e pode ser eliminada por ebulição. A dureza permanente ou de não carbonatos, é causada pela presença de sulfatos e cloretos de Ca^{2+} e Mg^{2+} .



Águas com dureza até 60 ppm de $CaCO_3$ são consideradas “moles”; de 61 a 120 ppm de $CaCO_3$ “moderadamente dura” e maior que 180 ppm de $CaCO_3$, “muito duras”.

As águas analisadas apresentaram valores de dureza total que variaram de 7,0 a 80 ppm e os valores de dureza em Ca^{2+} variaram de 1,2 a 28 ppm. Essas concentrações relacionam-se às contribuições de Ca^{2+} e Mg^{2+} expressos em ppm de $CaCO_3$.

4.2.11.2. Sódio e Potássio

Na^+ e o K^+ tem sua origem nos feldspatos sódicos e potássicos das rochas graníticas e gnáissicas (KRAUSKOPF, 1972 ; LEVINSON, 1974).

Nas amostras das águas analisadas os teores de Na^+ (0,7 - 43,9 ppm) e K^+ (0,4 - 3,6 ppm) são baixos, possivelmente devidos a adsorção pelas argilas. Teores mais elevados de Na^+ , conforme pode ser observado na Tabela 1, são provenientes possivelmente das águas de infiltrações (águas de chuva e de esgotos lançados a céu aberto).

4.2.11.3. Ferro

O Ferro é proveniente de minerais ferromagnesianos componentes das rochas cristalinas ou de solos lateríticos. Esses minerais sofrem processo de alteração, e permitem a solução de ferro, sob a forma ferrosa, quando em contato com o oxigênio do ar, formar hidróxidos férricos, precipitando-os.

O ferro férrico (Fe^{3+}) predomina em ambiente oxidante, sendo o hidróxido férrico coloidal ($\text{Fe}(\text{OH})_n$) a espécie mais comum nas águas continentais. Espécies férricas como Fe^{3+} e FeOH^{2+} podem ser importantes nas águas superficiais ácidas ($\text{pH} < 5$)

Fatores climáticos influenciam na concentração de Ferro no período de estiagem, quando ocorre a evaporação de água e conseqüentemente, um aumento na concentração de solutos orgânicos coloridos ou de seus complexos com metais, notadamente o ferro, isto resulta numa coloração castanho avermelhada (LEVINSON, 1974; DREVER, 1988).

A maior parte do ferro encontra-se nas águas mais profundas, na forma de Fe^{2+} , proveniente da redução do Fe^{3+} presente em suspensão, provavelmente aos oxi-hidróxidos de ferro presentes em suspensão nos sedimentos e solos submersos, sob condições anaeróbias, estariam sofrendo dissolução química e liberando Fe^{2+} . Parte desse ferro pode precipitar ao atingir a parte mais rasa, onde o Eh é mais elevado.

As concentrações de Fe^{2+} nas amostras analisadas variaram de $< 0,02$ a $1,4$ ppm, sendo que os maiores valores foram encontrados nos poços mais profundos. Esse fato deve-se, provavelmente, à conversão de Fe^{2+} a Fe^{3+} em ambientes oxidantes. De forma que o ferro é praticamente ausente em profundidade rasa, e, em condições redutoras, encontra-se predominantemente na forma de Fe^{2+} (HEM, 1970).

Para o ferro total, as amostras analisadas apresentaram uma variação de $< 0,02$ a $2,4$ ppm, sendo que o poço NAC16 apresentou os valores máximos tanto de ferro total, quanto de Fe^{2+} . Esses teores de ferro das amostras analisadas mostraram - se condizentes com águas que percolam terrenos lateríticos.

Lima et al. apud LIMA & KOBAYASHI (1988) encontraram valores mais elevados ($3,0$ ppm) em poços tubulares de 60 metros de profundidade e perfil semelhante, no bairro da Sacramento, em Belém - PA.

Altos teores de ferro, manganês e matéria orgânica nas águas subterrâneas estão associados às argilas com matéria orgânica, que com o ambiente redutor e baixo pH, produzem acidez e favorecem a solubilidade do ferro nas águas subterrâneas.

4.2.12. Ânions principais

4.2.12. 1. Bicarbonato

As principais formas de ocorrência do carbono inorgânico são:

- a) “livre” (CO_2 , H_2CO_3);
- b) íon bicarbonato (HCO_3^-);
- c) carbonato (CO_3^{2-}).

Essas formas estão fundamentalmente relacionadas com o pH do meio (DREVER, 1988; ESTEVES, 1988).

Águas com pH abaixo de 6,4 predomina o H_2CO_3 , pH entre 6,4 e 10,3 predomina o HCO_3^- e a partir de 10,3 o íon dominante é o CO_3^{2-} (CUSTODIO & LLAMAS, 1976).

A quantidade de íons HCO_3^- nas águas naturais está diretamente ligada ao CO_2 dissolvido nas mesmas, mas as proporções de cada um destes está relacionada ao quimismo particular de cada água (HEM, 1970).

O CO_2 dissolvido pode participar da diminuição de pH e assim, pode-se observar que as menores concentrações de HCO_3^- estão relacionadas com os mais baixos valores de pH (CUSTODIO & LLAMAS, op. cit.).

Os teores de bicarbonato variaram de 10,7 a 164,7 ppm, e são os ânions predominantes nas águas estudadas. O HCO_3^- origina-se das reações biológicas e químicas que fornecem o CO_2 , principalmente no solo. Águas bicarbonatadas caracterizam águas superficiais ou subterrâneas de pouca profundidade (SZIKSZAY & TEISSEDRE, 1977).

4.2.12.2. Sulfato

Valores muito baixos ou próximos de zero para a concentração de sulfatos são típicos de águas subterrâneas nas quais estão ocorrendo redução microbiológica (MATTHESS, 1982).

Baixas concentrações de SO_4^{2-} podem estar correlacionadas também com a redução de sulfatos a sulfetos, ou com a capacidade de troca de íons das argilas que poderiam adsorver íons sulfatos (Apgar & Langmuir apud PARISOT et al. (1985).

Concentrações mais elevadas de SO_4^{2-} são esperadas em águas mais profundas (HEM, 1970; CUSTODIO & LLAMAS, 1976)

Os resultados das amostras apresentam valores consideráveis de sulfato nos poços mais rasos: OLA37, CMR15, SFR42, CES47, CEN61. Em profundidades maiores (42 metros) apenas o poço NAC16 apresentou valor elevado (84,0 ppm), que difere da média dos valores encontrados em outras ocasiões (4,1 ppm). Essas concentrações elevadas de SO_4^{2-} estão possivelmente associadas à contaminação química resultante de atividades antropogênicas.

4.2.12.3. Cloreto

Embora seja um componente menor da crosta terrestre, é assim mesmo, um dos constituintes principais da maioria das águas naturais. A sodalita ($\text{Ca}_5(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH}) - (\text{PO}_4)_3$) e a apatita ($\text{Na}_4(\text{AlSiO}_4)_3\text{Cl}$) são os únicos minerais freqüentes nas rochas ígneas e metamórficas que contêm cloreto como constituinte fundamental, porém micas, hornblendas e os vidros vulcânicos podem conter quantidades importantes de cloreto (DAVIS & WIEST, 1971).

Ainda conforme os mesmos autores, os sais cloretados são altamente solúveis, tanto é que raramente se separam da água por simples precipitação, exceto quando ocorrem circunstâncias especiais, tais como evaporação intensa ou um congelamento. O íon cloreto é muito estável, não sofrendo os efeitos da troca iônica, adsorção e atividade biológica. Quando uma água contém cloretos é muito difícil que estes cheguem a ser mobilizados por esses processos naturais.

Há grande contribuição de cloretos nas águas naturais de origem marinha transportadas, nos sais cíclicos e nas águas de chuva (HEM, 1970).

O teor de cloretos em águas subterrâneas das regiões úmidas distante do mar é baixo, comumente inferior a 5 ppm (OPAS, 1978).

STALLARD (1980), avaliou a contribuição de cloretos para as águas naturais devido aos sais cíclicos na descarga do rio Amazonas, em Óbidos. Observou que há uma diminuição do teor de cloreto à medida que essas águas se afastam do oceano.

Águas subterrâneas pobres em cloretos, principalmente de rochas ígneas e sedimentares mostram valores baixos de Cl^- ($< 30 \text{ mg/l}$); altos teores de cloretos são indicativos de mistura de águas mineralizadas ou de poluição antropogênica (MATTHESS, 1982).

A concentração de cloreto para as amostras analisadas apresentaram valores que variaram de 0,5 a 68,5 ppm, com os maiores valores registrados para os poços rasos (CHN11, AMC14, CMR15, LIB32, OLA37 e NSG83).

Teores de cloreto entre 5,3 e 9,5 ppm foram registrados por LIMA & KOBAYASHI, (1988) para águas subterrâneas de Barcarena - PA. Segundo A. C. F. N. S. Tancredi (informação verbal), há teores de cloretos muito elevados nas águas subterrâneas da Ilha de Marajó (PA).

4.3. COMPONENTES DE CICLOS BIOGEOQUÍMICOS E DO INTemperismo

4.3.1. Amônia

Em condições normais a amônia se encontra em concentrações muito baixas (<1,0 mg/l em N) em águas subterrâneas, devido sua adsorção, principalmente pelas argilas, e também por não ser facilmente lixiviada (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1975).

A formação da amônia se dá através de processos de decomposição da matéria orgânica dissolvida e particulada, portanto, não ocorre em condições naturais. Nas águas subterrâneas é encontrada sob condições redutoras e geralmente, em pequenas quantidades (MATTHESS, 1982).

Em meio ácido há formação de íon amônio (NH_4^+), segundo a reação (HEM, 1970; AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, op. cit.):



A formação da amônia durante o processo de decomposição da matéria orgânica (amonificação) ocorre quando organismos heterotróficos decompõem tanto aeróbica quanto anaerobicamente a parte nitrogenada da matéria orgânica. Em condições aeróbias a amônia pode ser oxidada a nitrato. A amonificação e a nitrificação são processo que ocorrem na zona não saturada, onde a matéria orgânica e o oxigênio são abundantes (KOMOR & ANDERSON, 1993).

A Figura 17 é um diagrama simplificado das alterações cíclicas do nitrogênio na biosfera. A fixação do nitrogênio se refere à redução de N_2 para a forma de amônia, NH_3 . A formação se

dá quando o nitrogênio da amônia (NH_3) ou grupo amino ($-\text{NH}_2$) é assimilado biologicamente com a matéria orgânica. A conversão da amônia a nitritos e a nitratos se dá através das bactérias Nitrosomonas e Nitrobacter, respectivamente. Este processo recebe o nome de nitrificação e ocorre segundo as reações (LEME, 1982):



Na desnitrificação, certas bactérias em presença de redutores e em falta do oxigênio livre, podem recorrer aos nitratos presentes, como fonte de oxigênio (ou aceitador de prótons) reduzindo-se a nitritos e posteriormente, a nitrogênio gasoso (N_2). A desnitrificação em sistemas aerados ocorre, geralmente, em locais onde o oxigênio dissolvido, no líquido que circunda as partículas, se aproxima de zero (IMHOFF & IMHOFF, 1986).

As amostras analisadas apresentaram valores abaixo do limite de detecção ($< 0,02$ ppm NH_3).

4.3.2. Nitrito

Sendo uma fase intermediária do ciclo do nitrogênio, o nitrito é muito instável, e por isso é rapidamente oxidado a nitrato.

O nitrito foi encontrado nas águas subterrâneas de Porto Velho em concentrações relativamente elevadas nos poços CES47 (0,184 ppm em N) e CMR15 (0,178 ppm em N), e a concentração mais baixa nos poço ODS20 (< 0,01 ppm em N).

Os valores elevados de nitrito nas amostras analisadas indicam ser da decomposição da matéria orgânica, com participação das bactérias do grupo coliforme, que têm a capacidade de reduzir o nitrato a nitrito.

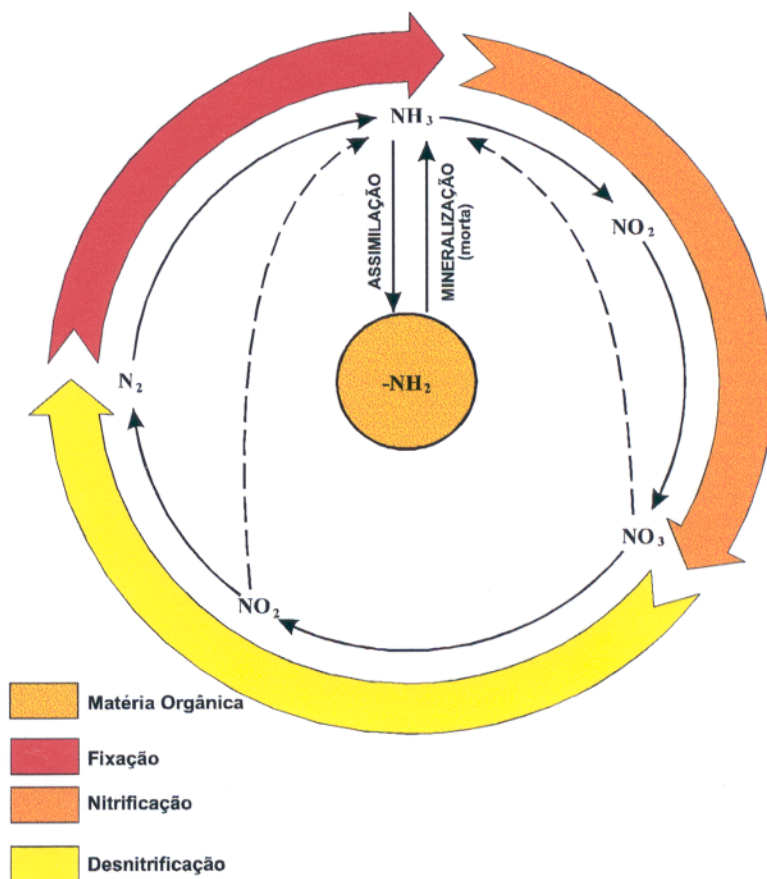


Figura 17 - Diagrama simplificado do ciclo do nitrogênio (modificado de GAUDY Jr. & GAUDY, 1988).

4.3.3. Nitrato

Os nitratos pertencem à relação dos produtos finais resultantes da estabilização biológica da matéria nitrogenada contida nas águas poluídas (IMHOFF & IMHOFF, 1986).

A maior parte do nitrogênio sob a forma de nitrato, é derivado da biosfera. O nitrato normalmente não existe em concentrações relativamente elevadas em águas subterrâneas não poluídas. Está associado à depósitos de origem biológica, como o guano, ou à atividades antropogênicas (fossas, fertilizantes, esgotos, etc.).

Em aquíferos pouco profundos e permeáveis ou em zona de rochas fraturadas, onde existe oxigênio gasoso dissolvido, o nitrato geralmente migra para grandes distâncias a partir da zona de origem (FREEZE & CHERRY, 1979).

Concentrações mais altas (em torno de 8,0 ppm em N) ocorreram tanto em poços mais profundos (ODS05, ALP46), quanto em poços rasos (QJA19, NHO79), sendo que para os poços de profundidade entre 38 e 60 metros predominaram valores médios de 1,22 ppm em N.

4.3.4. Fosfato

A utilização da matéria orgânica dos sedimentos pelos microrganismos, principalmente as bactérias decompositoras de proteínas, sob condições aeróbicas e anaeróbicas, possibilita a liberação do fósforo para a água, principalmente na forma de fosfatos.

As fases minerais contendo ferro férrico e fosfato são formadas em ambiente oxidante. Em condições anaeróbicas, esses compostos podem ser reduzidos e dissolvidos, e o fosfato associado (adsorvido ou precipitado), liberado para a água.

Em muitas águas naturais o fosfato se apresenta sob a forma de traços e raramente, em quantidades apreciáveis em períodos de baixa atividade biológica. Por outro lado, águas de despejos domésticos, brutos ou tratados, drenagens agrícolas e certos despejos industriais, contêm normalmente concentrações apreciáveis de fosfatos. Fosfatos também podem aparecer em pequenas quantidades associados à matéria orgânica (HEM, 1970).

