

DEDICATÓRIA

Aos meus pais e a minha avó meus primeiros professores.

“A mente que se abre a uma ideia nova,
jamais voltará ao seu tamanho original”

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Agradeço sobretudo a Deus por tudo o que sou e que vivi e que me dotou de uma habilidade, mas nunca teria ciência destes dons nem os teria usado se outros não tivessem tempo de partilhar seus talentos comigo.

Acredito que não somos de facto nada sem o próximo, sem a nossa família, sem nossos amigos, sem a pessoa que nos atende. Os meus sinceros agradecimentos à minha família, toda ela especialmente aos meus pais José N. Cavantchante e Candeia M.N. Cavantchante a minha avó Volote Banguete, a minha esposa Lídia Chicumbo e a minha Filhinha Jalau Cavantchante, pela paciência e confiança, aos meus irmãos e cunhados, por me apoiarem incondicionalmente e consentirem na minha decisão.

Nunca poderei exprimir plenamente a minha gratidão à Professora Dr.^a Manuela da Vinha, partindo desde a escolha do tema proposto, com o qual me identifiquei, até à decisão em nos dedicarmos a esta pesquisa e pela competência em partilhar o melhor de si comigo sem reservas. Agradeço à Dr.^a Marina M. S. Cabral Pinto pelo prestimoso acompanhamento em colaborar na ideia, pelas excelentes sugestões fornecidas para a elaboração deste manuscrito. Gostaria de realçar que sem as pessoas a cima citadas, com certeza absoluta, o trabalho não teria saído do papel. Estou particularmente grato por terem verdadeiramente compreendido o significado desta Tese.

Estou igualmente grato ao Eng.^o Carlos Ribeiro, aos Professores Dr. Alcides Pereira, Dr. Nelson Rodrigues, Dr. Manuel Azevedo, cuja colaboração foi singular, aos professores de Mestrado em geral pelo seu empenho e incentivo moral, foi um prazer e fonte de inspiração trabalhar com estas pessoas. Agradeço ao DCT o apoio material a esta tese.

Quero expressar a minha dívida para com um grande número de pessoas com quem tenho mantido um relacionamento construtivo e duradouro. Aos meus amigos Loth Gigi, Guilherme Fernandes, Maurício Clemente, Henrique Chiquemba, e a todos que acreditaram em mim, obrigado pela ajuda que souberam dar em tempo oportuno.

A todos a minha homenagem.

RESUMO

Neste trabalho efetua-se a caracterização hidrogeoquímica das águas subterrâneas da região do Lubango, província da Huíla, Angola.

A amostragem foi feita em 10 poços, localizados em zonas rurais e urbanas, em duas estações climáticas, e o levantamento dos dados correspondeu ao período de Janeiro de 2013 a Abril de 2013. Verificou-se que as águas da zona urbana e da zona rural são significativamente distintas quando se consideram os seus valores de TDS. Os valores de ORP nas águas da zona rural são distintos dos das águas da zona urbana na época de chuvas. As águas da zona urbana apresentam condutividade elétrica mais elevada. Os valores de pH na generalidade indicam que as águas são ácidas. As águas da zona rural apresentam nalguns pontos amostrados teores de nitratos acima dos valores paramétricos e também possuem valores de ORP baixos. Também as águas da zona urbana nalguns locais de colheita estão contaminadas em nitritos ou nitratos. Na zona rural verificou-se contaminação em fosfatos. Efetuou-se uma comparação dos resultados obtidos neste estudo com os resultados obtidos por outros autores. Verificou-se que em águas subterrâneas de uma outra zona urbana os valores de OD e de Mg são ligeiramente superiores e os de nitratos são inferiores. Comparando com outros trabalhos de estudos de águas superficiais, observou-se que os valores de pH, OD e teores de Fe são inferiores aos das águas superficiais, mas os valores de CE, ORP e teores de nitratos e Mg são superiores.

Grande parte da água consumida no Lubango, nos bairros que não possuem sistema de distribuição de água potável, provém de cacimbas, que são poços escavados na rocha alterada. Portanto estas águas consumidas são extraídas de aquíferos subterrâneos pouco profundos, conseqüentemente, é imperativo conhecer a qualidade da água.

Palavras Chave: águas subterrâneas; hidrogeoquímica; parâmetros físico-químicos; Lubango; Angola.

ABSTRACT

This work carries out to the hydrogeochemical characterization of groundwater in the region of Lubango, Huíla province, Angola.

Sampling was carried out in 10 wells located in rural and urban areas, in two seasons, and survey data corresponded to the period January 2013 to April 2013. It was found that the waters of the urban and rural areas are significantly different, when considering the values of TDS. The values of ORP in the waters of the rural zone are distinct from the waters of the urban area in the rainy season. The waters of the urban area have higher electrical conductivity. The pH values generally indicate that the water is acidic. The waters of the rural area have in some sampling points nitrate levels above the parametric values and also have low ORP values. Also, the waters of some urban collecting sites are contaminated with nitrites or nitrates. In the rural zone it was verified contamination in phosphates. Conducted a comparison of the results obtained in this study with the results obtained by other authors. It was found that in groundwater from another urban zone, the OD values and Mg are slightly higher but nitrates and nitrites are lower. Comparing with other studies of surface water, it was observed that the values of pH, DO and iron concentrations are lower than surface water, but the values of EC, ORP and nitrate levels and Mg are higher.

Much of the water consumed in Lubango, in neighborhoods that do not have a distribution system much of the drinking water comes from wells, that are dug in the altered rock. So these waters consumed are extracted from shallow aquifers is therefore imperative to know the water quality.

Key Words: groundwater; hidrogeochemistry; physical-chemical parameters; Lubango; Angola.

ÍNDICE GERAL

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento do tema em estudo.....	1
1.1.1. Propósito do atual trabalho.....	1
1.1.2. A Importância da água no mundo.....	2
1.1.3. Importância das águas subterrâneas.....	5
1.1.4. Origem e efeitos das substâncias dissolvidas na água.....	7
1.2. Objetivos do Trabalho.....	8
1.3. Estruturação do trabalho.....	9
2. CARATERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA EM ESTUDO.....	11
2.1 Caracterização geográfica e geomorfológica.....	11
2.2. Caracterização geológica.....	14
2.3. Clima e caracterização hidrogeológica.....	17
3. METODOLOGIAS E TÉCNICAS.....	18
3.1. Planeamento e amostragem.....	18
3.2. Análise <i>in Situ</i>	20
3.3. Metodologia no laboratório.....	22
3.4. Determinação dos erros analíticos nas análises <i>in situ</i>	23
4. RESULTADOS.....	25
4.1. Parâmetros físico-químicos.....	25
4.2. Espécies químicas.....	29
4.3. Comparação entre os dois tipos de água analisados.....	33
5. DISCUSSÃO E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE.....	35
5.1. Hidrogeoquímica das águas analisadas.....	35
5.1.1. Temperatura.....	35
5.1.2. pH.....	35
5.1.3. Potencial oxidação redução.....	36
5.1.4. Condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos.....	37
5.1.5. Oxigénio dissolvido.....	39

5.1.6. Alcalinidade.....	40
5.1.7. Nitratos e nitritos	40
5.1.8. Amónia	41
5.1.9. Cloro Total.....	42
5.1.10. Fosfatos.....	42
5.1.11. Metais (Mg, Fe e Zn).....	42
5.2. Comparação com outras amostragens realizadas na mesma região.....	44
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	46
7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
ANEXO	51
Matriz de correlação de valores de parâmetros físico-químicos e as espécies químicas	51
.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – O ciclo hidrológico- Nos reservatórios as unidades são milhares de km ³ e nos fluxos as unidades são milhares km ³ /ano. Fonte : Trenberth et al. (2007)	5
Figura 2-Localização geográfica do município do Lubango.....	11
Figura 3- Representação esquemática das unidades geomorfológicas de Angola (González e Francisco, 1982).	12
Figura 4-Carta topográfica do Lubango mostrando os pontos de amostragem. Excerto as folhas nº 335 e 336 (Sá da Bandeira – W) e 336 (Sá da Bandeira - E) da Carta de Angola – Levantamento aerofotogramétrico à escala 1:100 000 (Missão geográfica de Angola).....	13
Figura 5 – Excerto da Folha 3 da carta “Geologia de Angola” (Carvalho, 1982), à escala 1:1000000, com representação da região de Lubango..	15
Figura 6- Corte geológico representativo, N-S na região de Lubango adaptado de Marques (1977).	16
Figura 7- Localização dos pontos de amostragem (Fotografia aérea- Google Earth)... ..	18
Figura 8- Gologia da envolvente de alguns locais a e b; uso do aparelho multiparamétrico (c)	22
Figura 9- Análise química com fotómetro de bancada de marca Hanna modelo HI83200	23
Figura 10- Variação dos teores dos parâmetros físico-químicas das águas subterrâneas nas zonas rural e urbana, na região do Lubango, analisados em Janeiro de 2013- época de chuvas	27
Figura 11- Variação dos teores dos parâmetros físico- químicos das águas subterrâneas nas zonas rural e urbana, na região do Lubango, analisados em Abril de 2013- época seca.	28
Figura 12- Variação dos teores de algumas espécies químicas das águas subterrâneas nas zonas rural e urbana na região do Lubango, analisados em Janeiro de 2013.....	32
Figura 13- Variação dos teores de ferro das águas subterrâneas nas zonas rural e urbana, na região do Lubango, analisados em Janeiro de 2013	32