O fosfato proveniente da decomposição das rochas primárias, através do intemperismo, pode ser transportado pelas águas de escoamento superficial e alcançar os diferentes sistemas aquáticos sob formas solúveis e adsorvido às argilas. Sendo que a adsorção das argilas é a via mais importante de acesso dos fosfatos aos ecossistemas aquáticos tropicais, devido à frequência de solos argilosos. A adsorção de íons fosfatos por óxidos metálicos, especialmente hidróxido férrico, é um fator que previne concentrações maiores na água. A água da chuva também pode conter apreciáveis teores de fosfato dissolvido ou em suspensão (HEM, op. cit.).

As águas amazônicas superficiais têm em torno de 0,05 a 0,11 ppm de PO_4^{3-} (SIOLI, 1967).

MORTATTI (1988), estudando o transporte de nutrientes nos diversos rios do Estado de Rondônia, encontrou uma concentração de 6,58 ppm de PO_4^{3-} para o rio Madeira no ano de 1983, em época de estiagem. Nos dois anos seguintes, obteve valores de 0,1 ppm e 0,22 ppm, para o início do período chuvoso/84 e verão/85, respectivamente.

Os valores de PO_4^{3-} das amostras analisadas encontram-se na Tabela 1. Observou-se valores que variaram de < 0,01 a 0,03 ppm. Tais resultados estão de acordo com os resultados referenciados nas bibliografias acima citadas. Considera-se que os baixos valores de fosfatos estariam associados ao processo de adsorção do mesmo pelas argilas.

4.3.5. Sílica

A sílica (SiO_2) no ambiente aquático provém, principalmente, da decomposição de minerais de silicato de alumínio, principalmente dos feldspatos (DREVER, 1988).

Na água, apresenta-se sob três formas:

- a) solúvel
- b) sílica coloidal
- c) sílica particulada, incorporada ao fitoplâncton ou aos detritos orgânicos sob a forma de quartzo e minerais de silicatos em suspensão, e ainda adsorvida a compostos orgânicos e inorgânicos (hidróxidos de Al e de Fe).

Em forma de silicatos a sílica é liberada a partir da decomposição química de minerais, devido em parte às precipitações químicas e à temperaturas de até 32° C, e ao intemperismo que aumenta a solubilidade dos minerais (ESTEVES, 1988).

Davis apud HEM (1970); MATTHESS (1982), deu valores médios de 14 mg/l e 17 mg/l para o teor de SiO_2 das águas superficiais e das águas subterrâneas, respectivamente.

Segundo Davis apud SILVA (1992), a influência litológica é o mais importante fator controlador dos teores de sílica nas águas subterrâneas. Esse mesmo autor, associa as grandes quantidades de sílica em solução às rochas vulcânicas e, concentrações menores, às rochas graníticas e sedimentares.

Em relação aos valores mundiais das águas subterrâneas, HEM (1970) cita que concentrações maiores que 200 ppm são comuns.

Os valores de SiO_2 para as amostras analisadas variaram de 5,62 ppm (poço ALP55) a 116 ppm (poço SSE84), sendo que o poço SSE84 está localizado em área próxima ao leito do rio

Madeira, onde o embasamento ocorre a pouca profundidade (32m), e o contato da água com os minerais menos alterados da rocha-mãe propicia uma pronunciada liberação de sílica.

A sílica liberada durante o processo de intemperismo, em parte reage com o alumínio para formar argilas e em parte recristaliza em diminutos grãos de quartzo (KRAUSKOPF, 1972).

4.4. PARÂMETROS BACTERIOLÓGICOS

4.4.1. Coliformes totais e fecais

A pesquisa de microrganismos patogênicos na água requer procedimentos complexos e longo tempo para obtenção de resultados, o que inviabiliza as análises de rotina. Além disso, esses microrganismos normalmente ocorrem em número reduzido e sua chegada à água é intermitente.

Considerando-se que os agentes patogênicos de veiculação hídrica apresentam, como ponto comum, sua eliminação através das fezes dos doentes ou portadores, uma alternativa para a qualidade microbiológica da água é a pesquisa de organismos indicadores de contaminação fecal. Esses organismos, quando presentes na água, indicam a ocorrência de contaminação fecal, evidenciando o risco da presença de organismos patogênicos (CETESB, 1991).

Branco apud MOTA (1988), cita as seguintes razões como justificativa para a escolha dos coliformes como indicadores da presença potencial de organismos patogênicos de origem fecal na água:

a) existem em grande número na matéria fecal e em nenhum outro tipo de matéria orgânica poluente; por conseguinte, são indicadores específicos de matéria fecal.

b) algumas das bactérias pertencentes ao grupo *Escherichia coli*, por ex. não se reproduzem na água ou no solo, mas exclusivamente no interior do intestino (ou em meios de cultura especiais à temperatura adequada). Portanto, só são encontrados na água quando aí foi introduzida matéria fecal e o seu número é proporcional à concentração dessa matéria.

c) apresentam um grau de resistência ao meio (à luz, oxigênio, cloro e outros destruidores de bactérias) comparável ao que é apresentado pelos principais patógenos intestinais que podem ser veiculados pelas águas; dessa forma, reduz-se muito a possibilidade de existirem patógenos fecais quando já não se encontram coliformes na água.

d) sua caracterização e quantificação é feita por métodos relativamente simples.

As bactérias do grupo coliforme são as únicas capazes de fermentar a lactose, produzindo gás, e resistir à presença da bile (que é um componente normal do intestino). Dessa forma, se a água a ser tratada for submetida a várias diluições e estas forem “semeadas” sucessivamente em tubos contendo caldo lactosado e bile, a formação do gás nos tubos caracterizará a presença de bactérias, e pelo valor das diluições máximas que apresentarem resultado positivo, se poderá avaliar, estatisticamente, o chamado Número Mais Provável (NMP) de bactérias do grupo coliforme, ou seja, a sua concentração na amostra analisada.

Segundo LEWIS et al. (1988), as informações sobre a sobrevivência das bactérias nas águas subterrâneas é relativamente limitada. Em geral, se tem aceitado a tese de que o período de sobrevivência é maior que nas águas superficiais, devido à ausência de luz solar e à pouca competência pelos nutrientes disponíveis. A temperatura também constitui fator importante, já que as bactérias sobrevivem maior tempo quando as temperaturas são mais baixas. Entretanto, a natureza química da água subterrânea afeta assim mesmo a capacidade de sobrevivência de qualquer bactéria presente. As bactérias entéricas, em geral, suportam mal as condições ácidas; o mesmo ocorre, em graus variáveis, nas águas subterrâneas salinas.

A presença de coliformes totais (CT) nas águas pode estar associada às características do terreno, uma vez que a textura do solo, a espessura e permeabilidade da zona não saturada influencia na capacidade de purificação do meio. Solos com areia grossa e cascalho, além de permitirem maior distância de percurso do líquido têm menor poder de purificação (MOTA, 1988).

Romero apud PACHECO (1986), resumizou os resultados de muitos estudos sobre o movimento de bactérias em águas subterrâneas, o percurso máximo dos contaminantes biológicos, em condições ordinárias, varia entre 15 e 30 metros em meios saturados, podendo percorrer maiores distâncias em águas com nutrientes; em condições favoráveis estes podem sobreviver até 5 anos, mas em geral, morrem antes de sessenta ou cem dias. Isto se refere principalmente a terrenos granulares finos. Em meios muito grosseiros e em rochas fraturadas, os percursos dos microrganismos são maiores e, em áreas carstificadas, estes podem percorrer centenas de metros.

As amostras analisadas apresentaram ausência de coliformes e teores $\geq 1,6 \times 10^3$ NMP/ml.

Observou-se nos poços com profundidade de até 20 m, que 100% apresentaram teores de coliformes totais que vão de 7 a $\geq 1,6 \times 10^3$ NMP/100 ml. Sendo que 70% apresentaram valores $\geq 1,6 \times 10^3$ NMP/100 ml.

Nas águas subterrâneas de profundidade intermediária (20 a 40 m), houve uma redução do percentual de contaminação. 75% das amostras variaram de 4 a $\geq 1,6 \times 10^3$ NMP/100 ml de CT, sendo que 25,5% destes, apresentaram valores $\geq 1,6 \times 10^3$ NMP/100 ml. 24,5% variaram de 4 a 920 NMP/100 ml e 25% apresentaram ausência de CT.

Nas partes mais profundas (40 a 60 m) 73,5% das amostras apresentaram presença de CT, destes, 14% são valores $\geq 1,6 \times 10^3$ NMP/100 ml. Nos 26,5% restantes não foi detectada a presença de CT.

Águas destinadas ao consumo humano para fins de potabilidade, deverão ter ausência de bactérias do grupo coliforme (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1990).

4.4.2. Bactérias heterotróficas

A determinação da densidade de bactérias heterotróficas é um importante parâmetro auxiliar no controle bacteriológico para a estimativa da biomassa de bactérias heterotróficas presentes no corpo d'água.

Baseia-se no princípio de que, definindo condições de nutrição, temperatura e tempo de incubação, se houver bactérias viáveis na água, que possam se desenvolver nas condições estabelecidas, ela vai formar colônias que podem ser visualizadas após o período de incubação determinado.

Das amostras analisadas, 60,4% apresentaram teores de bactérias heterotróficas >500 UFC/100ml, sendo que 39,6% apresentaram valores que variaram desde ausência até 400 UFC/100ml.

4.5 SEDIMENTOS - ASPECTOS QUÍMICOS E MINERALÓGICOS

4.5.1. Mineralogia

Os resultados dos difratogramas de raio-X são representados no anexo C3. Identificou-se os óxidos e hidróxidos de ferro (hematita e goethita), caulinita e quartzo, sendo a caulinita o mineral de argila predominante nas amostras dos perfis.

Esses resultados estão de acordo com Sombroek, Kitagawa & Moller apud ALFAIA (1988), que demonstraram ser a caulinita o mineral predominante nos latossolos e podzólicos da região amazônica. ADAMY & ROMANINI (1990) também identificaram os minerais acima citados para a área em estudo.

Argilo-minerais são normalmente os produtos insolúveis do intemperismo químico dos silicatos. São formados sob diversas condições e também são capazes de adsorver metais com os quais podem estar em contato, essa capacidade varia grandemente e depende da sua capacidade de troca de cátions (LEVINSON, 1974).

A caulinita se forma quando as rochas e o meio ambiente permitem a infiltração e a drenagem das águas é rápida. As águas provocam a dissolução ou lixiviação rápida e completa dos metais alcalinos, alcalino-terrosos e da sílica (SANTOS, 1975).

Quando a vegetação é abundante, especialmente em regiões de pouca drenagem, as condições de baixo pH e Eh resultam em alta solubilidade do ferro, manganês e outros elementos. Esses elementos são lixiviados das rochas e solos e transportados para a zona de acumulação, também chamada de horizonte B (LEVINSON, 1974).

Segundo DREVER (1988), Al^{3+} e Fe^{3+} são complexados por solutos orgânicos, o que resulta na lixiviação desses elementos dos horizontes superiores e deposição em horizontes mais profundos, formando os perfis característicos dos podzóis.

Para os solos da área estudada, a formação de óxidos e hidróxidos de ferro (hematita e goethita), componentes da crosta ferruginosa dos perfis lateríticos, é evidenciada pelas figuras constantes no anexo C2.

4.5.2. Carbono orgânico

Quimicamente, a matéria orgânica (M.O.) do solo é uma combinação de numerosos complexos coloidais com as proteínas, celulose, amido, lignina, etc. Quando esses complexos são atacados pelos microrganismos transformam-se gradativamente, parte em cristalóides e parte em novos colóides, especialmente o humus. Graças às suas propriedades coloidais, o humus adsorve as substâncias liberadas pelos minerais e rochas sob a ação do intemperismo.

Segundo Buckman & Brady apud MALAVOLTA (1976), o húmus é uma mistura de substâncias amorfas e coloidais de cor marrom ou parda escura modificada do material original e em parte produzida pelos vários organismos do solo.

A matéria orgânica é, portanto, composta de substâncias húmicas e substâncias não húmicas. As não humificadas são os componentes das plantas e outros organismos (carboidratos, aminoácidos, proteínas, lipídeos, ácidos nucleicos e ligninas). Esses compostos são produtos de ações de degradação e decomposição. Em condições anaeróbicas eles são adsorvidos por componentes inorgânicos no solo, especialmente as argilas. A fração humificada, o humus, é considerada como o produto final da decomposição das plantas nos solos (TAN, 1982).

Os ácidos húmicos se distinguem dos ácidos fúlvicos pelo teor mais elevado de oxigênio, e pelos conteúdos mais baixos de hidrogênio e nitrogênio. O conteúdo de oxigênio é da ordem de 54% nos ácidos fúlvicos, e 46% nos ácidos húmicos. O conteúdo de N no ácido fúlvico mostra uma faixa de 0,7 a 2,6 % em contraste com os ácidos húmicos, os quais contêm até 5% de N. (TAN, 1982).

O C é fixado no solo a partir do CO₂ atmosférico, incorporando nitrogênio, proveniente em parte das águas da chuva e em parte, da fixação do N₂ do ar atmosférico por parte dos microrganismos.

A quantidade de nitrogênio detectada nos ácidos húmicos é indicativa da presença de compostos contendo N em diferentes estágios (NH₄⁺, nitrogênio orgânico, NO₂⁻, NO₃⁻).

Embora se reconheça a importância da determinação do nitrogênio para uma melhor caracterização dos sedimentos, não foi possível a determinação de nitrogênio orgânico neste trabalho, face às limitações operacionais do laboratório.

A matéria orgânica atua na agregação de partículas, conferindo ao solo condições favoráveis de arejamento e friabilidade. Além disso, ela aumenta a retenção de água em solos e é responsável em grande parte pela capacidade de troca de cátions. Em geral, os menores teores de M.O. ocorrem em solos menos argilosos (RAIJ, 1981).

Os óxidos de ferro são adsorvidos na superfície da caolinita, produzindo uma cimentação e levando à conseqüente agregação das partículas do solo e à formação de concreções e crosta (Baver apud TAN, 1982).

Nas amostras analisadas o teor de C.O. variou de 0,05% a 1,3%. Esses resultados estão condizentes com o teor médio de 1,06%, característico de vegetação de floresta tropical,

apresentado por FREIRE et al. (1990), em seu estudo de valorização de dados de solos na região amazônica brasileira.

Solos com teores de M.O. superiores a 20% são classificados como orgânicos. Esses solos são raros e ocorrem em condições de má drenagem, onde o acúmulo da M.O. é superior à decomposição.

Na maioria dos solos, os teores de M.O. dificilmente atingem 5% (RAIJ, 1981). Isto deve-se, provavelmente, ao fato de que interagindo com as argilas, a matéria orgânica forma complexos. O humus passa a atuar como cimento para as partículas, produzindo agregados estáveis quando em água, tornando-se de dispersão mais difícil que as argilas (MALAVOLTA, 1976).

Os teores de M.O. obtidos a partir do teor de C.O., baseia-se nos resultados sobre a composição do humus, que segundo Millar apud MALAVOLTA (op. cit.), possui em média, 58% de C.

As amostras analisadas apresentaram teores de M.O. que variaram de 0,1% a 2,2%. Esses resultados estão coerentes com os valores encontrados por ALFAIA (1988), que estudou perfis de podzólicos vermelho amarelo da região amazônica e encontrou 2,3% no horizonte A1 e 0,1% no horizonte B2.

4.5.3. pH (em H₂O, proporção 1:1)

A acidez do solo é devida à concentração de íons hidrogênio que se encontram livres ou dissociados nas soluções intersticiais. Normalmente, essa concentração hidrogeniônica é muito baixa (MONIZ, 1975).

A acidificação do solo se desenvolve à medida que os cátions básicos adsorvidos no complexo coloidal vão sendo deslocados para as soluções intersticiais do solo por íons H^+ . Em condições naturais e em regiões de clima úmido, há uma tendência constante para a acidificação dos solos que geralmente contêm alumínio, ferro e manganês em grande quantidade, e a concentração de íons H^+ excede a de OH^- (TAN, 1982). Essa acidez é uma consequência da troca de cátions por H^+ , hidrólise de alumínio trocável e alguma dissociação de grupos ácidos carboxílicos na matéria orgânica. Também a decomposição da matéria orgânica produz ácidos orgânicos, particularmente os húmicos e fúlvicos. Esses ácidos contribuem com os prótons para a solução do solo e afetam o balanço pH-alcalinidade (DREVER, 1988).

Estudando latossolos amarelos e podzóis vermelho amarelos, ALFAIA (1988) encontrou valores de pH que variaram de 4 a 5,2 para os primeiros e de 4,3 a 5,1 para o segundo. Nesta pesquisa, os resultados lidos nos sedimentos amostrados apresentaram valores médios de 5,8, com um máximo de 7,4 e um mínimo de 3,6. Conforme registrados na tabela 5.

4.5.4. Integração dos resultados analíticos disponíveis

A determinação mineralógica dos sedimentos limitou-se à difração de raio-X, descrita no capítulo 3.3.2, com a localização automática dos picos em difratograma, conforme anexo C3.

Elaborou-se a Tabela 5 para os teores de C.O. (%), M.O. (%) e leituras de pH.

Tabela 5 - Resultados de teores de C.O. (%), M.O. (%) e pH em água, proporção 1:1 em sedimentos de perfis da zona urbana de Porto Velho - RO

Amostra	Prof (m)	pH	% C.O.	% M.O.
P2	36	6,3	0,1	0,2
P3	08	5,5	0,6	1,0
P3	18	3,6	0,4	0,7
P4	20	7,0	< 0,1	0,1
P4	30	5,9	0,4	0,7
P4	32	6,5	1,0	1,7
P4	42	7,4	0,5	1,0
P5	08	5,7	0,3	0,5
P5	12	5,2	0,5	1,0
P5	20	5,5	1,1	1,9
P5	26	5,4	0,5	1,0
P5	30	5,7	1,3	2,2

Obs: Prof. (profundidade); C.O. (carbono orgânico); M.O. (matéria orgânica).

A Tabela 5 apresenta os valores de pH, teores de carbono orgânico e matéria orgânica em amostras de solos e rochas em diferentes profundidades. Pode-se observar a coerência dos resultados das amostras coletadas em maior profundidade (26 - 42 m), onde os valores de pH apresentam-se mais elevados, correspondendo a baixos valores de matéria orgânica, exceto para os poços P4 (42 m) e P5 (30 m) que apresentaram valores relativamente elevados, tanto de pH quanto de matéria orgânica. O pH mais elevado poderia estar associado à geologia da região, com

presença de anfíbolitos, que liberam metais alcalinos para os sedimentos, propiciando a elevação do pH. Os valores mais baixos de matéria orgânica em maiores profundidades estariam relacionados ao perfil do solo, que concentra a matéria orgânica em suas camadas mais superficiais.

Para os teores detectados a profundidades menores (até 20 m) observou-se valores de 3,6 a 7,0 de pH, com valores de M.O. de 0,7 a 1,9%. Um pH às proximidades de 7 indica um equilíbrio tampão provavelmente associado a teores mais apreciáveis de componentes maiores de rochas. Valor de pH mais baixos estão associados ou à liberação de ácidos orgânicos livres (oriundos da decomposição da matéria orgânica) ou, mais provavelmente, ao material geológico mais intemperizado.

4.6. TRATAMENTO DE DADOS

4.6.1. Generalidades

Numa primeira abordagem, estudou-se três pares de componentes através de diagramas de dispersão (X-Y): profundidade (metros) versus condutância específica ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$), Σ ânions (meq/l) versus condutância específica, Eh-pH, diagrama Eh-pH para a ocorrência do nitrogênio.

Numa segunda abordagem, utilizou-se os diagramas triangulares, visando o estudo da competição dos principais constituintes em solução (meq% de cátions e ânions). Tomou-se como exemplos: $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) - \text{HCO}_3^- - (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$; $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) - \text{Cl}^- - (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$; $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) - \text{SO}_4^{2-} - (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$; $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) - \text{NO}_3^- - (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$. Buscou-se, também, observar a correlação entre meq % de ânions através dos diagramas $(\text{HCO}_3^- - \text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-})$ e $(\text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-} - \text{NO}_3^-)$.

4.6.2. Diagramas de dispersão (X-Y)

Na Figura 18, correspondente ao diagrama da profundidade (em metros) versus condutância específica (expressa em $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$), verificou-se de imediato, duas zonas de distribuição de pontos. A primeira, representando as águas subterrâneas rasas com poços de profundidades de 10 a 20 m aproximadamente, apresentou variação acentuada de condutância (mínimo de 13,3 e máximo de 329 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$). A segunda zona de distribuição dos pontos (profundidade dos poços variando de 38 m até 56 m) apresenta valores de condutância desde 9,7 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ até 189,5 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$.

Esse diagrama demonstra a existência de poços pouco profundos apresentando valores muito variáveis de condutividade elétrica. Os valores mais elevados estão associados a terrenos argilosos. Como o embasamento do perfil geológico ocorre a profundidades em torno de 30 metros, conforme pode ser visto na Figura 19 (SOUSA, 1986), supõe-se que condutâncias mais elevadas sejam resultantes da presença de terrenos argilosos de menor permeabilidade e a contaminações da zona de maior vulnerabilidade do aquífero. Entretanto, observa-se que a maioria das águas dos poços mais profundos apresentam valores de condutância $< 100 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$. Estes valores relativamente baixos, estão provavelmente associados a perfis que se apresentam bastante alterados e lixiviados, com grande circulação de água.

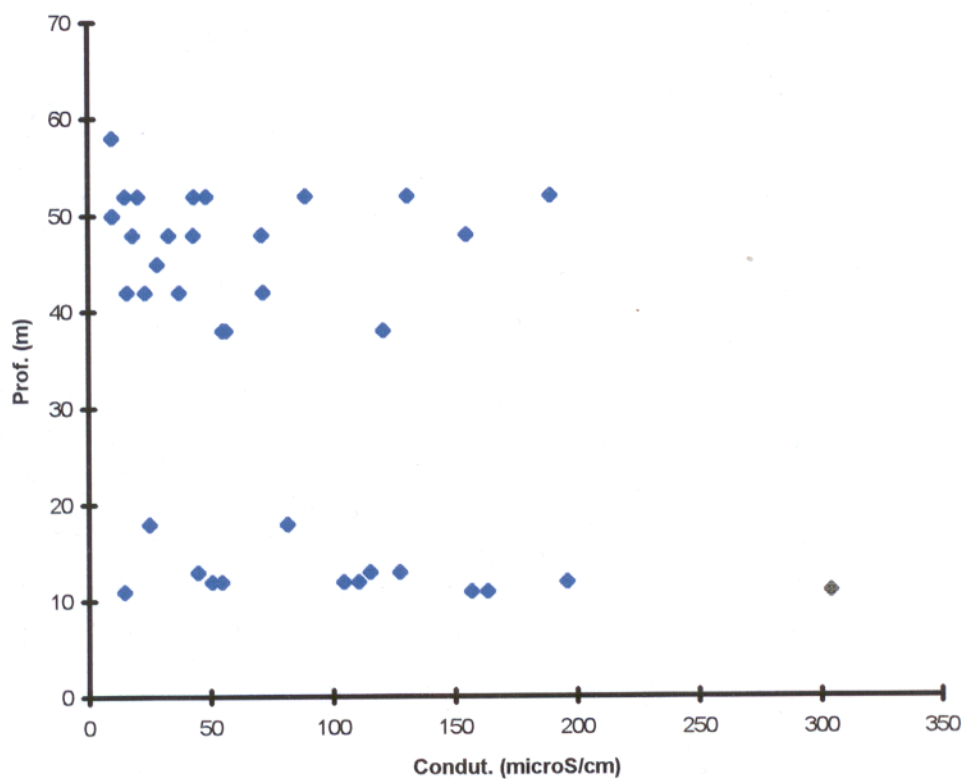


Figura 18 - Diagrama de dispersão Profundidade (m) versus Condutância específica ($\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$) para águas subterrâneas da zona urbana de Porto Velho -RO.

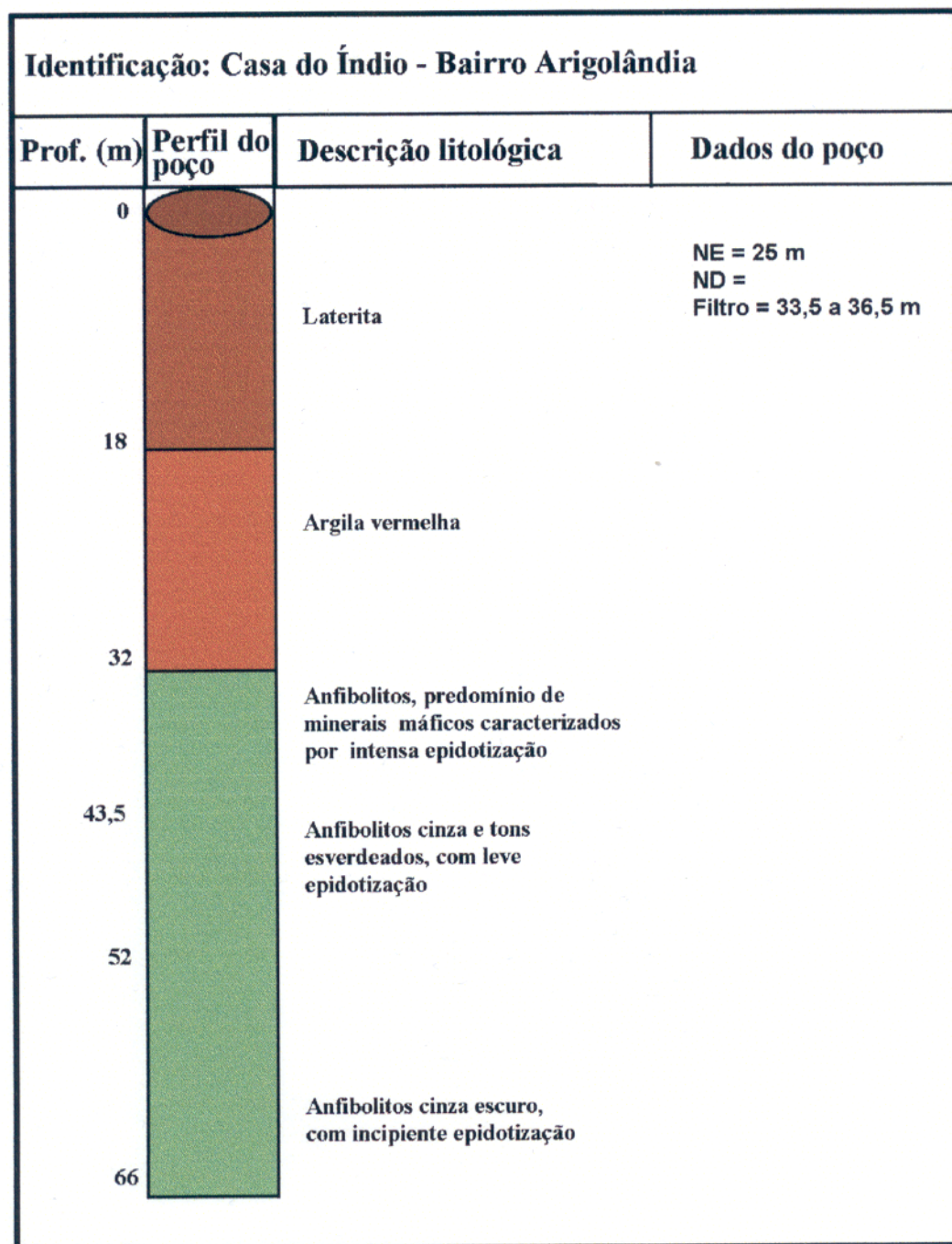


Figura 19 - Perfil de poço tubular perfurado na área estudada. Observe-se a profundidade de ocorrência do embasamento geológico da região (modificado de SOUSA, 1986).

No diagrama correlacionando Σ ânions com a condutância específica (Figura 20) aparece, de modo inequívoco, a proporcionalidade resultante da contribuição das espécies químicas presentes em solução que aumenta com o aumento da condutância específica (CUSTODIO & LLAMAS, 1976).

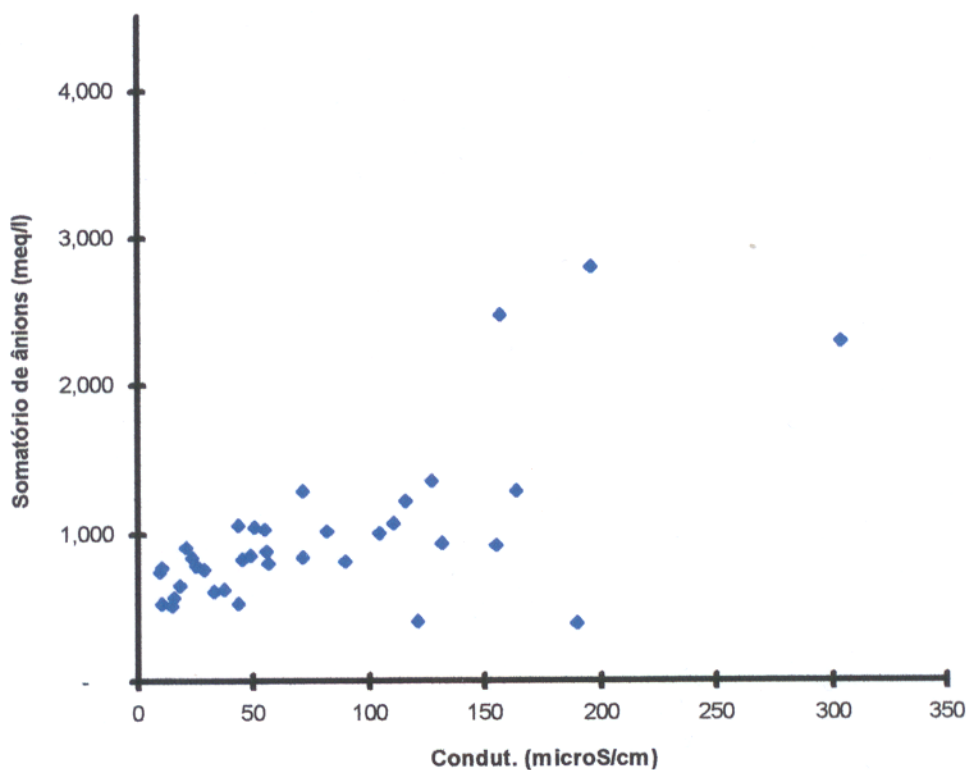


Figura 20 - Diagrama de dispersão Σ ânions (meq/l) versus Condut. específica ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$) para águas subterrâneas da zona urbana de Porto Velho -RO.

O diagrama Eh-pH é frequentemente utilizado nos estudos geoquímicos, visando caracterizar o ambiente intemperizado ou não (KRAUSKOPF, 1972; LEVINSON, 1974; DREVER, 1988). A Figura 21 mostra uma distribuição preferencial em torno de 0,2V - 0,5V para o Eh e 3,5 - 7,0 para o pH. Tais resultados condizem com as observações de campo, pois se

tratam de águas de poços em ambientes intemperizados, onde se processa a aeração. Deve-se esperar que os resultados de pH reflitam águas com predominância de caráter ácido (pH 3,5) a moderadamente ácido (pH 6,0).

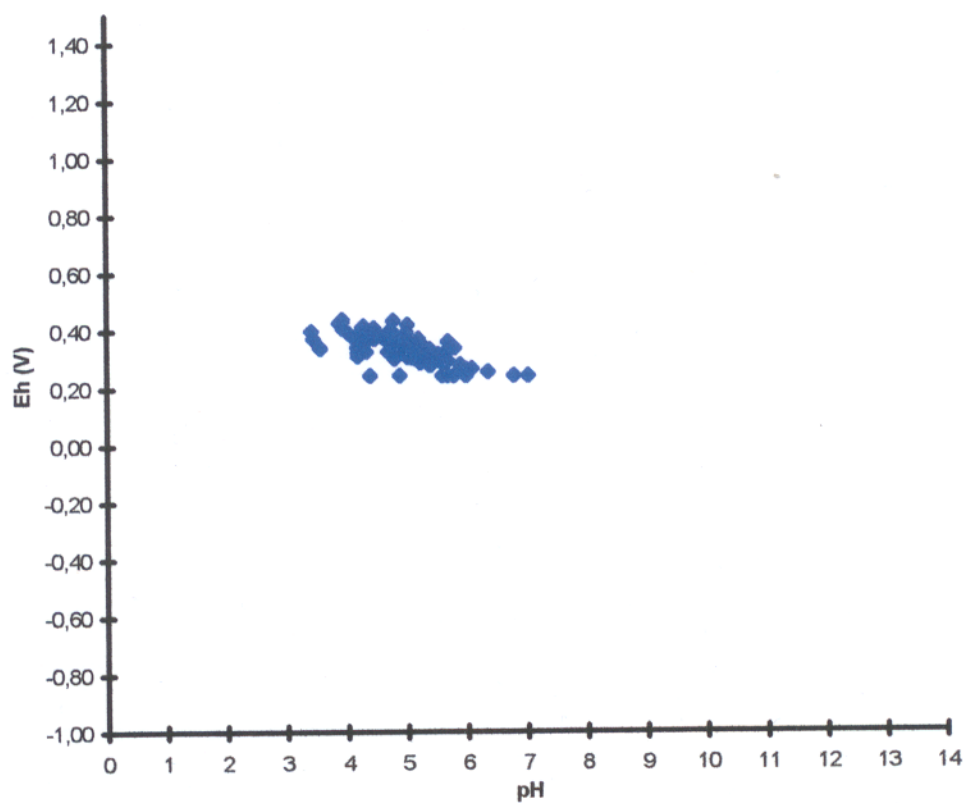


Figura 21 - Diagrama Eh - pH para águas subterrâneas de Porto Velho (RO).