Figura 14- Diagrama Eh-pH das águas analisadas. Modificado de Colombo et al. (2008).	37
Figura 15- Diagrama das espécies iónicas de ferro modificado de White (2007)	44

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1-Estimação da distribuição da água na Terra.	4
Tabela 2– Estimação dos tempos de residência da água em vários reservatórios	6
Tabela 3- Coordenadas geográficas dos pontos de água	20
Tabela 4- Cálculo do erro do multiparâmetro de marca Hanna 9828.	24
Tabela 5-Valores determinados dos parâmetros físico-químicos nas épocas de chuva e de seca.	26
Tabela 6-Valores determinados das espécies químicas nas épocas de chuva (Janeiro de 2013).	31
Tabela 7- <i>P-values</i> obtidos no teste t-Student para duas variâncias desiguais com o nível de significância <0,05.....	34

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento do tema em estudo

1.1.1. Propósito do atual trabalho

O tema desenvolvido neste trabalho enquadra-se na problemática sobre a hidrogeoquímica da água subterrânea no Lubango, cidade que nos últimos anos tem tido um crescimento urbano desmedido. Esta cidade é a capital da Província da Huíla, e tem uma população estimada em mais de 1,5 milhões de habitantes (PDCL, 2010). A cidade foi originalmente projetada para uma população muito inferior, quando comparada com o assentamento populacional atual. Desde a guerra civil que a cidade tem sido invadida por construções para habitação, na sua maior parte sem acompanhamento devido, isto é, com falta de regras de urbanismo dignas de uma cidade, o que multiplica o alastramento de residências de modo anárquico e sem as infra-estruturas básicas de saneamento, de distribuição de água e de recolha de lixo. Portanto o crescimento urbano não tem acompanhado ao mesmo ritmo a sustentabilidade ambiental.

Grande parte da água consumida no Lubango, nos bairros que não possuem sistema de distribuição de água potável, provém de cacimbas, que são poços escavados na rocha alterada. Há também furos que foram feitos por entidades oficiais, e nascentes. Portanto estas águas consumidas pela população são extraídas de aquíferos subterrâneos, conseqüentemente, é imperativo conhecer a qualidade da água.

As linhas mestras que nortearam este estudo basearam-se nos problemas observados devidos ao aumento demográfico exponencial, que acarreta consigo problemas de impacto ambiental significativo e que ficam concentrados na cidade. O crescimento demográfico exponencial traz consigo o comércio informal generalizado, o aumento de depósitos de resíduos a céu aberto e outros soterrados, o mau acondicionamento dos mesmos, as fossas sépticas a extravasar ou rotas, o despejo de efluentes domésticos diretamente nos solos, bem como, a atividade agro-pecuária nas zonas periféricas (rurais) da cidade.

De acordo com os factos acima referidos é de esperar a presença de anomalias de origem antrópica, na qualidade da água subterrânea, oferecendo um potencial campo para estudo hidrogeoquímico, mas não é de descartar a contaminação natural. Há alguns dados (Zeferino, 2011) sobre hidrogeoquímica de águas subterrâneas no Lubango e há também alguns dados sobre hidrogeoquímica de águas superficiais (Isaías, 2010) e ambos mostram que as águas tanto superficiais como subterrâneas apresentam alguma contaminação.

A motivação na escolha deste tema é a de verificar se há ou não diferença, na composição da água subterrânea entre duas áreas, rural e urbana, na região do Lubango e averiguar a qualidade dessas águas, ou seja ver se há ou não um problema de contaminação química nas águas subterrâneas no Lubango. Como foram realizadas duas campanhas de amostragem, na época de chuvas e na época seca, vai verificar-se se existe variação na composição das águas com a sazonalidade.

Vai também ser feita uma comparação com dados de (Zeferino, 2011) e (Isaías, 2010) obtidos em anos anteriores, em águas subterrâneas e em águas superficiais, respetivamente, pelo que, este trabalho pretende dar uma nova contribuição nesta temática e ser uma linha de base para trabalhos futuros sobre a questão.

1.1.2. A Importância da água no mundo

Segundo o Relatório de Desenvolvimento Humano (PNUD-2006), tem havido uma disparidade dentro de cada país, entre os moradores das zonas rurais e os da cidade, no que se refere ao abastecimento de água potável. O número de pessoas no mundo que vive em áreas rurais sem acesso a fontes de águas melhoradas é cinco vezes maior (aproximadamente 746 milhões) que o número dos moradores de áreas urbanas.

Aproximadamente 80 por cento das doenças do Terceiro Mundo podem ser atribuídas ao consumo de água contaminada (Andreatta e Jadoski, 2009). A qualidade da água é de facto tão importante como a sua disponibilidade. O controlo da qualidade da água é imprescindível, devido ao facto de grande parte de doenças serem transmitidas por vectores aquáticos provocando doenças como a malária, dengue, diarreias agudas,

cólera, poliomielite, tifo, dentre outras (OMS, 2005). Estima-se que 63% da população em África está carente de acesso a instalações de saneamento básico; sendo o problema do saneamento básico uma questão central para o desenvolvimento das sociedades modernas (PNUD, 2006).

A qualidade da água deve ser tida em conta não só na água de abastecimento e irrigação, como também na água depositada no meio, isto é, água residual, daí a importância do saneamento. A degradação qualitativa da água subterrânea resulta também da sua contaminação com nutrientes, sais e pesticidas que percolam e escorrem através da vegetação e dos solos onde são aplicados.

A água é uma substância tão importante para os seres vivos quanto para os diversos ecossistemas, sem ela não existiria vida e o clima da Terra seria totalmente diferente. Este recurso afeta a qualidade de vida das populações, bem como o desenvolvimento económico de qualquer região, a sua utilização exige racionalidade e sua conservação é o dever básico da civilização do século XXI (PNUD, 2006).

A água é um composto químico simples, e a sua molécula polar dá-lhe a possibilidade de dissolver quase todas as substâncias. A água no estado líquido é a melhor substância para dissolver substâncias polares e iónicas, como vários sais e açúcares, facilitando assim a ligação química fora e dentro dos organismos vivos; outras funções da água são (Abelho, 2012):

- Os organismos vivos dependem da água para as reações enzimáticas a nível celular;
- A água flui facilmente, sendo um líquido ótimo para transporte do sangue, de nutrientes, de hormonas e excreções metabólicas;
- Devido ao seu elevado calor específico consegue transportar uma grande quantidade de calor quando evapora, sendo o líquido de arrefecimento corporal e um excelente estabilizador da temperatura.

As pessoas necessitam tanto da água como de oxigénio e a água também “dá vida” num sentido muito mais lato, pois sustenta os sistemas ecológicos e contribui para os sistemas de produção de energia. É, também importante, as pessoas precisam de água potável e de saneamento (que dela depende) para manterem a sua saúde e dignidade.

A quantidade de água da hidrosfera ou seja a quantidade total de água que existe, sob a forma livre nos estados líquido, sólido e gasoso, na atmosfera, na superfície da Terra e na crosta até 2 km de profundidade, está estimada em 1386 milhões de km³ (Shiklomanov, 2006). Contudo 97,5% é salina (Tabela 1). A quantidade de água que o Homem tem diretamente disponível para consumo (sem grandes custos energéticos para a obter) é muito menor. A tabela 1 mostra precisamente a importância da perseveração da água doce.

Tabela 1-Estimação da distribuição da água na Terra.