4.6.3. Diagramas triangulares (meq % de cátions e ânions)

Na correlação $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) - \text{HCO}_3^- - (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$, representada pelo diagrama triangular (Figura 22) pode-se observar que as águas dos poços mais profundos (38 a 56 m) formam um grupamento com tendência para o HCO_3^- e são empobrecidas em $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, exceto para os poços JEL06 e ODS04. As águas subterrâneas rasas, embora dispersas, mostram um comportamento que reflete as diferentes fontes de contaminação antropogênicas. O enriquecimento em Ca^{2+} da amostra PRI13 deve-se provavelmente ao embasamento rico em anfibólios, epidotos, etc., conforme SOUSA (1986).

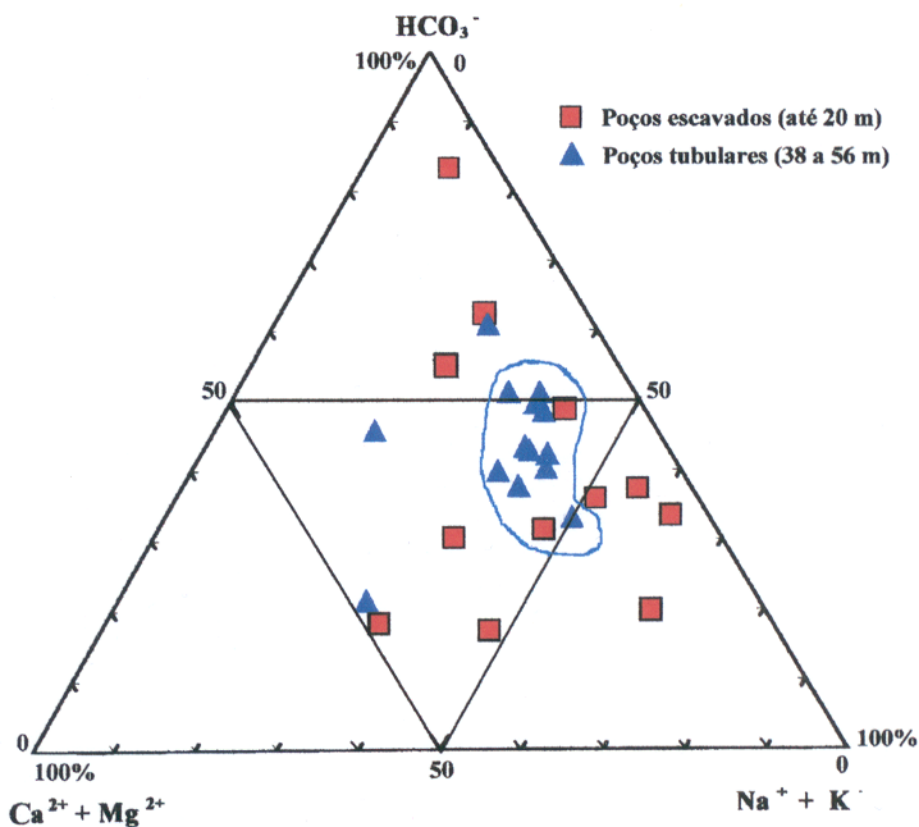


Figura 22 - Diagrama triangular correlacionando $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) + (\text{HCO}_3^-) + (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ para águas subterrâneas da zona urbana de Porto Velho -RO.

No diagrama $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) - \text{Cl}^- - (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$, observa-se uma tendência acentuada das águas subterrâneas rasas e mais profundas para o campo do sódio e potássio (Figura 23). As amostras das águas dos poços rasos NAC52 e CES47 mostraram-se bastante dispersas, algumas são mais enriquecidas em cloreto.

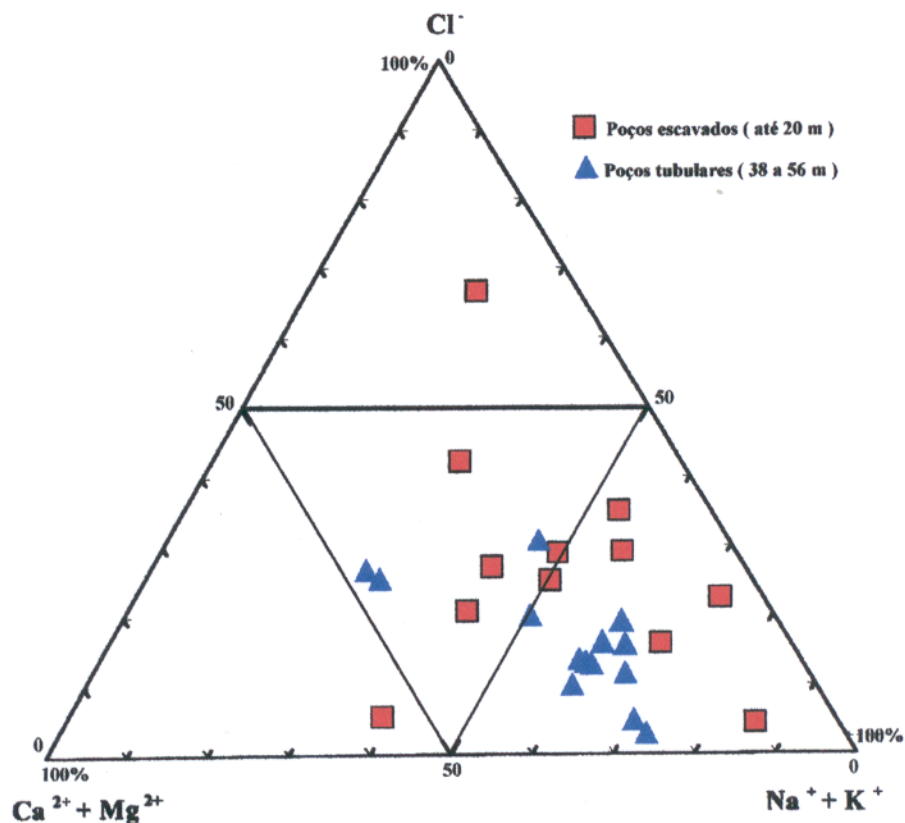


Figura 23 - Diagrama triangular mostrando a correlação $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) - \text{Cl}^- - (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ para águas subterrâneas da zona urbana de Porto Velho - RO.

O diagrama correspondente à Figura 24, que correlaciona $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) - \text{SO}_4^{2-} - (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$, mostra grupamentos de água de poços rasos e de poços profundos, todos com predominância do sódio, sendo que uma única amostra mais profunda e as amostras OLA37, LIB32 mostraram-se mais ricas em SO_4^{2-} .

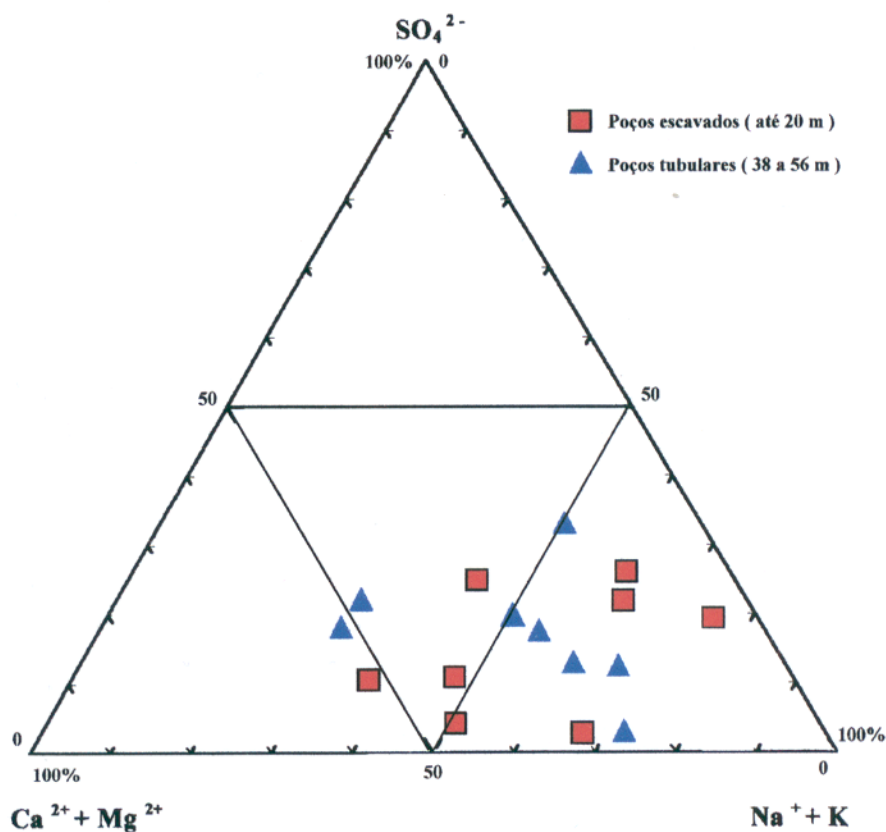


Figura 24 - Diagrama triangular mostrando a correlação $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) - \text{SO}_4^{2-} - (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ para águas subterrâneas da zona urbana de Porto Velho - RO

A Figura 25, que correlaciona $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) - \text{NO}_3^- - (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$, demonstra que tanto os poços rasos quanto os poços mais profundos formaram grupamentos mostrando uma predominância dessas águas em $\text{Na}^+ + \text{K}^+$. Apenas os poços JEL06, ODS04 e PRI13 se aproximaram do campo do $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$. Evidencia a pequena concentração de NO_3^- em relação ao $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ e ao $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, o que é natural, devido o NO_3^- não ser um dos constituintes principais na água.

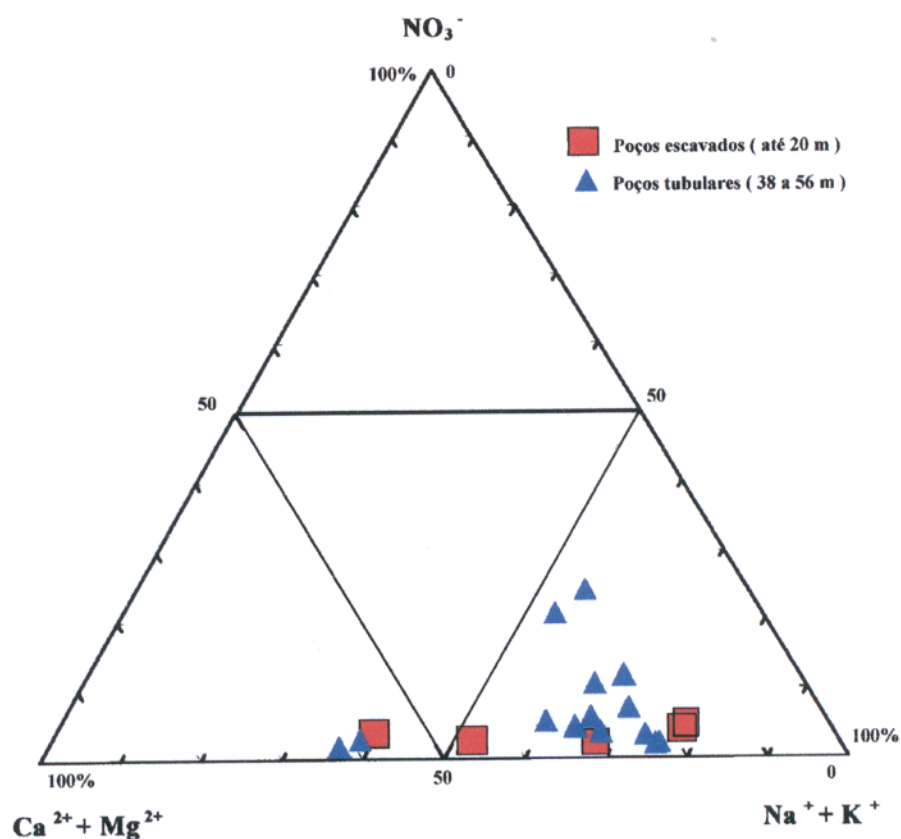


Figura 25 - Diagrama triangular mostrando a correlação $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) - \text{NO}_3^- - (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ para águas subterrâneas da zona urbana de Porto Velho - RO

Para a correlação Cl^- - SO_4^{2-} - NO_3^- , mostrada na Figura 26, observa-se uma forte tendência para a fácies Cl^- - SO_4^{2-} , embora tenham se registrado anomalias em poços rasos PRI13 e poços profundos SCR38 e SSE31.

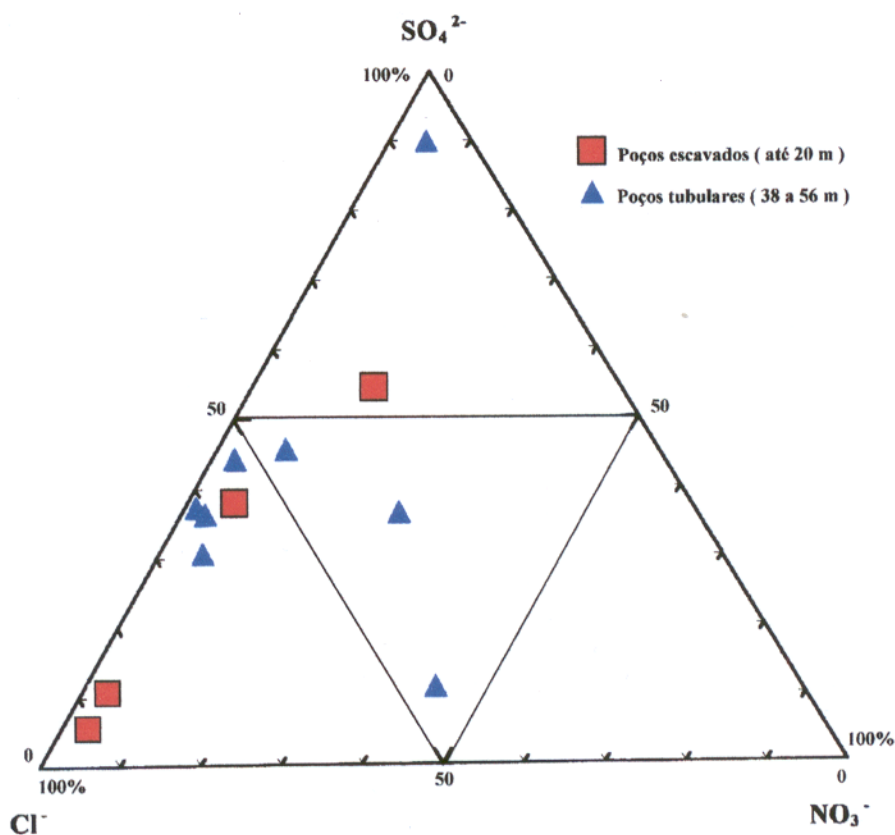


Figura 26 - Diagrama triangular mostrando a correlação Cl^- - SO_4^{2-} - NO_3^- para águas subterrâneas da zona urbana de Porto Velho - RO

Na fácies HCO_3^- - Cl^- - SO_4^{2-} , demonstrada no diagrama triangular (Figura 27), observa-se uma clara tendência das águas subterrâneas mais profundas para o campo do HCO_3^- , sendo que as águas mais rasas se apresentaram enriquecidas de Cl^- e SO_4^{2-} . Registrou-se apenas uma anomalia,

o poço IND01 que não seguiu o mesmo comportamento das águas dos poços mais profundos, mostrando-se extremamente pobre em Cl^- .