Reservatório	Volume km ³	% água doce	% total da água
Oceanos e mares	1 338 000 000	--	96,5
Calotes polares, glaciares e neves permanentes	24 064 000	68,6	1,74
Água subterrânea	23 400 000	--	1,7
doce	10 530 000	30,1	0,76
salina	12 870 000	--	0,93
Humidade do solo	16 500	0,05	0,001
Solo gelado e permafrost	300 000	0,86	0,022
Lagos	176 400	--	0,013
água doce	91 000	0,26	0,007
água salina	85 400	--	0,007
Atmosfera	12 900	0,04	0,001
Pântanos	11 470	0,03	0,0008
Rios	2 120	0,006	0,0002

Fonte Igor Shiklomanov (1993) retirado de <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycle.html> em 9 de Junho de 2013.

1.1.3. Importância das águas subterrâneas

A água subterrânea é aquela que se encontra sob a superfície terrestre, isto é, nos espaços entre as partículas sedimentares e nas fendas das rochas mais sólidas. A maior parte dos reservatórios de água encontram-se a pouca profundidade e desempenham papel fundamentalmente valioso e constante no ciclo hidrológico (Figura 1).

As águas subterrâneas ocorrem não só em climas húmidos como também em secos. A sua existência deve-se sempre à infiltração e conseqüente acumulação formando um aquífero (Carapeto, 1999). São a principal fonte de água potável em muitos países principalmente em climas secos.

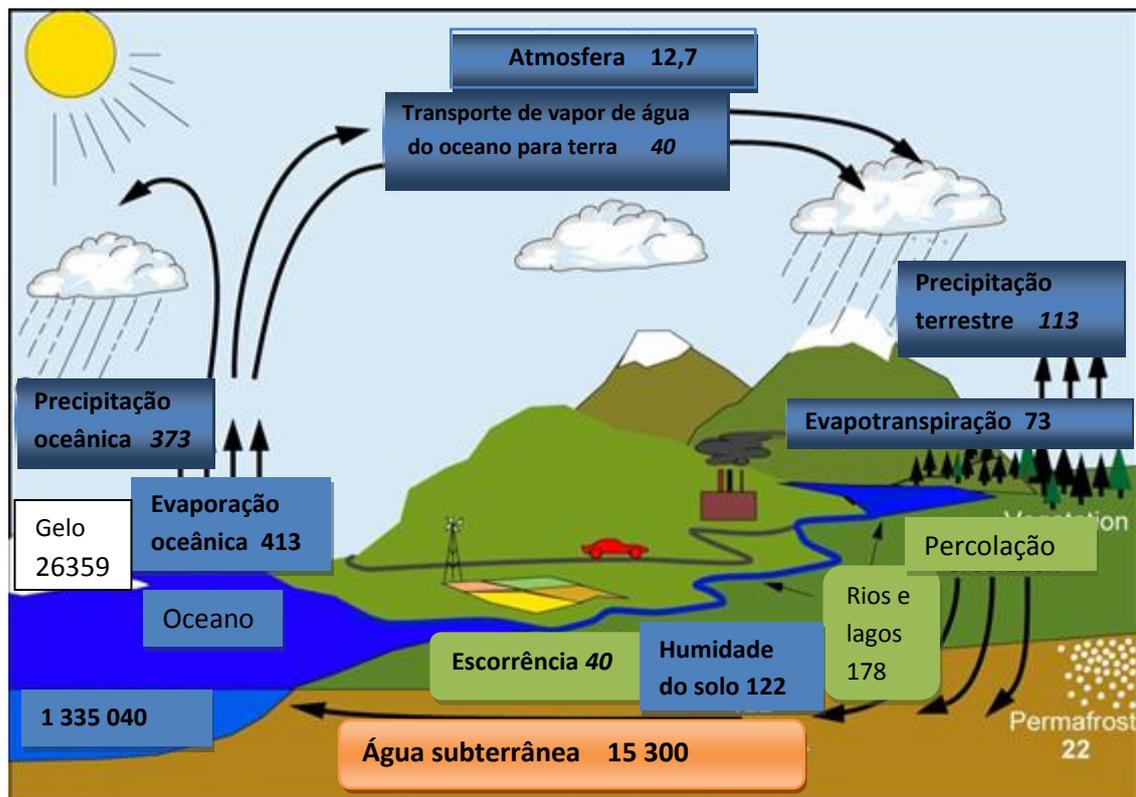


Figura 1 – O ciclo hidrológico- Nos reservatórios as unidades são milhares de km^3 e nos fluxos as unidades são milhares km^3/ano . Fonte : Trenberth et al. (2007) retirado de <https://www2.ucar.edu/atmosnews/people/aiguo-dai>

O uso de águas subterrâneas tem algumas das vantagens. As captações da água subterrânea são melhor protegidas da poluição, o custo de sua captação e distribuição é muito mais barato e a água subterrânea normalmente não precisa de muito tratamento tornando-a vantajosa para saúde humana.

Os dados da tabela 1 mostram que a água subterrânea potável constitui 0,76% do total da hidrosfera e apresenta um tempo de residência muito alto, que varia de 2 semanas a 10000 anos (Tabela 2), o que implica que uma vez poluída é difícil de recuperá-la. Os aquíferos subterrâneos apenas são recarregados quando a evapotranspiração é menor que precipitação numa dada área (Carapeto, 1999). Assim, a taxa de uso da água subterrânea não pode exceder o tempo que leva a recarrega do aquífero.

Tabela 2– Estimação dos tempos de residência da água em vários reservatórios

Reservatório	Tempo médio de residência
Oceanos	3000 a 4000 anos
Calotes polares permafrost	1000 a 10 000 anos
Glaciares	20 a 100 anos
Neve sazonal	2 a 6 meses
Água subterrânea	2 semanas - 200 anos (pouco profunda) 10000 anos (profunda)
Lagos e reservatórios	50-100 anos
Rios	2 semanas a 6 meses
Humidade nos solos	2 semanas a 1 ano
Bioesfera	1 semana
Vapor atmosférico	1,5 semana

Retirado de <https://spark.ucar.edu/longcontent/water-cycle> e de <http://www.unep.org/dewa/vitalwater/article26.html>

1.1.4. Origem e efeitos das substâncias dissolvidas na água

A água subterrânea está armazenada e circula nos poros, espaços entre os clastos que formam as rochas sedimentares terrígenas. Em rochas ígneas e metamórficas a água está armazenada e move-se através das fraturas. Em aquíferos livres a água desce por ação da gravidade e acumula-se em zonas mais profundas, constituindo a zona saturada.

A profundidade do nível de água depende da variação sazonal. Ou seja, em períodos chuvosos, há maior infiltração e conseqüentemente o nível freático está mais elevado. No período de seca há menor infiltração e conseqüentemente o nível freático está mais baixo (Iritani e Ezaki, 2008).

A composição química da água subterrânea é influenciada pela litologia com a qual contacta, com o grau de meteorização das rochas, pela recarga e pelo tempo de contacto (Custodio e Llamas, 1976) e depende da química própria dos elementos, do regime de meteorização, dos processos biológicos e da ação do homem (Andrews et al, 2004)

Os componentes químicos principais, teoricamente, a serem encontrados em qualquer amostra de água subterrânea incluem os cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+ e os aniões HCO_3^- , ou CO_3^{2-} (dependendo do pH), Cl^- e SO_4^{2-} . Muitas vezes, também o nitrato (NO_3^-), é considerado dentro do grupo principal, e incluído na descrição dos aniões.

As restantes substâncias e iões são geralmente dissolvidos em quantidades significativamente mais baixas do que o grupo acima, são denominados oligoelementos ou elementos traço, e compreendem menos de 1% do total da composição da água (Custódio e Llamas, 1976). Estas espécies químicas derivaram da meteorização das rochas, mas também das adições antrópicas e algumas delas podem atingir concentrações elevadas, tornando a água imprópria para fins específicos.

As substâncias dissolvidas na água que são de origem antrópica, como é o caso dos utilizados na agricultura como os fertilizantes e pesticidas, incluem o azoto, fósforo mas também alguns metais e metaliódes, como por exemplo o U, introduzido por fertilizantes à base de potássio e o As introduzido por pesticidas.

Há também os contaminantes derivados do mau acondicionamento dos resíduos sólidos ou efluentes líquidos, que dependendo das propriedades intrínsecas do solo, se infiltram e atingem as águas subterrâneas e conseqüentemente as águas dos poços e outras fontes utilizadas na captação de águas subterrâneas.

1.2. Objetivos do Trabalho

No presente trabalho mostram-se algumas formas de analisar quimicamente a água subterrânea, para se poder caracteriza-la. Realizou-se a recolha de amostras de água em poços (cacimbas) para fazer um estudo da hidrogeoquímica das águas subterrâneas num sector montante da bacia do Caculuar, considerando dois tipos: águas na zona urbana e águas na zona rural.

Durante as análises feitas à água, consideraram-se os seguintes parâmetros físico-químico: temperatura, pH, oxigénio dissolvido, potencial redox, total de sólidos dissolvidos, bem como alguns parâmetros químicos nomeadamente alguns catiões, aniões e alguns oligoelementos. Consultou-se a bibliografia referente à definição de unidades litológicas aflorantes a sua disposição espacial e recolheu-se informação hidrogeológica da bacia Caculuar.

As metas que nos propomos alcançar com este trabalho são:

Objetivo Geral

Fazer a caracterização hidrogeoquímica de águas subterrâneas em duas áreas do Lubango averiguando a variação da sua composição com a sazonalidade e identificando provável contaminação.

Objetivos Específicos

1. Caracterizar a hidrogeoquímica das águas subterrâneas numa zona rural na periferia do Lubango e na zona urbana do Lubango.
2. Averiguar as diferenças na composição entre águas da zona rural e urbana na região do Lubango.
3. Averiguar as diferenças na composição entre águas com a sazonalidade.

4. Averiguar da qualidade das águas subterrâneas na região do Lubango.
5. Averiguar as diferenças na composição entre as águas agora analisadas e águas subterrâneas e superficiais da mesma região analisadas há 3 anos atrás.

Algumas das limitações encontradas neste trabalho foram a falta de reagentes e as limitações de tempo aliados ao difícil acesso aos poços, por serem propriedade privada. Por outra, alguns parâmetros a analisar são muito sensíveis, pois, devem ser analisados num período de 24 horas, isto é, durante um único dia, caso contrário as análises teriam resultados que não refletiriam totalmente as características físicas e químicas da água subterrâneas, isto também impossibilitou um maior número de recolha de amostras.

Como um dos objetivos do presente trabalho consiste em detetar a presença de contaminantes químicos, não serão tratados outros possíveis contaminantes na água como biológicos ou de natureza radioativa.

1.3. Estruturação do trabalho

O trabalho tem a seguinte estruturação:

- No primeiro capítulo faz-se o enquadramento teórico sobre a temática “água subterrânea”, mostram-se alguns conceitos básicos de hidrogeoquímica, a importância das águas subterrâneas, origem das águas subterrâneas e objetivos do trabalho.
- No capítulo 2 descreve-se a localização, as características climáticas, geológicas e hidrogeológicas do Lubango, ou seja faz-se o enquadramento físico da área de estudo.
- No capítulo 3 descreve-se a metodologia usada durante o reconhecimento geológico de campo; os procedimentos de amostragem e analíticos *in situ* bem como os procedimentos analíticos no laboratório;
- No capítulo 4 faz-se uma exposição dos resultados obtidos no campo e no laboratório.

- No capítulo 5 faz-se uma discussão dos resultados comparando com os dados obtidos em águas subterrâneas e superficiais da mesma região e faz-se a avaliação da qualidade da água por comparação com normas internacionais ou com a legislação a que se teve acesso.
- No capítulo 6 dão-se as conclusões e fazem-se algumas recomendações.
- No capítulo 7 mostra-se a bibliografia consultada durante a realização do trabalho.

Apesar de algumas limitações e dificuldades na obtenção dos dados em estudo, considera-se que este relatório representa uma mais-valia na caraterização das águas subterrâneas na região de Lubango, contudo não é um produto acabado é sempre passível de críticas e interpretações diversas.

2. CARATERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA EM ESTUDO

2.1. Caracterização geográfica e geomorfológica

A cidade de Lubango, comuna sede da província da Huíla, está localizada na região sul de Angola, numa latitude $14^{\circ}56'40,76''$ Sul e longitude $13^{\circ}34'59,07''$ E.

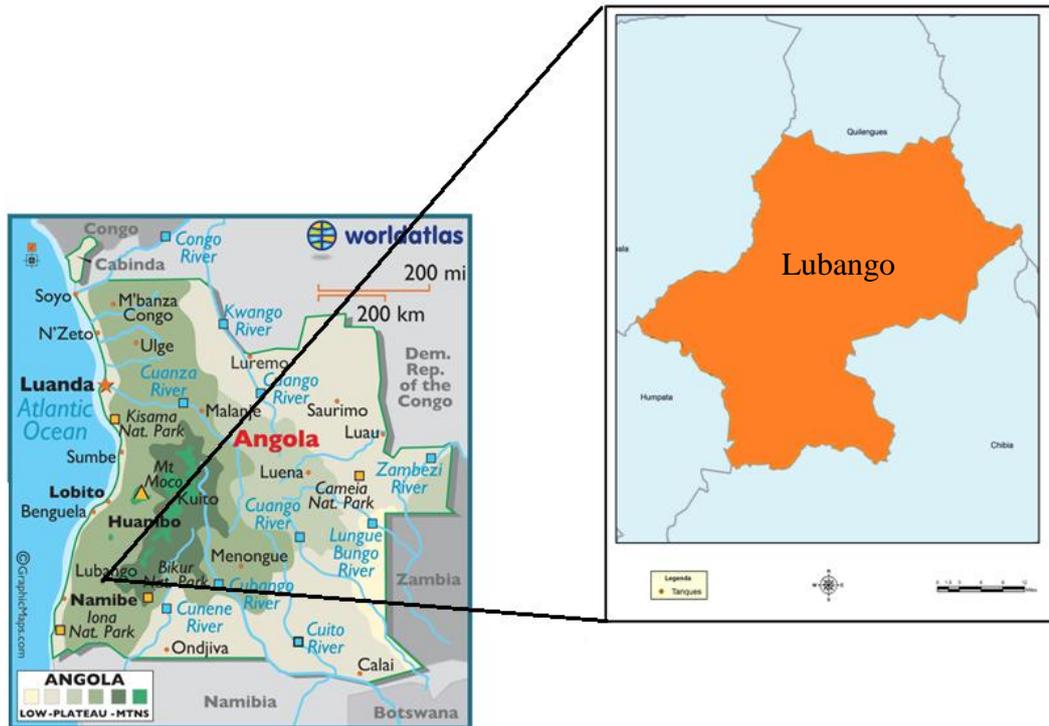


Figura 2-Localização geográfica do município do Lubango

A maior parte da província da Huíla está localizada a uma altitude superior a 1000 m, no planalto do sul de Angola, que é limitado a oeste pela cadeia marginal de montanhas, onde são frequentes cotas superiores a 2000 m (Fig. 3). A ocidente da cadeia de montanhas a altitude cai bruscamente em degraus.

O planalto do Sul de Angola é uma peneplanície levemente ondulada, com aplanação muito perfeita, com vales pouco profundos, de declives fracos, muito largos e com divisórias de águas arredondadas e mal distintas. Os cursos de águas não desenham meandros, a sua carga em tração (seixos e calhaus) é muito baixa e não há terraços

expressivos. Todas estas características indicam uma idade muito avançada para a superfície de desnudação Vale e Simões (1971).