Este diagrama mostra claramente que as água subterrâneas da região de Porto Velho são do tipo bicarbonatadas. E de acordo com os gráficos anteriores há uma predominância de águas sódicas. Há também águas cálcicas e mistas.

Essas águas têm, portanto, como tipo predominante sódio-bicarbonatadas.

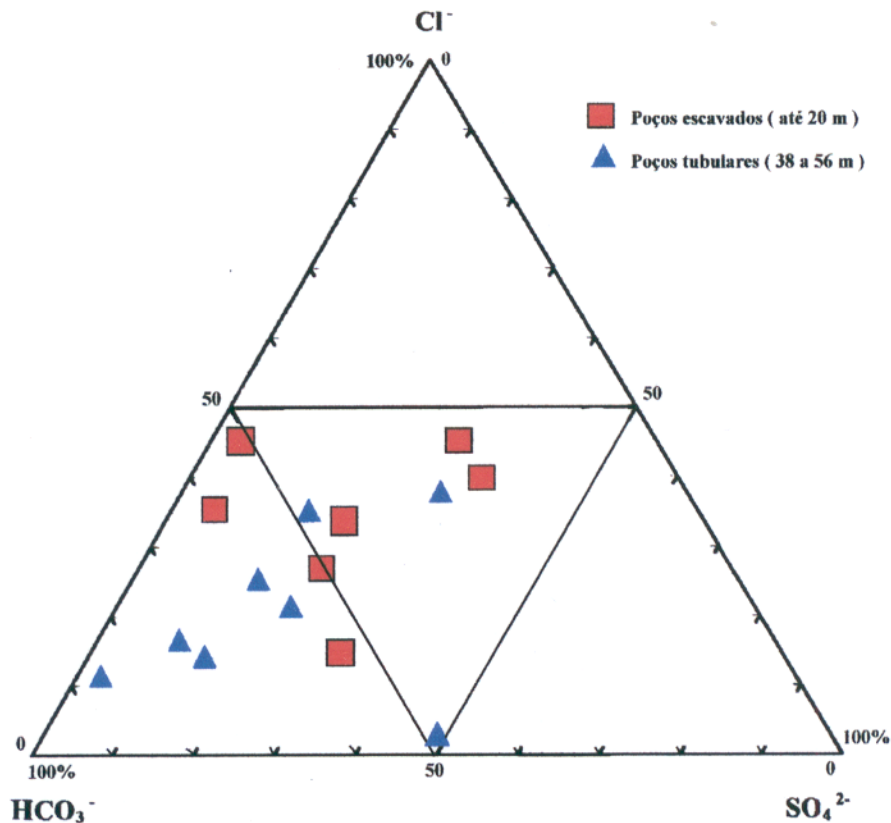


Figura 27- Diagrama triangular mostrando a correlação HCO_3^- - Cl^- - SO_4^{2-} para águas subterrâneas da zona urbana de Porto Velho - RO.

4.6.4. Diagrama Eh-pH para o campo do nitrogênio

O diagrama Eh-pH para a ocorrência de componentes do ciclo do nitrogênio, para as águas subterrâneas de Porto Velho- RO, representado pela Figura 28, mostra que as águas se encontram dentro da faixa característica das águas subterrâneas aeradas.

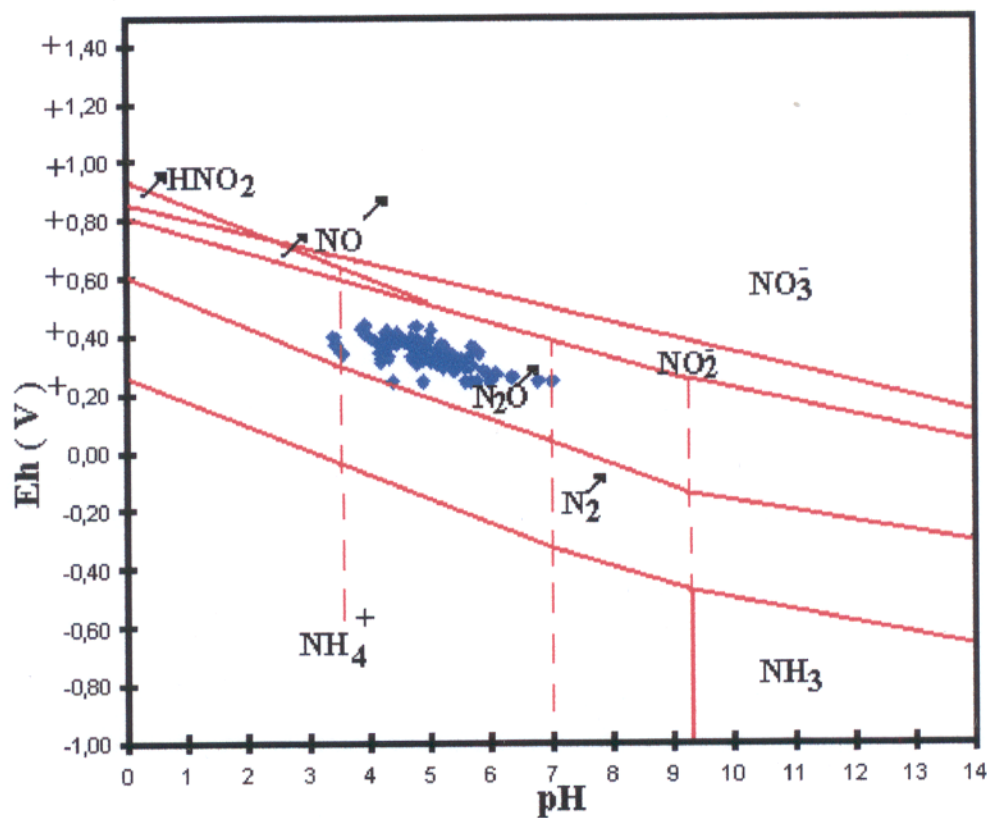


Figura 28 - Diagrama Eh - pH mostrando os campos de ocorrências dos componentes do ciclo do nitrogênio para águas subterrâneas da zona urbana de Porto Velho - RO (modificado de SZIKSZAY et. al., 1990).

As amostras analisadas apresentaram teores $<0,02$ ppm de amônia, coerentes com o pH do meio que é ácido. Conforme evidenciado no diagrama, NH_3 se forma a partir de pH alcalino (>9) e em condições redutoras, corroborando com ESTEVES (1988), que afirma que em pH básico o NH_4^+ se transforma em amônia (NH_3 livre, gasoso); teores relativamente elevados para o nitrito $0,2$ ppm em N; e teores médios para o NO_3^- de $1,22$ ppm em N.

Os resultados para os componentes do ciclo do nitrogênio $\text{NH}_3 - \text{NO}_2^- - \text{NO}_3^-$, mostram a evidência da contribuição do nitrogênio nessas águas, principalmente a possível oxidação do NO_2^- a NO_3^- . Os teores mais elevados foram encontrados nos poços ODS04, ODS05, ALP46, pertencentes ao aquífero mais profundo.

4.6.5. Tentativa de correlação entre alguns parâmetros geoambientais

Os gráficos das Figuras 29a e 29b, foram construídos com o objetivo de se fazer uma aproximação, tentando correlacionar os resultados das amostras analisadas com as diferentes profundidades com o perfil do poço perfurado na área de estudo, descrito por SOUSA (1986), e que seria representativo da geologia da região de Porto Velho.

Exemplo de trabalho assemelhado (correlação entre o perfil geológico e a composição química) foi feito por SZIKSZAY & TOLEDO-GROKE (1989), que estudaram a correlação da composição química das águas da zona não saturada com a mineralogia do perfil na cidade de São Paulo, e concluíram haver uma correlação entre as águas de percolação e a mineralogia dos sedimentos alterados no perfil; concluíram também que na parte superior do perfil, o clima é o fator predominante para as altas concentrações dos íons, devido à sucessiva evaporação-transpiração e que abaixo da linha de evaporação a concentração é baixa, devido, principalmente ao forte processo de lixiviação característico de climas subtropicais.

Assim, neste estudo as concentrações de cor, turbidez, condutância específica, sólidos totais dissolvidos, ferro total, ferro ferroso na Figura 29a e pH, cloreto, sulfato, oxigênio consumido, nitrito, nitrato na Figura 29b, mostraram uma correlação positiva entre si.

Observou-se que nas amostras coletadas da zona não saturada, correspondente aos aquíferos mais rasos (até 18 m), os valores lidos e as concentrações representadas pela linha A, foram mais elevadas. Nos aquíferos intermediários (18-38 m), onde ocorrem, geralmente, camadas argilosas que conferem uma certa defesa ao meio, devido aos processos de adsorção, houve um decréscimo dos valores desses parâmetros. Esses valores voltaram a se elevar, mostrando dois níveis de concentração: um teor mínimo, representado pela linha B, e um teor mais elevado, representado pela linha C (Figuras 29a e 29b).

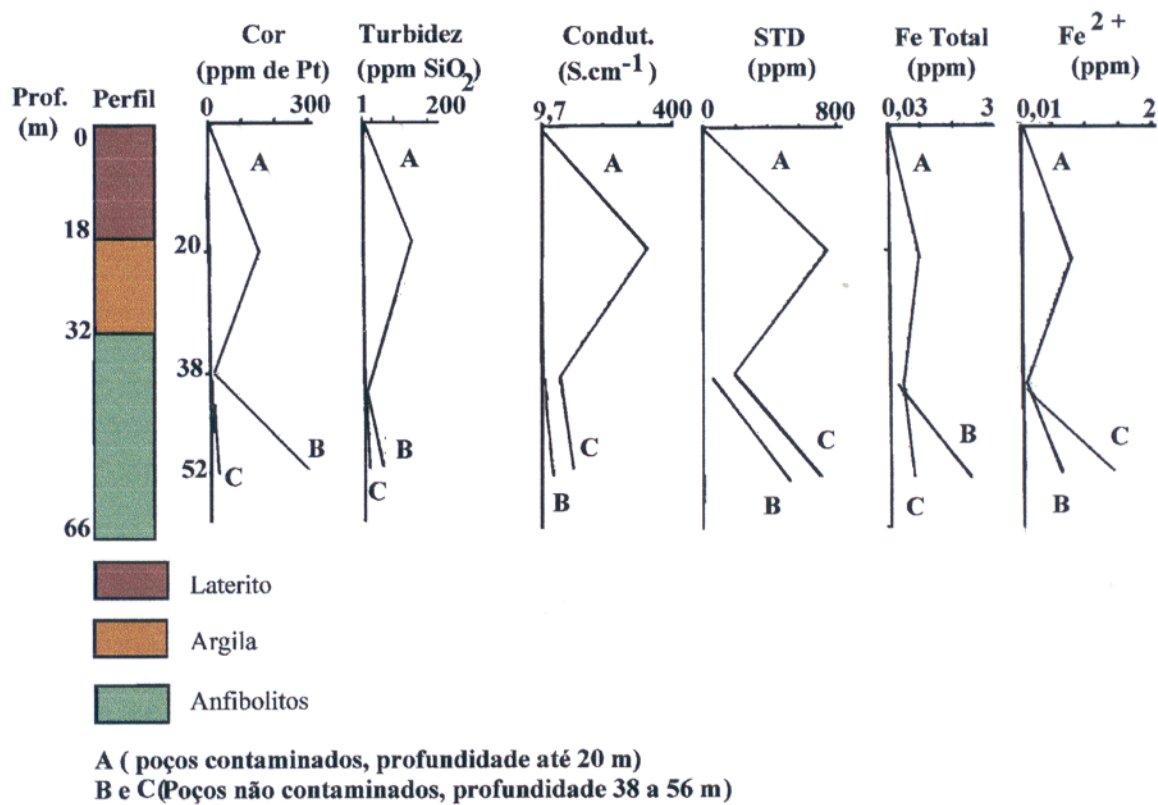
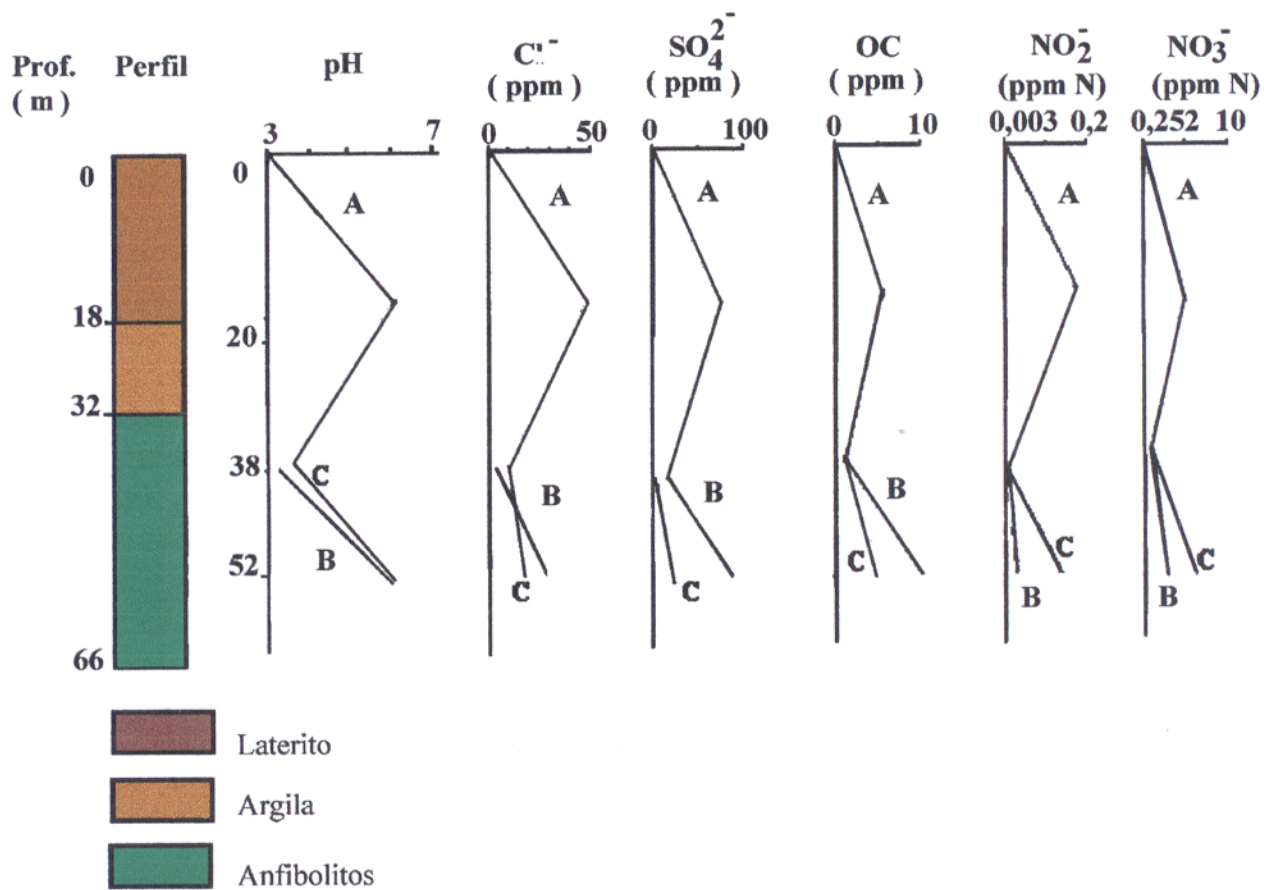


Figura 29a - Tentativa de correlação de parâmetros físico-químicos, químicos e geoambientais, de águas subterrâneas de Porto Velho com o perfil geológico característico da área, descrito por SOUSA (1986), a diferentes profundidades.



A (Poços contaminados, profundidade até 20 m)

B e C (poços não contaminados, profundidade 38 a 56 m)

Figura 29b - Tentativa de correlação de parâmetros físico-químicos, químicos e geoambientais, de águas subterrâneas de Porto Velho com o perfil geológico característico da área, descrito por SOUSA (1986), a diferentes profundidades.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados analíticos evidenciaram a caracterização e foram eficientes na avaliação de impacto ambiental causado por atividades antropogênicas na água subterrânea, resultante da contaminação química e bacteriológica. Teores de nitrato em alguns poços são indícios seguros de contaminação de fossas. A contaminação bacteriológica evidenciou-se pela utilização inadequada dos sistemas de despejos sanitários, dejetos de animais domésticos e de criação (aves e porcos, principalmente) às proximidades dos poços, perfuração e instalação inadequadas, poços situados muito próximos a fontes potenciais de poluição.