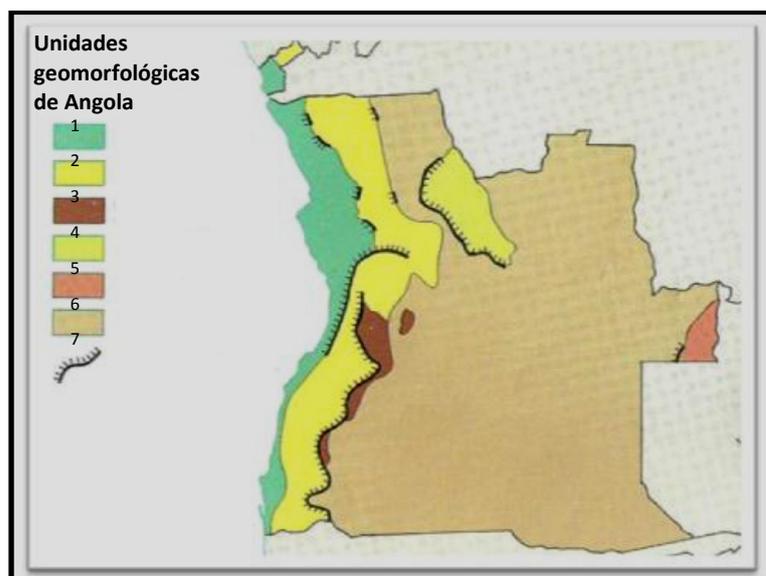


Figura 3- Representação esquemática das unidades geomorfológicas de Angola (González e Francisco, 1982). Símbolos: 1- Faixa Litoral; 2- Zona de transição; 3- Cadeia Marginal de Montanhas; 4- Depressão de Cassange; 5- Maciço do Alto Zambeze; 6- Zona planáltica; 7- escarpa com desnível \geq a 200m

A cidade do Lubango localiza-se aproximadamente a 1600 m de altitude e é enquadrada pelos planaltos da Humpata e do Bimbe, a sudoeste, que formam a serra da Chela, cuja altitude média aproximada é de 2100 metros (PDL, 2004). Grande parte da cidade apresenta declives suaves ($< 5^\circ$), onde se desenvolve a maior parte do assentamento urbano. Os declives na cidade de Lubango são mais acentuados no sopé da vertente do Cristo Rei, formado pela cornija quartzítica. Os principais processos de modelação do relevo aí existentes são: a erosão hídrica (sulcos e ravinas) e os movimentos de vertente, nomeadamente desabamentos e a queda de blocos (PDL, 2004).

A região em Lubango apresenta uma erosão ativa continuando a modelar o relevo. A erosão evidente assume uma escarpa, formada por rocha nua, que separa a região planáltica da subplanáltica. A região sub-planáltica apresenta altitude oscilando entre

1000 e 1600 metros, com o relevo limitado a sul e oeste pela serra da Chela, que constitui um degrau de erosão (Vale e Simões, 1971).

Os rios desta região onde se localiza a cidade do Lubango, apresentam-se encaixados nas nascentes, onde os depósitos de superfície são poucos abundantes, o relevo é abrupto e o solo constituído maioritariamente pelo rególito. A rede hidrográfica existente na área forma alguns dos mais importantes cursos de água do sudoeste de Angola e o escoamento das águas superficiais apresenta várias direções. Os rios existentes convergem na sua maior parte para o Caculuar. O rio Mapunda nasce a norte do Lubango e atravessa a mesma cidade (Fig. 4), primeiramente este-este, a depois segue para sueste, onde desagua no Caculuar, que segue para sul em direção ao rio Cunene.

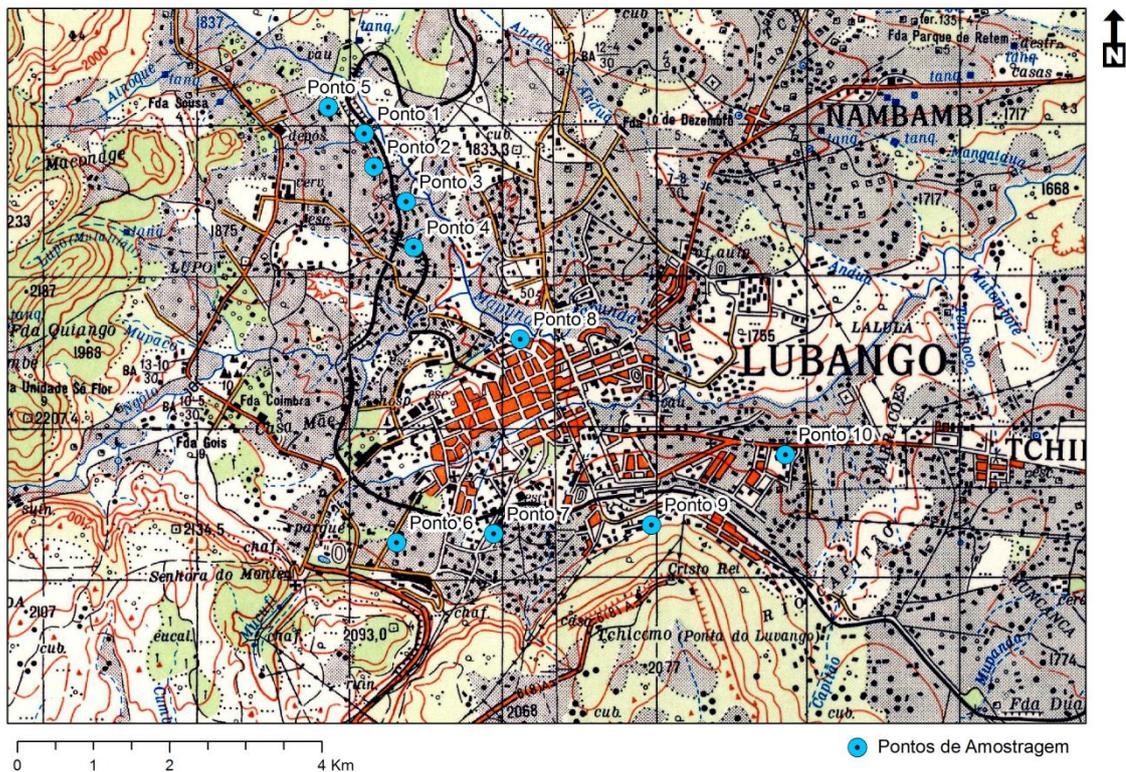


Figura 4-Carta topográfica do Lubango mostrando os pontos de amostragem. Excerto as folhas nº 335 e 336 (Sá da Bandeira – W) e 336 (Sá da Bandeira - E) da Carta de Angola – Levantamento aerofotogramétrico à escala 1:100 000 (Missão geográfica de Angola)

A configuração da rede hidrográfica existente apresenta dois tipos de drenagem a dendrítica e a retangular.

A sul e leste da cidade do Lubango apresenta uma drenagem dentrítica e de oeste para norte do degrau de erosão que divide a área em duas regiões distintas apresenta uma drenagem retangular, quase sempre aberto, seus leitos ao longo de diáclases ou falhas. Os rios existentes na área de Lubango são na sua maior parte de regime intermitente pois possuem água apenas em época de chuva e na de estiagem estão secos (Vale e Simões, 1971)

2.2. Caracterização geológica

A figura 5, extraída da carta Geologia de Angola, à escala 1/1 000 000 (Carvalho, 1982) mostra a cartografia das principais unidades geológicas aflorantes na região do Lubango e a figura 6 mostra a cartografia em corte geológico interpretativo. A NE e NW afloram as rochas mais antigas, pertencentes ao Complexo Gnaisso-Migmatítico-Granítico (Fig. 5), que podem ser remanescentes do soco arcaico, mas que sofreram retrabalhar no ciclo orogénico eburneano (Pereira et al., 2011). A NW do Lubango aflora o granito de Bibala, que é um granito foliado, sintectónico, relacionado com a orogenia Eburneana.

O granito sob o qual se localiza a cidade de Lubango é um granito biotítico, peraluminoso, geralmente equigranular, de grão médio e considerado como o granito regional por (Carvalho, 1984) e é considerado também como eburneano (Carvalho, 1982). A sua idade U–Pb foi determinada como 2038 ± 28 Ma e 1954 ± 6 Ma em amostras pouco deformadas deste granito (McCourt et al., 2013).

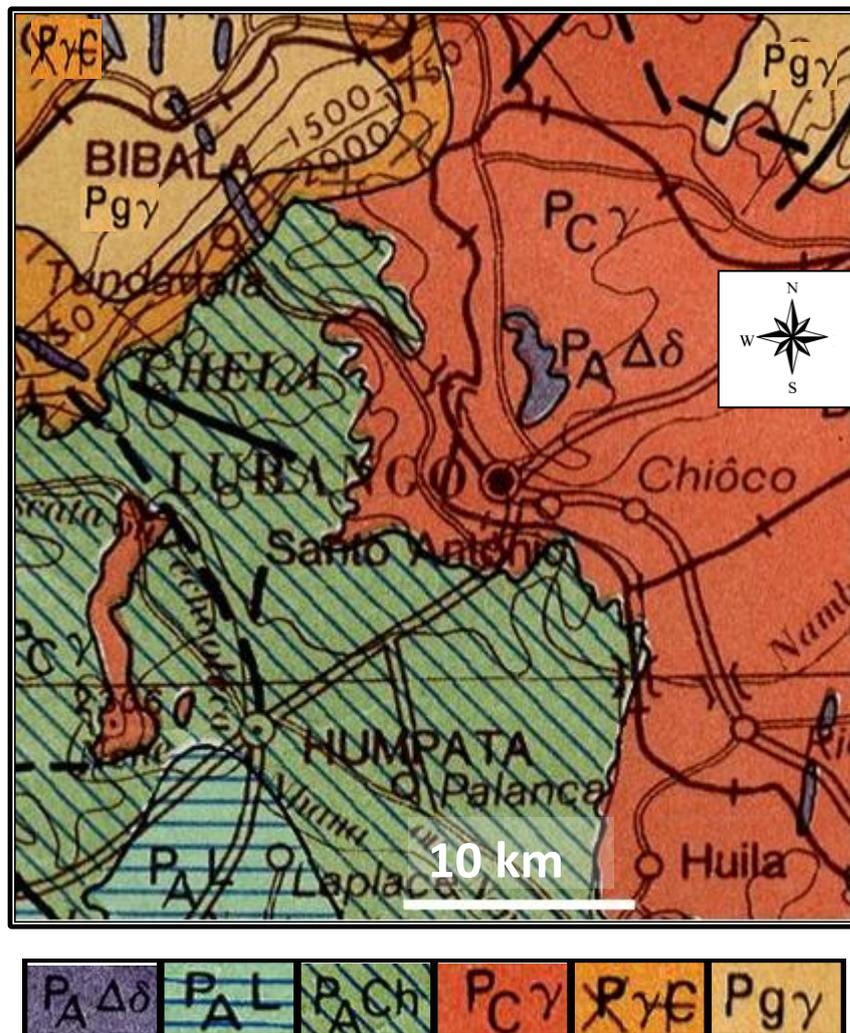


Figura 5 – Excerto da Folha 3 da carta “Geologia de Angola” (Carvalho, 1982), à escala 1:1000000, com representação da região de Lubango. Legenda: $P_{A\Delta\delta}$ - noritos e doleritos; P_{AL} – Formação da Leba-Tchamalindi; P_{ACh} – Grupo da Chela $P_{C\gamma}$ - granitos biotíticos da região central; $P_{\gamma C}$ – Granito Caraculo-Bibala; $P_{\gamma\gamma}$ - Complexo Gnaisso-Migmatítico-Granítico; traço contínuo – limite geológico; traço contínuo ou interrompido carregado – falha.

O granito apresenta uma tonalidade rosada, raros fenocristais de feldspato potássico, por vezes apresenta-se cisalhado e com zonas de alteração hidrotermal intensa, onde enriquece em epídoto e clorite. A capa de alteração do granito pode ser muito espessa, atingindo 6 ou mais metros de espessura, mas noutros locais aflora granito pouco meteorizado.

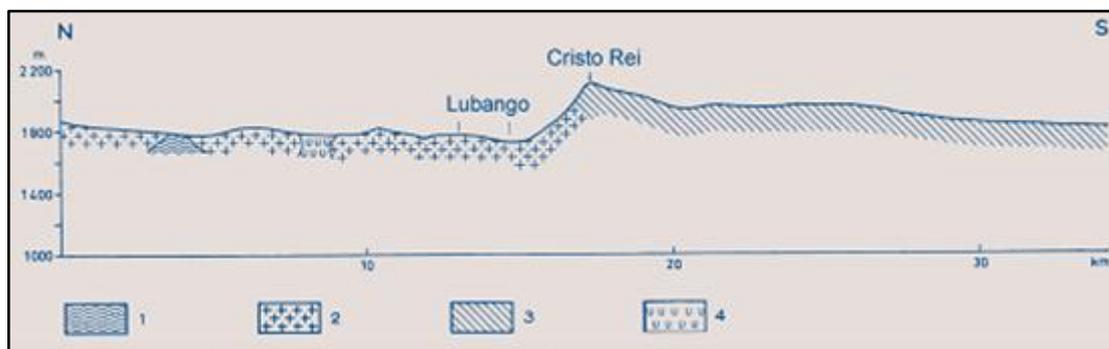


Figura 6- Corte geológico representativo, N-S na região de Lubango adaptado de Marques (1977).
Legenda: 1; Complexo Gnaiss-Migmatito-Granito; 2- granito regional; 3- Grupo da Chela; 4- diábase

Sobre o soco Eburneano assenta por discordância o Grupo da Chela, uma das formações do Planalto da Humpata-Bimbe (Fig. 5) ; trata-se de uma sequência vulcano-sedimentar depositada numa bacia epicratônica fluvio-marinha com espessura mínima de 600 m (Pereira et al., 2011). A deposição das camadas silicoclásticas com cineritos e vulcanoclastitos intercalados deu-se em ambiente marinho transgressivo, de pouca profundidade e sobre a base granítica ou granodiorítica, de morfologia irregular. O grau de metamorfismo é baixo e a deformação é inexistente.

A base do Grupo da Chela é constituída pela Formação da Tundavala, que consiste uma sequência de areias quartzosas e arcoses, com conglomerados lenticulares intercalados. Esta unidade aflora na escarpa que ladeia a cidade de Lubango pelo sul. A Formação da Humpata sobrepõe-se por inconformidade e aflora a oeste da cidade. É formada por siltitos vulcanoclásticos com intercalações de piroclastitos e gritstone, possui cor vermelha ou creme.

A datação U-Pb de ignimbrito desta formação deu uma idade de 1798 ± 11 Ma (McCourt et al., 2013). Grupo da Chela culmina com a Formação do Bruco, que inicia um novo ciclo silicoclástico. A idade de deposição de todo o Grupo da Chela é apontada como 1947-1810 Ma (Paleo-Proterozóico) (Pereira et al., 2011).

Sobre o Grupo da Chela ocorre a Formação da Leba-Tchamalindi (Fig. 5), constituída por calcários dolomíticos, que por vezes possuem estromatólitos. Os noritos e diabases

cortam o Grupo da Chela e o granito biotítico. A sua idade Rb/Sr é de 1118 Ma (Carvalho, 1982).

2.3. Clima e caracterização hidrogeológica

O clima é húmido e moderadamente quente, com temperatura média anual de 18,6 °C (Cruz, 1940), sendo provavelmente a cidade mais fria de Angola. A amplitude térmica é de 1°C até 34°C. Junho e Julho são os meses mais frios, com eventuais geadas. As chuvas mais intensas ocorrem geralmente entre o início de Janeiro e o fim de Março, e os meses mais quentes são Outubro e Novembro. A estação seca vai de Maio a Setembro e os rios apresentam caudal mínimo em Outubro. A precipitação média anual é de 800-1000 mm com 60 a 100 dias/ano de chuva (Cruz, 1940).

A cidade de Lubango desenvolve-se numa depressão a cerca de 1700 m de altitude, que é bordeada pelo Grupo da Chela, de altitude média de 2100 m. Essa depressão é atravessada por vários cursos de água inseridos na bacia hidrográfica do rio Cunene. A cidade assenta grandemente sobre granito alterado, que constitui uma formação porosa, com alta capacidade para armazenar água (Fig. 5).

O clima é favorável à existência e à proteção de aquífero, pois permite o desenvolvimento da vegetação e a consequente proteção do solo, já que o solo tem influência positiva na infiltração da água, na capacidade de retenção e no coeficiente de escoamento. As formações geológicas acima descritas (quartzitos e granito alterado) constituem as zonas de recarga do aquífero, pelo facto de se apresentarem como, formações fissuradas ou porosas, portanto permeáveis, dispostas sobre o granito ou doleritos impermeáveis (PDL,2004).

3. METODOLOGIAS E TÉCNICAS

3.1. Planeamento e amostragem

Na recolha de elementos bibliográficos referentes à região recorreu-se ao plano diretor do Lubango e teses de mestrado que já foram desenvolvidas nesta região assim como a bibliografia publicada em revistas científicas e “sites” na internet.

A escolha dos pontos de amostragem foi baseada na sua localização ao longo do rio Mapunda, na zona rural e tentou-se amostrar de uma forma representativa a zona urbana na cidade. Assim, deu-se ênfase especialmente às zonas com grande proximidade de campos cultivados (zona rural) e na zona urbana locais com grandes aglomerados populacionais. Os locais de amostragem foram 8 poços ou cacimbas, um furo e uma nascente, totalizando 10 (dez) pontos (Fig.7).