Os parâmetros analisados permitiram a caracterização da qualidade química da água subterrânea e sua interrelação com a geologia local.

A presença de coliformes totais nas águas pode estar associada às características do terreno, segundo sua vulnerabilidade, uma vez que a textura do solo influencia na capacidade de purificação do meio. Assim, é de se esperar que solos e terrenos subjacentes constituídos, predominantemente, de areia grossa e cascalhos, permitam uma percolação mais rápida, atingindo até mesmo as maiores profundidades.

No que diz respeito às suas características, os aquíferos com níveis de água pouco profundo, caracterizando áreas de inundação e umidade alta são mais vulneráveis à contaminação (ver anexo A3). Em épocas de pluviosidade mais intensa, o aquífero freático é afetado diretamente pela infiltração das águas superficiais e qualquer impacto antrópico é refletido, principalmente nas áreas de maior densidade populacional.

Diante da importância que representa as águas subterrâneas de Porto Velho na qualidade de vida da população, torna-se necessário a adoção de medidas que visem a proteção das mesmas, e nesse sentido são feitas as seguintes recomendações:

Devido ser este o primeiro trabalho que trata da qualidade das águas subterrâneas de Porto Velho, sabe-se que muito ainda falta ser estudado para que se tenha uma idéia mais clara dos processos que estão ocorrendo na área;

Há necessidade de se elaborar mapas potenciométricos e de vulnerabilidade, visando mostrar as áreas de maior recarga na área e o sentido do fluxo das águas subterrâneas, devendo servir em futuros estudos como orientação para o planejamento de uso e ocupação territorial ou para o Plano Diretor do Município, uma vez que poderão ser utilizados na gestão dos recursos hídricos subterrâneos;

As águas subterrâneas constituem fonte alternativa de abastecimento para a população de Porto Velho e assumem uma importância estratégica e vital para o suprimento do déficit de saneamento;

Considerando que em torno de 44% da população de Porto Velho não possui água tratada, e que a maioria dos hospitais, condomínios residenciais, escolas e milhares de residências se abastecem de água de poço, a nível individual ou como suprimento complementar, em função do sentimento de segurança, em termos de qualidade e da certeza de abastecimento contínuo, há necessidade de se elaborar uma legislação que discipline o uso dessas águas, que vêm sofrendo deterioração em função da ausência de saneamento básico adequado, densidade populacional crescente, poluição dos recursos hídricos superficiais e perfuração de poços sem qualquer critério técnico;

Portanto, torna-se necessária a formulação de uma Política Ambiental dos recursos hídricos subterrâneos, orientada pelo conceito de desenvolvimento sustentável, que promova a preservação, conservação e a exploração racional desses recursos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMY, A. & ROMANINI, S. 1990. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: Geologia da Região Porto Velho - Abunã**. Folhas Porto Velho (SC.20-V-B-V); Mutumparaná (SC.20-V-C-VI); Jaciparaná (SC.20-V-D-I); Abunã (SC.20-V-C-V). Estado de Rondônia e Amazonas. Brasília, DNPM/CPRM. 273 p.
- ALFAIA, S. S. 1988. Correlação entre capacidade de troca de cátions e outras propriedades de três solos da Amazônia Central. *Acta Amazônica*, 18 (3-4): 3 - 11.
- AMARAL FILHO, Z. P.; NEVES FILHO, J. A.; CUNHA, N. G. 1978. Pedologia. In: BRASIL. DNPM. Projeto RADAMBRASIL. 1978. **Folha SC.20 Porto Velho**; Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, Ministério das Minas e Energia, p 563 - 663. (Levantamento de recursos naturais, 16).
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. 1975. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 33. ed. Washington, D. C. APHA. AWWA. WPCF. 874 p.
- BRANCO, S. M. 1978. **Hidrologia aplicada à engenharia sanitária**. 2ª ed., São Paulo, CETESB.
- C. NETO, J. X.; LEITE, J. L.; ROCHA, V. C. 1980. Estudo das interações físico-químicas e biológicas da água de superfície com a água nativa no reservatório subterrâneo de Cocorobó - Bahia. *Rev. Águas Subterrâneas*. P 7 - 30.
- CETESB. 1978. **Normatização Técnica NT-07 Análise físico-química de águas**. São Paulo, Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental de São Paulo.

- CETESB. 1988. **Guia de coleta e preservação de amostras de água**. São Paulo - SP: CETESB. 150 p.
- CETESB. 1991. **Técnica de Análise Bacteriológica de Água: Tubos Múltiplos**. São Paulo - SP. 131 p.
- CLARCK, R. T. & COOPER, E. M. 1987. Water recyncling as stochastic process. *Acta Amazônica*, 26/17 (único): 239 - 252.
- CORRÊA, A. C. S. S. & CASARA, E. F. M. 1994. **Saneamento Básico no Estado de Rondônia - "Diagnóstico e Propostas"**. Porto Velho, CAERD. 75 p.
- COSTA, E da. 1986. **Relatório de serviços geotécnicos realizados em terrenos da IDEAL ELETROMÓVEIS**. Porto Velho, CPRM.
- CPRM. 1978a. **Relatório de conclusão do poço PV-01-RO**. Porto Velho, CPRM/DNPM.
- CPRM. 1978b. **Projeto prospecção de águas subterrâneas no T. F. de Rondônia: parecer técnico do poço na usina de leite em Porto Velho - RO**. Porto Velho, CPRM/Governo do Estado de Rondônia.
- CUSTODIO, E. & LLAMAS, M. R. 1976. **Hidrología Subterránea**. Barcelona, Ômega. 3123 p. Tomo I e II.
- DAVIS, S. N. & WIEST, R. J. M. 1971. **Hidrogeologia**. Edições Briel, Barcelona. 563 p.
- DIRETORIA DE SERVIÇO GEOLÓGICO. 1980. **Folha SC.20-V-B-V Porto Velho**, 1ª ed., Ministério do Exército, RJ. Escala 1:100.000.
- DREVER, J. I. 1988. **The Geochemystry of Natural Waters**. 2. ed. New Jersey, Prentice Hall. 437 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, Brasília-DF. 1979. **Manual de métodos de análises**. Rio de Janeiro.

- ENGEO - Engenharia e Geologia Ind. e Com. Ltda. 1988. **Projeto de conclusão de poço tubular no conjunto Antares**. Porto Velho.
- ESTEVES, F. A. 1988. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro, FINEP. 575 p.
- FOSTER, S. S. D. & HIRATA, R. 1991. **Determinacion del riesgo de contaminacion de águas subterrâneas - una metodologia basada en datos existentes**. 2. ed. rev. Lima - Peru.
- FREEZE, A. & CHERRY, J. A. 1979. Groundwater contamination. **Groundwater**, 383 - 456, New Jersey, Prentice-Hall.
- FREIRE, E. M. S.; SÉCHET, P.; LEPRUN, J. C.; 1990. Valorização de dados de solos na região amazônica brasileira. In: PRIMEIRO SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE ESTUDOS AMBIENTAIS EM FLORESTAS TROPICAIS ÚMIDAS. **FOREST' 90**. p 479 - 483.
- GAUDETTE, H. E.; FLIGHT, W. R.; TONER, L.; FOLGER, D. W. 1974. An experepressive titration method for the determination of carbon organic in recent sediments. **Journal of Sedimentary Petrology**, 1(44): 249-253.
- GAUDY Jr., A. F. & GAUDY, E. T. 1988. **Elements of Bioenvironment Engineering**. San Jose, Engineering Press. 592 p.
- GUIMARÃES, G. de A.; BASTOS, J. B.; LOPES, E. C. 1970. **Métodos de análise física, química e instrumental de solos**. Belém, IPEAN. 112p. il.
- HASHIAMOTO, S.; SUN, H. Y.; NAKAMURA, T.; NOJIRI, Y.; OTSUKI, A. 1993. Seasonal variations in dissolved nitrous oxide concentrations in a eutrophic shallow lake without anaerobic layer. **Geochemical Journal**, (27): 117 - 123.
- HEM, J. D. 1970. **Study and Interpretation of the chemical characteristics of natural waters**. US. Geol. Surv. Water-Supply, paper 1473. 363 p.

- IMHOFF, K. & IMHOFF, K. R. 1986. **Manual de Tratamento de Águas Residuárias**. São Paulo, Edgard Blucher. 301 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. 1991. **Censo demográfico; Resultados do universo relativo às características da população e dos domicílios**. Rondônia. Rio de Janeiro. Nº 2, 114 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. 1996. **Censo demográfico; População residente por unidade da federação e municípios das capitais - Contagem da população**. Rio de Janeiro, 1991.
- JUNK, K. W. J. 1980. Áreas inundáveis - um desafio para a limnologia. *Acta Amazônica*, 10 (40): 775 - 795.
- JUNK, K. W. J. & FURCH, K. 1980. Química da água e macrófitas aquáticas de rios e igarapés da Bacia Amazônica e nas áreas adjacentes. *Acta Amazônica*, 10 (30): 611 - 633.
- KOMOR, S. C. & ANDERSON, Jr. H. W. 1993. Nitrogen isotopes as indicators of nitrate sources in Minnesota sand plain aquifers. *Groundwater*, 31 (2) : 260 - 270.
- KRAUSKOPF, K. B. 1972. **Introdução à geoquímica**. Tradução por Michel Lando, São Paulo, Polígono. 2V. 294 p.
- LEAL, J. W. L.; SILVA, G. F.; SANTOS, D. B dos.; TEXEIRA, W.; LIMA, M. I. C de.; FERNANDES, C. A. C.; PINTO, A. do C. 1978. Geologia. In: BRASIL. DNPM. Projeto RADAMBRASIL. 1978. **Folha SC.20 Porto Velho.**; Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, Ministério das Minas e Energia, p17-184. (Levantamento de recursos naturais, 16).
- LEME, F. P. 1982. **Engenharia do saneamento ambiental**. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos. 354p.

- LEPRUN, J. C.; SANTOS, R. D.; CERRI, C. C. 1989. Composição das águas de percolação de solos do Estado de Rondônia. **Geochimica Brasiliensis**, 3 (1): 23 - 31.
- LEVINSON, A. A. 1974. **Introduction to exploration geochemistry**. Calgary, Applied Public. 612 p.
- LEWIS, W. J.; FOSTER, S. S. D.; DRASAR, B. S. 1988. Analisis de contaminacion de las aguas subterrneas por los istemas de saniamiento basico. Lima-Peru, CEPIS/OPS/OMS.
- LIMA, W. N. & KOBAYASHI, C. N. 1988. Sobre o quimismo predominante nas águas do sistema flúvio-estuarino de Barcarena -PA. **Geochimica Brasiliensis**, 2 (1) : 53 - 71.
- LIMA, W. N.; RODRIGUES, M. D. R.; OLIVEIRA, J. L. R. 1983. Estudo sobre o conteúdo mineralógico de argilas por difratometria de raios X e análise térmica diferencial - Amostras de Mosqueiro (PA). In: ENCONTRO DOS PROFISSIONAIS DE QUÍMICA DA AMAZÔNIA, 4., Belém, 1983. **Anais**. Belém, Falângola. P 155 - 176.
- LIU, L. 1982. Distribution of the chemical elements in the earth with some implications. **Geochemical Journal**, (16) : 179 - 198.
- LIVINGSTONE, D. A. 1963. **Chemical composition of rivers and lakes**. Washington, US. Gov. Print. Off. 64 p.
- MALAVOLTA, E. 1976. **Manual de química agrícola - nutrição de plantas e fertilidade do solo**. São Paulo, Editora Agronômica CERES. 528p.
- MATTHESS, G. 1982. **The properties of groudwater**. New York, John Wiley & Sons. 406 p.
- MELLO, F. A. F. et al. 1984. **Fertilidade do solo**. 2 ed. São Paulo, Nobel, 399 p.

- MELO, D. P.; COSTA, R. C. R. da.; NATALI FILHO, T. 1978. Geomorfologia. In: BRASIL. DNPM. Projeto RADAMBRASIL. 1978. **Folha SC.20 Porto Velho.**; Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, Ministério das Minas e Energia, p185-250. (Levantamento de recursos naturais, 16).
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. 1990. Portaria Nº 36, de 19 de janeiro de 1990. **Normas e Padrões de Potabilidade da água destinada ao Consumo Humano.** Brasília - DF. 11 p.
- MONIZ, A. C. 1975. **Elementos de Pedologia.** Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos. 460p.
- MORAIS, S. M. 1979. **Relatório do Poço 08 - PV - 06 - RO.** Porto Velho, CPRM.
- MOREIRA - NORDEMANN, L. M. 1987. Geoquímica e o meio ambiente. **Geochimica Brasiliensis**, 1(1): 89 - 107.
- MOREIRA - NORDEMANN, L. M. & REBOUÇAS, A. C. 1986. Comportamento geoquímico de íons em águas de chuva e subterrânea. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 4., Brasília, 1986. **Anais.** Brasília, p 221 - 236.
- MORTATTI, J. 1988. **Estudo das alterações ecológicas na região Noroeste do Brasil em função da colonização intensiva;** Relatório de pesquisa. Brasília: CNPq, Assessoria Editorial. 87 p.
- MOTA, S. 1988. **Preservação de Recursos Hídricos.** Rio de Janeiro: ABES. 222 p.
- MOURA, U. F. **Poço 11PV-11RO;** Relatório Final. Porto Velho, CPRM.
- OLIVEIRA, J. R. D. 1992. **Sistema de Abastecimento de água no bairro Ulisses Guimarães;** Relatório de poços tubulares - poços P1-P2-P3- P4. Porto Velho, J. R. D. **POÇOS ARTESIANOS E REPRESENTAÇÕES.**

- ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE (OPAS) E FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. 1978. **Águas subterrâneas e poços tubulares**. Curitiba. 392 p.
- PACHECO, A. & REBOUÇAS, A. C. 1985. Aspectos de proteção sanitária dos poços tubulares no município de São Paulo. **Revista Águas Subterrâneas**, 9 : 51 - 58.
- PACHECO, A. 1986. Os cemitérios como risco potencial para as águas de abastecimento. **SPAM**, 17: 128 - 134.
- PARISOT, E. H. et al. 1985. Monitoramento das águas subterrâneas adjacentes ao aterro sanitário de Taubaté (SP) - primeiros resultados. **Bol. IG - USP**, série científica, 16 : 32 - 45.
- PEREIRA, L. A.; SILVA, E. P da. REIS, M da. SILVA. 1996. **Mapa de áreas inundáveis e de umidade elevada**. Porto Velho. Escala 1:50.000.
- PESSENDA, L. R. R.; FERREIRA, J. R.; TANCREDI, A.C. F. N. S.; MARTINELLI, L. A.; HIRATA, R.; MORTATTI, J. 1986. Caracterização química das águas de alguns rios do Estado de Rondônia. **Acta Limnol. Brasil**, 1 : 179 - 199.
- RAIJ, B. V. 1981. **Avaliação da fertilidade do solo**. São Paulo, Instituto da Potassa & Fósforo (EUA e SUIÇA). 136 p.
- SANTOS, P. S. 1975. **Tecnologia das argilas**. V 1 - Fundamentos. São Paulo, Edgard Blücher.
- SANTOS, U. M.; BRINGEL, S. R. B.; RIBEIRO, M de N. G.; SILVA, M de N. P. 1985. Rios da Bacia Amazônica: 2. Os afluentes do rio Negro. **Acta Amazônica**, 14 (1-2): 222 - 237.
- SAWYER, C. N. & McCARTY, P. L. 1978. **Chemistry for Environmental Engineering**. 3 ed. New York, McGraw - Hill, 535 p.
- SCHOELLER, H. 1962. **Les eaux souterraines**. Masson, Paris. 237 p.