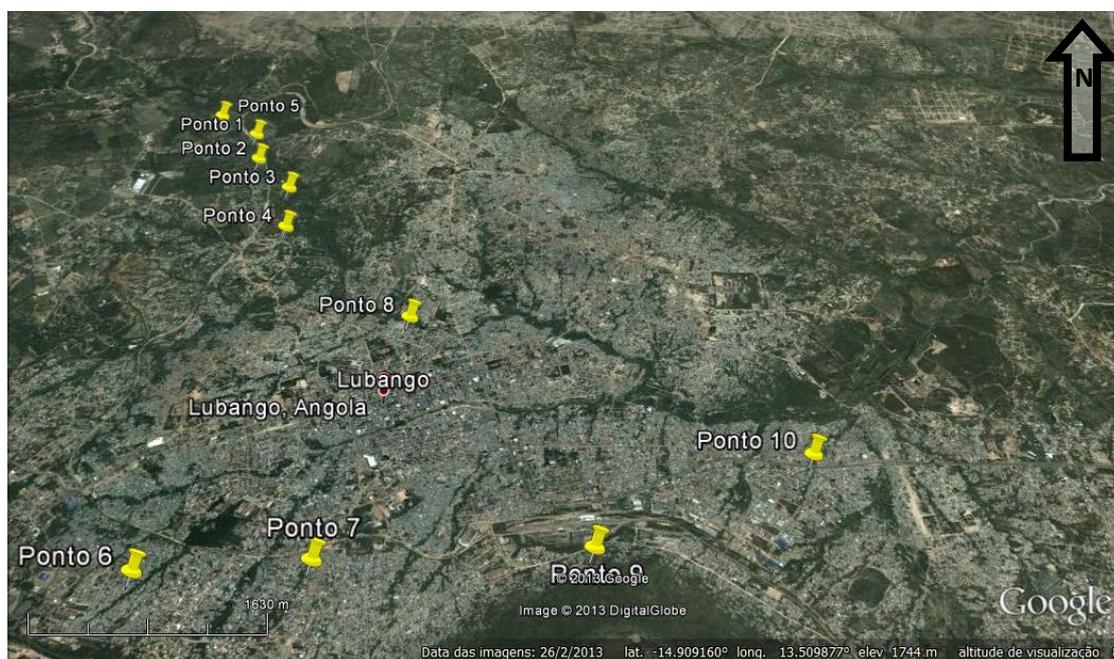


Figura 7-Localização dos pontos de amostragem (Fotografia aérea- Google Earth)

A nascente (P1), está localizada na zona rural e a sua zona envolvente é constituída por um solo desenvolvido sobre o granito alterado. A nascente corresponde a uma exurgência localizada num provável plano de falha materializado por um declive acentuado no terreno. A água é límpida e usada para consumo humano.

O furo (P5) está localizado na zona rural e foi feito para abastecimento da população que vive nessa zona. Os pontos P2 –P4 estão localizados na zona rural e são para consumo público. Todas as águas eram límpidas com exceção da água do ponto P4. Todos estes pontos de amostragem (P1- P5) estão implantados no granito alterado. O P2 está localizado numa linha de águas e o solo é muito argiloso e alagadiço. Nos pontos P3- P5 e solo era arenoso.

Os pontos P6 a P10 estão localizados na zona urbana, sendo três para consumo particular, pois localizam-se dentro das habitações. O ponto 9 está implantado em rochas do Grupo da Chela, enquanto os restantes pontos estão implantados no granito alterado (Fig.4).

As coordenadas geográficas e a profundidade da água, dos pontos de água amostrados, são dadas na tabela 3. Em todos os pontos de amostragem foi constatado que o nível da água está mais elevado pela manhã, quase atingindo o nível do solo e decresce com o consumo, mas os poços nunca secam, mesmo na época seca.

Tabela 3- Coordenadas geográficas dos pontos de água

Ponto de água	N	Latitude	Longitude	Altura	Utilidade
Furo	P 5	14°53.191'S	13°28.456'E	7 m	consumo público
Nascente	P 1	14°53.429'S	13°28.526'E	0,5 m	consumo público
Poço	P 2	14°53.680'S	13°28.759'E	4 m	consumo público
	P 3	14°54.008'S	13°28.812'E	3,5 m	consumo público
	P 4	14°52.999'S	13°28.195'E	3 m	consumo público
	P 6	14°56.122'S	13°28.672'E	4,5 m	consumo público
	P 7	14°56.063'S	13°29.382'E	3,5 m	consumo público
	P 8	14°54.670'S	13°29.587'E	4 m	Consumo particular
	P 9	14°56.006'S	13°30.537'E	5 m	consumo particular
	P 10	14°55.510'S	13°31.520'E	3 m	consumo particular

A primeira campanha foi efetuada durante os dias de 31 Janeiro e 1 de Fevereiro, correspondente à época de chuva de 2013. A segunda campanha foi efetuada em 30 Abril de 2013, no período de seca. Antes das campanhas o aparelho multiparamétrico usado para a determinação dos parâmetros físico-químicos foi calibrado no laboratório com as soluções fornecidas pelo fabricante.

A ordem de recolha das amostras foi mantida nas duas campanhas pois alguns parâmetros físico-químicos, nomeadamente a temperatura e a quantidade de oxigénio dissolvido apresentam variação diurna.

3.2. Análise *in Situ*

Para efetuar a caracterização hidrogeoquímica no campo determinou-se para cada ponto de amostragem de água:

- A geologia da zona envolvente (Fig.8a, b) , a medição da profundidade da água (nível de água), a profundidade dos poços, o uso da água, algumas características organoléticas (cor, turbidez) e as coordenadas geográficas.
- Para cada amostra no campo foram analisados os parâmetros físico-químicos da água tais como de pH, temperatura, condutividade elétrica (CE), TDS (total de

sólidos dissolvidos), oxigênio dissolvido e potencial redox (ORP) todos medidos com uma sonda multiparâmetros de marca HANNA, modelo HI9828 (Fig. 8c)

- Finalmente foram fotografados os locais de amostragem (geomorfologia).

Cada análise foi feita do seguinte modo:

- A sonda para o oxigênio dissolvido foi calibrada no local a 100% de saturação.
- A água era retirada dos poços com a ajuda de um recipiente.
- Colocava-se a sonda multiparâmetros na água a amostrar, agitava-se levemente a mesma, esperava-se que as leituras feitas ficassem mais estabilizadas e gravavam-se os dados.
- Os frascos de plástico para recolha, de 1,5 L foram passados 3 vezes pela água a amostrar eram totalmente cheios, para evitar que as amostras entrassem em contacto com o ar.
- Os frascos de plástico contendo a amostra foram rotulados.
- Finalmente as amostras de água, foram transportadas para o laboratório numa arca térmica com gelo.

Todo o equipamento utilizado para a amostragem de água na área, incluindo a sonda, recipientes de coleta de água, cuja capacidade é de 1,5 L, eram muito bem lavados (3 vezes) com água da própria amostra, minimizando o risco de contaminação cruzada durante a amostragem.



Figura 8-a e b-geologia da envolvente de alguns locais; c-uso do aparelho multiparamétrico

3.3. Metodologia no laboratório

As análises químicas foram feitas com um fotómetro de bancada de marca HANNA, modelo HI83200 (Fig. 9), que usa os princípios da fotometria. A determinação dos teores é feita por comparação da quantidade de radiação absorvida pela amostra não reagida com a quantidade de radiação absorvida pela amostra que reagiu com o reagente usado para determinar o analito em questão.



Figura 9- análise química com fotómetro de bancada de marca Hanna modelo HI83200

A lavagem de todo material de laboratório era muito bem feita com água desmineralizada. Durante o manuseamento das cuvetes que contêm a amostra, evitava-se tocar com os dedos nas paredes destas, com intenção de prevenir a aderência de gorduras e outras substâncias aderentes da pele, que poderiam dispersar a luz e comprometer o resultado das análises. As cuvetes eram muito bem secas para evitar danificar o fotómetro.

A alcalinidade, os nitratos e nitritos foram os primeiros parâmetros a serem analisados em laboratório e as suas determinações foram feitas no próprio dia da colheita, pois são parâmetros que se alteram facilmente com o passar do tempo em amostras não preservadas, como era o caso.

3.4. Determinação dos erros analíticos nas análises *in situ*

Os erros cometidos na análise com o multiparâmetros foram estimados pela repetição de 10 leituras numa amostra das colhidas nesta região e 6 leituras noutra amostra com características distintas, colhida noutra região (Tabela 4).

Foram feitos cálculos estatísticos nomeadamente média, desvio padrão e o erro analítico foi calculado pela seguinte fórmula: $\% \text{ erro} = 2 \times s \times 100 / X$ onde: s é o desvio padrão X é a média.