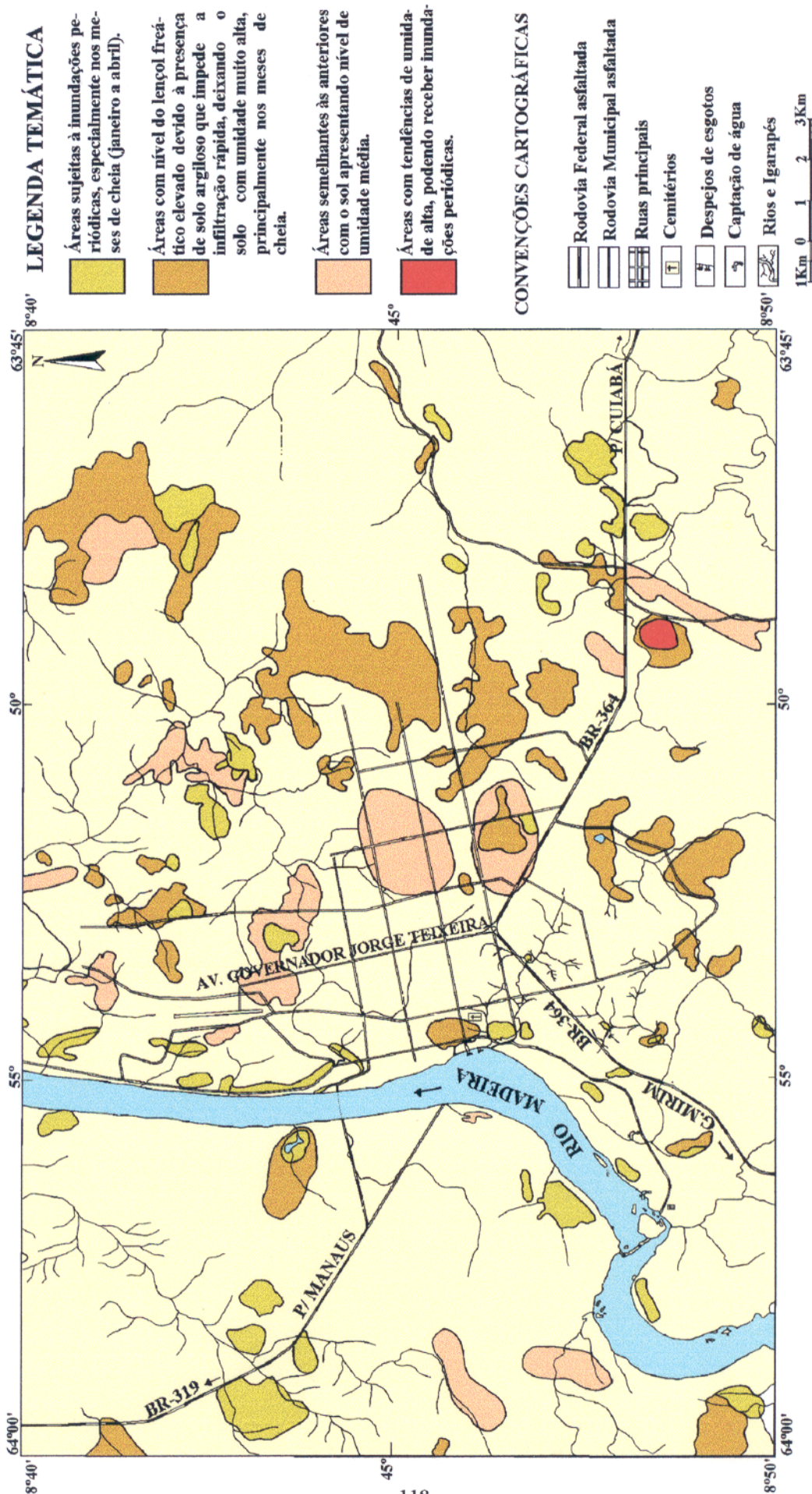
- SILVA, G. M. 1986. **Poço 043/ENTEC/86**; Relatório de conclusão de poço. Porto Velho, ENTEC.
- SILVA, G. M. 1988. **Poço 016/ENTEC/88**; Relatório de conclusão de poço tubular. Porto Velho, ENTEC.
- SILVA, J. F. B. R. 1992. **Estudo hidrogeoquímico das regiões de Salobo e Pojuca - Carajás (PA)**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 151p. Tese (Mestrado em Geoquímica) - Curso de Pós-Graduação em Geoquímica, Centro de Geociências, UFPA, 1990.
- SILVA, S. B.; SILVA, M. T. M.; SILVA, F. C. F.; COSTA, E. P. Vegetação. In: BRASIL. DNPM. Projeto RADAMBRASIL. 1978. **Folha SC.20 Porto Velho**; Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, Ministério de Minas e Energia, p 413 - 562. (Levantamentos de recursos naturais, 16).
- SIOLI, H. 1949. O rio Cupari - I. Topografia e Hidrografia. **Bol. Téc. Inst. Agr. Norte**, Belém (17): 37 - 91.
- SIOLI, H. 1957. Valores de pH em águas amazônicas. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi: nova série geologia**, Belém (1): 1 - 37.
- SIOLI, H. 1967. Studies in Amazonian Waters. In: SIMPÓSIO SOBRE A BIOTA AMAZÔNICA, 3., 1967. **Atas**. p 9 - 50.
- SIOLI, H. 1968. Hydrochemistry and geology in the Brazilian Amazon Region. **Amazoniana**, 1 (3): 267 - 277.
- SIOLI, H. & KLINGE, H. 1962. Solos, tipos de vegetação e águas na amazônia. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Avulsa**, Belém. (1): 27 - 41.

- SOUSA, R. S. 1986. **Poço 3PV-18-RO; Relatório Final..** Porto Velho, CPRM.
- SOUSA, R. S. & SCANDOLARA, J. E. 1994. **Poço 03PV-21-RO; Relatório Final.** Porto Velho, CPRM.
- STALLARD, R. F. 1980. **Major element geochemistry of the Amazon River System.** Tese (Doutorado). Woods Hole Oceanographic Institute, Massachusetts. 365 p. 1980.
- STALLARD, R. F. 1981. Geochemistry of the Amazon. 1. Precipitation chemistry and themarine contribution to the dissolved load at the time of peak discharge. **Journal of Geophysical Research**, 86 (C10) : 9844 - 9858.
- STALLARD, R. F. & EDMOND, J. M. 1983. Geochemistry of the Amazon. 2. Influence of geology and watering environment on the dissolved load. **Journal of Geophysical Research**, 88 (C14): 9671 - 9688.
- STALLARD, R. F. & EDMOND, J. M. 1987. Geochemistry of the Amazon. 3. Watering chemistry and limits to dissolved inputs. **Journal of Geophysical Research**, 92 (C 8): 8293 - 8302.
- SZIKSZAY, M. 1980. Avaliação da qualidade das águas subterrâneas - uma metodologia aplicada nas regiões do vale do Paraíba e Ribeirão Preto - Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Águas Subterrâneas**, 2 (91) : 26 - 32.
- SZIKSZAY, M. 1993. Geoquímica das águas. **Boletim IG-USP, Série Didática**, São Paulo. (5) : p 1 - 166.
- SZIKSZAY, M. & TEISSEDRE, J. M. 1977. Análise hidrogeoquímica preliminar das fontes dos arredores da Bacia São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, (7) : 32 - 44.
- SZIKSZAY, M. & TEISSEDRE, J. M. 1978. Análise hidrogeoquímica preliminar das fontes da Região de Águas de Lindóia. **Revista Brasileira de Geociências**, (8) : 235 - 248.

- SZIKSZAY, M. & TOLEDO - GROKE, M. G. 1989. Correlation of the chemical composition of water from the unsaturated zone with the mineralogy of a profile on the São Paulo Basin, Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WATER/ROCK INTERACTION, 6., Malvern, 1989. Malvern, U.K., p 669 - 672.
- SZIKSZAY, M.; KIMMELMANN, A. A.; HYPOLITO, R.; FIGUEIRA, R. M.; SAMESHIMA, R. H. 1990. Evolution of the chemical composition of water passing through the unsaturated zone to groundwater at an experimental site at the university of São Paulo, Brazil. **Journal of Hidrology**, 118 : 175 - 190.
- TAN, K. H. 1982. **Principles of soil chemistry**. New York. Marcel Kerrer, Inc. 267 p.
- VILLAS BOAS, C. R. 1989. **Relatório de conclusão de poço no conjunto Buritis**. Porto Velho.
- VILLAS BOAS, C. R. 1990. **Poço no Conjunto COHAB (PBS11); Relatório final**. Porto Velho.
- VILLAS BOAS, C. R. 1991. **Conjunto COHAB Floresta III - Poço PBS 12; Relatório de poço tubular profundo**. Porto Velho.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). 1978. **Project on Global Water Quality Monitoring - Operational Guide**. Geneva. 339 p.

ANEXOS

Anexo A3 - Mapa de áreas inundáveis e umidade elevada (modificada de PEREIRA et al., 1996).



Anexo B1 - Embasamento cristalino aflorante no leito do rio Madeira (Granito Tipo Serra da Providência/Macizo Santo Antônio), 2 Km a montante da área estudada.



Anexo B2 - Sedimentos aluviais recentes depositados no leito do rio Madeira, em Porto Velho - RO.



**Anexo C1 - Cadastro de poços rasos e tubulares amostrados na zona urbana de
Porto Velho (RO)**

Poço N°	Endereço	Prof (m)
IND01	Bairro Setor Industrial - Rua Circular III S/N	56
PED02	Bairro Pedacinho do Chão - Av. Presidente Dutra com Rua Pio XII	52
NPV03	Bairro Nova Porto Velho - Av. Sete de Setembro com Rua Panamá	52
ODS04	Conjunto Odacir Soares II- PBS17, Rua 04 com Rua Jatuarana	48
ODS05	Conjunto Odacir Soares I - PBS14, Rua 07 entre Rua 20 e Rua Aroeira	48
JEL06	Conjunto Mamoré - PBS08, Rua A entre Rua C25 e Rua C27	45
RIC07	Conjunto Rio Candeias, Rua C27	48
LIB08	Bairro Liberdade - Rua José Camacho com Governador Jorge Teixeira, 2361	38
NSG09	Bairro Nossa Sra. Das Graças - Rua Jacy Paraná entre Av. Guanabara e Rua João Goulart	42
CAL10	Bairro Caladinho - Rua Bom Jesus	46
CHN11	Conjunto Chagas Neto - Rua dos Coqueiros , 100	11
CHN12	Rua dos Coqueiros, 88 - Conjunto Chagas Neto	12
PRI13	Conjunto Jardim Primavera - Rua N, Quadra 21, Lote 14	18
AMC14	Bairro Agenor Magalhães de Carvalho - Av. Amazonas, 4570	12
CMR15	Conjunto Marechal Rondon - Rua Barbados, 430	12
NAC16	Bairro Nacional - Av. Lauro Sodré sub-esquina com Av. Costa e Silva	42
COH17	COHAB Floresta II - Rua Malva s/n	12
COH18	COHAB Floresta III - Rua Malva, 173	13
QJA19	Conjunto 4 de Janeiro - Rua Henrique Souro, 44	11

**Anexo C1 - Cadastro de poços rasos e tubulares amostrados na zona urbana de
Porto Velho (RO)**

Poço N°	Endereço	Prof (m)
ODS20	Conjunto Odacir Soares - Rua Jatuarana, 470, Qd 26	15
CHN21	Conjunto Chagas Neto - PBS19, Rua 07 entre Rua Sucupira e Rua Jatuarana	52
CHN22	Conjunto Chagas Neto - PBS20, Rua 20 esquina com Rua 08	52
JEL23	Bairro Jardim Eldorado - PBS41, Rua Nova República com Rua Tamareira	48
JEL24	Bairro Jardim Eldorado - PBS42, Rua Tamareira entre Rua Curitiba e Rua Nova República	48
PRI25	Bairro Primavera - Conjunto Jamari - PBS06, Rua 05	50
CUN26	Bairro Cuniã - Conjunto Buritis -PBS 43	48
CUN27	Bairro Cuniã - Conjunto Antares - Rua 21 com Rua 03	48
JEL28	Jardim Eldorado II - Rua das Rosas, 2070	13
JEL29	Jardim Eldorado - Rua Curitiba, 1458	12
CEN30	Centro - Rua Júlio de Castilho, 874	15
SSE31	Bairro São Sebastião - Estrada do Terminal dos Milagres, 400	38
LIB32	Bairro Liberdade - Av. Pe. Ângelo Cerri, 2675	13
MOM33	Bairro Moreira Mendes - Rua 04, 121,	07
CAL34	Bairro Caladinho - Rua Roraima s/n	13
CAL35	Bairro Caladinho - Rua Roraima, 3525 entre rua 19 e Rua Miguel Calmom	12
TUC36	Bairro Tucumanzal - Rua Princesa Isabel, 2167	11
OLA37	Bairro Olaria Av. Joaquim Araújo de Lima, 908	11
SCR38	Bairro São Cristovão - Av. Getúlio Vargas, 2643	48
AMC39	Bairro Agenor Magalhães de Carvalho - Rua Paraguai, 315	12

**Anexo C1 - Cadastro de poços rasos e tubulares amostrados na zona urbana de
Porto Velho (RO)**

Poço N°	Endereço	Prof (m)
NOC40	Bairro Nova Caiari - Rua César Guerra Peixe, 216	11
MFR41	Bairro Marcos Freire - Rua Petrolina com Rua Quirinópolis	12
SFR42	Bairro São Francisco Rua Manicoré, 621	11
CEN43	Centro - Av. Sete de Setembro, 2157	48
SFR44	Bairro São Francisco Rua Nova, s/n	12
UIR45	Bairro Uirapuru - Rua 14 casa 22	13
ALP46	Bairro Alphaville - Rua 10 com Rua 03	42
CES47	Bairro Costa e Silva - Rua Beira Rio, 80	13
JAM48	Bairro Jamari - Rua Alameda Mourão, 120	42
IPN49	Bairro Ipase Novo - Av. Lauro Sodré, 1799	18
VTU50	Vila Tupy - Rua Ajuricaba, 767	12
LIB51	Bairro Liberdade - Av. Gov. Jorge Teixeira sub-esquina com R. José Camacho	52
NAC52	Bairro Nacional - Rua Wanderlei Dantas, 110	13
CEN53	Centro - Rua Rafael Vaz e Silva, 1663 com Rua Afonso Pena	46
TUC54	Bairro Tucumanzal - Rua 06, casa 25 entre rua Goiás e Av. Campos Sales	16
ALP55	Bairro Alphaville - Rua 08, 300	42
STA56	Conj. Santo Antônio - Rua Francisco Filho, N° 31, Qd 07	38
NAC57	Bairro Nacional - Rua Nova Esperança, 693	12
TRI58	Bairro Triângulo Rua Rio Machado, 350	42
SCR59	Bairro São Cristóvão - Rua Herbert de Azevedo, 1705	45
CAL60	Bairro Caladinho - Rua Bom Jesus, s/n	09
CEN61	Centro - Rua Quintino Bocaiúva, 1078	12
STB62	Bairro Stª Bárbara - Rua Almirante Barroso c/ José de Alencar	38

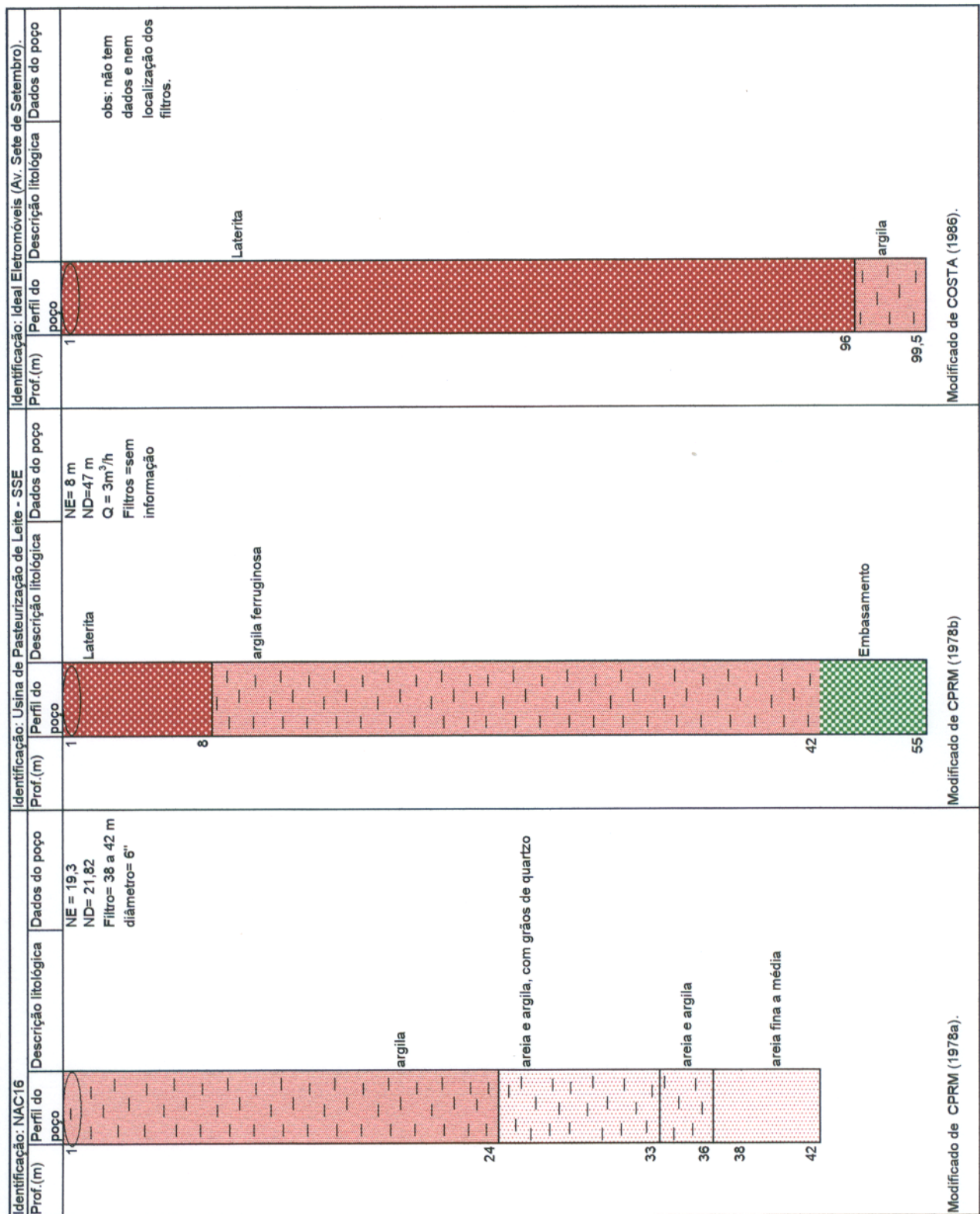
**Anexo C1 - Cadastro de poços rasos e tubulares amostrados na zona urbana de
Porto Velho (RO)**

Poço Nº	Endereço	Prof (m)
COH63	COHAB Floresta - Rua Erva Cidreira, 86	38
CMR64	Conjunto Marechal Rondon - Rua Osvaldo Lacerda, s/n	12
PED65	Bairro Pedrinhas - Rua Jamari, 716 com Rua Pe. Ângelo Cerri	10
NFL66	Bairro Nova Floresta - Rua das Cerejeiras, 921	11
RMA67	Bairro Rio Madeira - Rua Rio Madeira, s/n	10
AMC68	Bairro Agenor Magalhães de Carvalho - Rua 02,.69	10
PED69	Bairro Pedacinho de Chão - Rua Ângelo Cerri, 4557	48
SAT70	Conjunto Stº Antônio - Rua Álvaro Dantas Paraguassú, 25	30
CEN71	Centro - Rua Pedro II, 1710	42
QJA72	Conjunto 4 de Janeiro - Rua I, 466	12
ARI73	Bairro Arigolândia - Rua Major Amarante com Rua Pe. Chiquinho	13
AMC74	Bairro Agenor Magalhães de Carvalho - Rua Rio de Janeiro (Condomínio)	42
TUC75	Bairro Tucumanzal - Rua 06, entre Rua Goiás e Av. Campos Sales	12
STA76	Conjunto Stº Antônio - Rua José Ferreira Sobrinho	48
TNE77	Bairro Tancredo Neves - Rua Alexandre Guimarães, 5599 entre Rua 10 e Rua 11	13
EMB78	Bairro EMBRATEL - Rua Manoel Laurentino de Souza, 2272	40
NHO79	Bairro Novo Horizonte - Rua Rio Grande do Sul, 613	17
COH80	COHAB II - PBS12, Rua São João	60
FPP81	Bairro Flodoaldo Pontes Pinto - Av. Rio Madeira com Av. José Vieira Caúla	42

**Anexo C1 - Cadastro de poços rasos e tubulares amostrados na zona urbana de
Porto Velho (RO)**

Poço N°	Endereço	Prof (m)
AMC82	Bairro Agenor Magalhães de Carvalho - Rua Panamá, 364	38
NSG83	Bairro Nossa Sra. das Graças - Rua Raimundo Cantuária, 2040	11
SSE84	Bairro São Sebastião - Estrada do Terminal dos Milagres	48
COH85	COHAB II - PBS11, Rua São João	
CUN86	Bairro Cuniã - Conjunto Samaúma	45

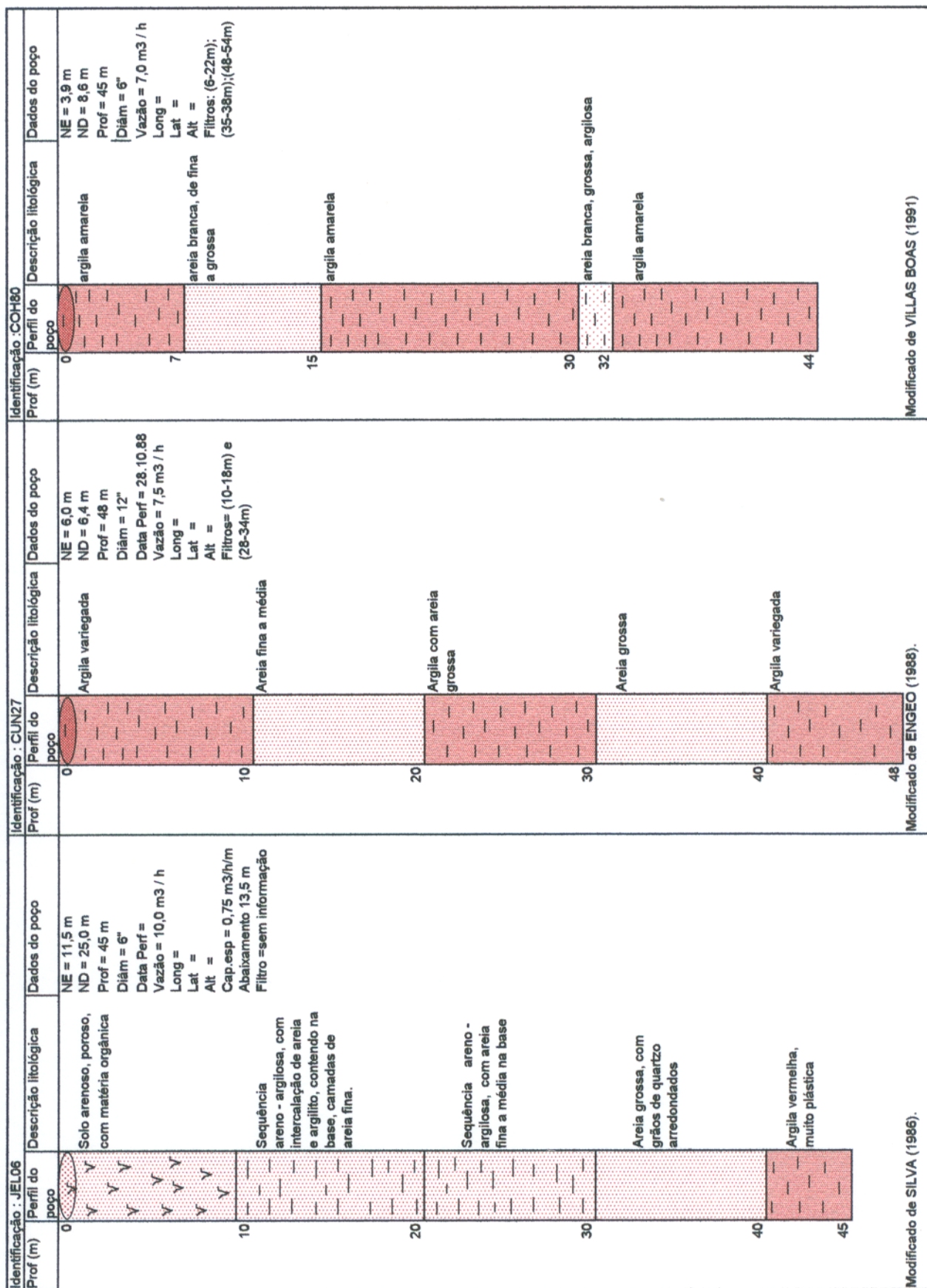
Anexo C2 - Perfis de poços tubulares perfurados na área estudada, que possibilitaram um melhor entendimento da geologia de Porto Velho - RO.



Anexo C2 - Perfis de poços tubulares perfurados na área estudada, que possibilitaram um melhor entendimento da geologia de Porto Velho - RO.

Identificação: Poço no Bairro Ulisses Guimarães			Identificação: COHAB PBS11			Identificação: COH85		
Prof. (m)	Descrição litológica	Dados do poço	Prof. (m)	Descrição litológica	Dados do poço	Prof. (m)	Descrição litológica	Dados do poço
1	argila variegada	NE= 8,2 m ND= 28,05 m Q = 26,5m ³ /h Filtros= (11 a 16 m); (24 a 28m);(32 a 35m) (40 a 45m)	1	argila	NE=9,0m ND=45m Q= 5 m ³ /h Filtro=(35-39m); (43-47m);(51-57m)	1	argila	NE=2,8 ND=9,2 Q=11,3 m ³ /h filtros=(12-25m); (29-34);(36-40)
6	areia fina a média		8	argila		14	argila	
11	areia argilosa		15	areia fina a média		19	areia argilosa	
14	areia grossa			argila			argila amarela	
16	argila variegada		35	argila		28	argila amarela	
18	areia, com níveis argilosos		39	areia		30	Laterita hidromórfica	
21			43	argila			argila siltosa vermelha	
32	areia média a grossa		59	argila e areia		45	argila siltosa vermelha	
45	argila variegada		60	embasamento				
Modificado de OLIVEIRA (1992).			Modificado de SOUSA & SCANDOLARA (1994)			Modificado de VILLAS BOAS (1990).		

Anexo C2 - Perfis de poços tubulares perfurados na área estudada, que possibilitaram um melhor entendimento da geologia de Porto Velho - RO.



Modificado de SILVA (1986).

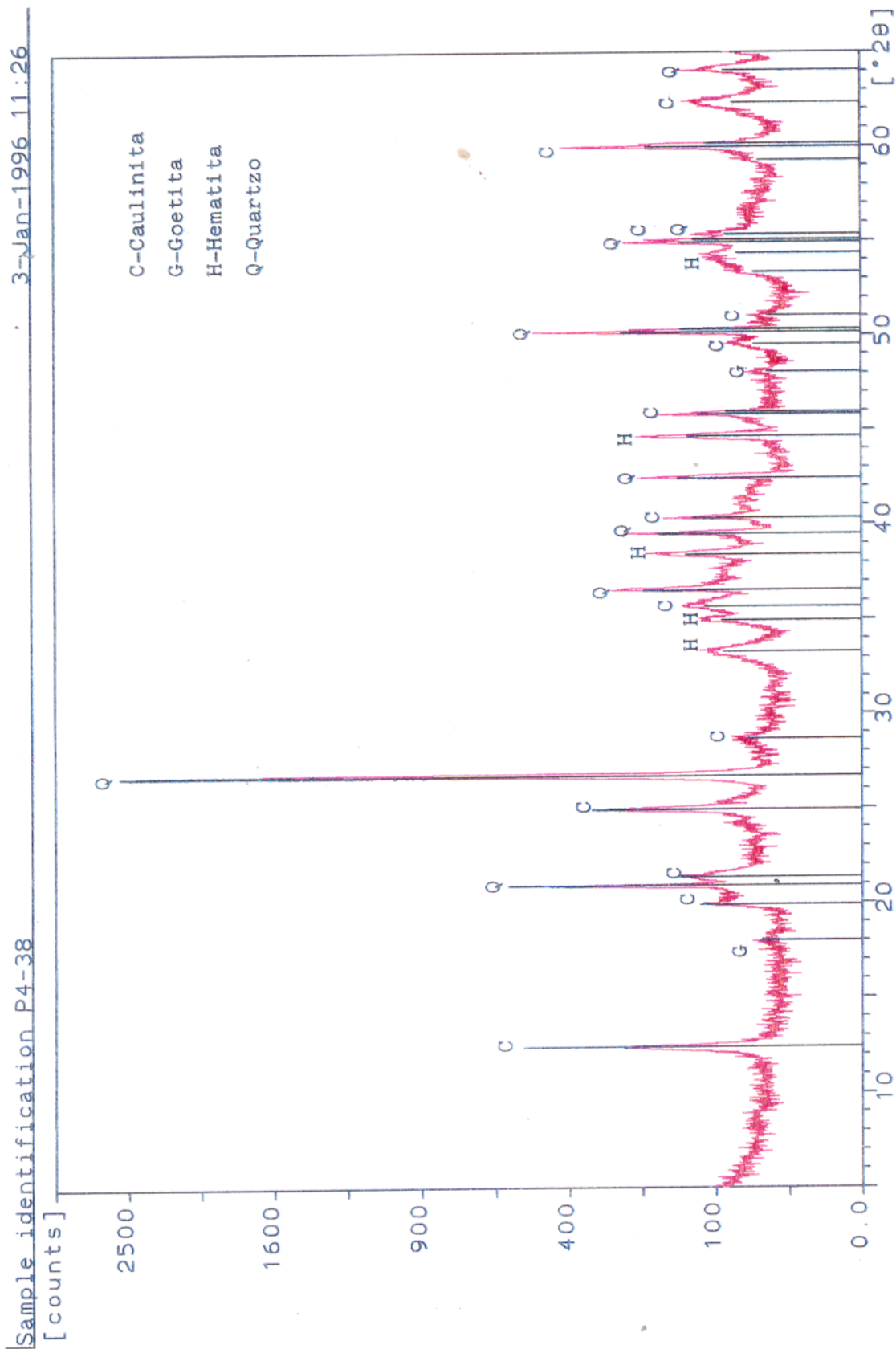
Modificado de ENGEO (1988).

Modificado de VILLAS BOAS (1991)

Anexo C2 - Perfis de poços tubulares perfurados na área estudada, que possibilitaram um melhor entendimento da geologia de Porto Velho - RO.

Identificação : PRI25				Identificação : CUN26				Identificação : Casa do Índio - Bairro Arigolândia			
Prof (m)	Perfil do poço	Descrição litológica	Dados do poço	Prof (m)	Perfil do poço	Descrição litológica	Dados do poço	Prof (m)	Perfil do poço	Descrição litológica	Dados do poço
0		Laterita muito dura	NE = 4,0 m ND = 12 m Prof = 50 m Diâm = 6"	0		argila amarela	NE = 8,3 m ND = 11,6 m Prof = 48 m Diâm = 6" Vazão = 14,5 m³/h Long = Lat = Alt = data = 20.09.89 reb = 3,3 m Filtros = (7-19m); (27-31m);(39-43)	1		Laterita	NE=25m ND= Filtro=33,5 a 36,5m
4		argila amarela - avermelhada	Data Perf = 20.03.88 Vazão = 12 m³ / h Cap. esp = 0,8 m³/h/m Long =	12		areia		18			
7		argila avermelhada com núcleos de argilito.		15		laterita		32		Argila vermelha	
12		argila avermelhada siltosa	Filtros=sem localização	22		argila vermelha		43,5		anfibolitos, predomínio de minerais máficos caracterizados por intensa epidotização	
20		arenito muito fino, matriz pouco argilosa,		45				52		anfibolitos cinza e tons esverdeados, com leve epidotização	
21		arenito de gran. média matriz argilosa						66		anfibolito cinza escuro com incipiente epidotização	
24		argila variegada com núcleo caolinizado									
29		sedimento areno-argiloso, com grãos de quartzo milimétricos.									
37		argila avermelhada, muito plástica									
40		arenito de granulação média, matriz pouco argilosa									
45		argila plástica, com fragmentos de rochas do embasamento.									
55											
Modificado de SILVA (1988)				Modificado de VILLAS BOAS (1989)				Modificado de SOUSA (1986).			

ANEXO C3 - Difratoograma de minerais identificados nos sedimentos da área de estudo



P4-38.RD P4-38.DI