Tabela 4- cálculo do erro do multiparâmetro de marca Hanna 9828.

	T (°C)	pH	ORP (mV)	OD (% satu.)	OD (mg/L)	C.E. (µS/cm)	C.E. espec. (µS/cm)	SDT (mg/L)
cálculo do erro do multiparâmetros em 10 repetições								
	23,11	6,6	278,7	89	5,92	236	228	118
	23,15	6,5	300	89,1	5,92	236	228	118
	23,13	6,5	312,3	89,8	5,97	236	228	118
	23,08	6,5	320,6	90,4	6,02	237	228	118
	23,14	6,5	328,7	90,8	6,04	237	228	118
	22,79	6,5	330,3	92,5	6,19	238	228	119
	23,12	6,5	333,2	91,3	6,08	237	228	118
	23,1	6,6	328,1	93	6,19	237	229	119
	23,12	6,6	332,6	89	5,92	237	228	118
	23,11	6,6	332,1	90,9	6,05	237	229	119
média	23,09	6,5	319,66	90,58	6,03	236,8	228,2	118,3
desvpad	0,11	0,0	17,92	1,42	0,1	0,63	0,42	0,48
% erro	0,9	0,8	11,2	3,1	3,4	0,5	0,4	0,8
cálculo do erro do multiparâmetros em 6 repetições								
	22,96	7,25	275,2	44,3	2,94	1167	1122	583
	22,79	7,27	270,6	51,8	3,46	1174	1125	587
	22,87	7,28	269,3	53,3	3,55	1172	1125	586
	22,89	7,29	268	45,7	3,05	1172	1125	586
	22,89	7,28	267	41	2,73	1172	1125	586
	22,89	7,28	264,9	43,2	2,88	1174	1127	587
média	22,88	7,28	269,17	46,55	3,1	1171,83	1124,83	585,83
desvpad	0,05	0,01	3,54	4,92	0,33	2,56	1,6	1,47
% erro	0,5	0,4	2,6	21,1	21,3	0,4	0,3	0,5

T: temperatura; ORP: potencial de oxirredução; pH: potencial Hidrogeniônico; C.E: condutividade elétrica; C.E espec: condutividade elétrica específica; TDS: total de sólidos dissolvidos; OD: oxigênio dissolvido (mg/L); OD (% satu): oxigênio dissolvido % de saturação).

Concluindo os erros analíticos cometidos pelo uso do multiparâmetros são muito baixos, atingindo 11,2% no ORP e 21,3% no OD.

4. RESULTADOS

4.1. Parâmetros físico-químicos

Os valores de temperatura da água da zona rural variaram de 21 a 22 °C e variaram de 21 a 24 °C nas águas da zona urbana durante o período de chuvas, enquanto, que no período de seca observou-se um valor mínimo de 21°C e máximo de 23 °C nas águas da zona rural e nas águas da zona urbana os valores variaram de 21 a 22 °C (Tabela 5, Fig. 10-11). Os valores médios de temperatura são semelhante nas águas amostradas nas duas zonas e nas duas campanhas (Tabela 5).

Os valores de pH variaram de 6,2 a 6,9 nas águas da zona rural e de 4,8 a 7,5 nas águas da zona urbana, durante a época de chuvas, por enquanto que, na época seca estes variaram de 6,1 a 6,7 na zona rural e já na zona urbana os valores variaram de 4,6 a 7,4. Os valores da média e de desvio padrão não indicam quaisquer diferenças significativas. (Tabela 5 e Fig.10-11).

Os valores de ORP variaram de (77,9 a 195 mV) nas águas da zona rural e de (142,4 a 343,6 mV) nas águas da zona urbana, isto na época de chuvas, por enquanto que, na época seca os valores de ORP variaram entre (-81,9mV a 207,4mV) nas águas da zona rural e nas águas da zona urbana variaram de (22,5 a 352,2 mV) (Tabela 5). Os valores da média deste parâmetro indicam que as águas da zona urbana possuem valores de ORP superiores aos das águas da zona rural, nas duas campanhas. Em ambas as zonas observou-se uma diminuição dos valores de médios ORP na época seca, ou seja houve uma distinção significativa de acordo a sazonalidade (Tabela 5, e Fig.10-11).

Os valores de oxigénio dissolvido nas águas na zona rural variaram de (0,76 a 3,14 mg/L) e de (1,26 a 5,28 mg/L) nas águas da zona urbana durante a época de chuvas e na época seca os teores deste parâmetro variaram de (0,85 a 3,71mg/L) nas águas da zona rural e de (0,95 a 2,54 mg/L) nas águas da zona urbana. De acordo com os valores médios não há diferenças nítidas nas duas zonas (rural e urbana), mas há um decréscimo nos valores médios nas duas zonas entre na época seca (Tabela 5, Fig.10-11).

Caraterização hidrogeoquímica das águas subterrâneas nas zonas rural e urbana na
região de Lubango
Bartolomeu Madaleno Nóbrega Cavantchane

Tabela 5-Valores determinados dos parâmetros físico-químicos nas épocas de chuva (1ª campanha de amostragem- Janeiro) e de seca (2ª campanha - Abril) respetivamente.

Primeira campanha de amostragem															
Zona rural									Zona urbana						
Parâmetros	Unidades	Ponto 5	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Média	s	Ponto 6	Ponto 7	Ponto 8	Ponto 9	Ponto10	Média	s
Temperatura	°c	22	21	22	20.9	21.9	21.5	0.56	22.2	21.7	23.7	20.9	22.4	22.2	0.9
ORP	mV	195	164.3	77.9	118.9	107.1	132.6	41.78	343.6	270.7	230.5	236.6	142.4	244.8	65.1
pH		6.5	6.4	6.2	6.7	6.9	6.5	0.25	4.8	5.4	6.5	7.5	6.5	6.2	0.9
Oxigénio dissolvido	% saturação	44.6	17.4	10.8	17.4	65.2	31.1	20.65	18.9	17.7	29.6	73.4	26.3	33.2	20.6
Oxigénio dissolvido	mg/L	3.14	1.25	0.76	1.25	4.57	2.2	1.44	1.33	1.26	2.04	5.28	1.86	2.4	1.5
Total Sólidos Dissolvidos	mg/L	47	203	105	161	148	132.8	53.08	90	120	350	291	166	203.4	100.4
Cond. Eléctrica específica	mS/cm	95	407	210	323	295	266	106.2	181	240	701	582	332	407.2	200.8
Cond. Eléctrica	mS/cm A	90	374	198	297	278	247.4	96.58	171	225	684	537	316	386.6	194.2
Segunda campanha de amostragem															
Zona rural									Zona urbana						
Parâmetros	Unidades	Ponto 5	Ponto 1	Ponto 2	ponto 3	Ponto 4	Média	s	Ponto 6	Ponto 7	Ponto 8	Ponto 9	Ponto10	Média	s
Temperatura	°c	22.33	20.97	21.71	20.98	22.36	21.7	0.61	21.73	21.26	23.13	21.06	21.39	21.7	0.7
ORP	mV	207.4	67.3	-81.9	86.5	58	67.5	92.03	352.2	119.3	142.2	47.2	22.5	136.7	116.5
pH		6.27	6.12	6.26	6.49	6.68	6.4	0.2	4.58	5.44	6.49	7.42	6.78	6.1	1
Oxigénio dissolvido	% saturação	53.1	13.3	12	14.6	39	26.4	16.67	14.3	13.3	21.3	35.7	30.7	23.1	8.9
Oxigénio dissolvido	mg/L	3.71	0.96	0.85	1.05	2.73	1.9	1.15	1.01	0.95	1.47	2.54	2.19	1.6	0.6
Total Sólidos Dissolvidos	mg/L	79	209	120	155	142	141	42.68	181	278	542	519	797	463.4	216.6
Cond. Eléctrica específica	mS/cm	157	419	241	309	285	282.2	85.81	363	557	1084	1037	1595	927.2	433.1
Cond. Eléctrica	mS/cm A	149	387	226	286	270	263.6	77.87	340	517	1046	960	1485	869.6	405.7

A condutividade elétrica específica variou de 95 a 407 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na zona rural e de 181 a 701 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na zona urbana, valores estes referentes a época chuvosa; durante a época seca os valores variaram de 157 a 419 $\mu\text{S}/\text{cm}$ nas águas da zona rural e nas águas da zona urbana variaram de 363 a 1595 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tabela 5, Fig.10-11).

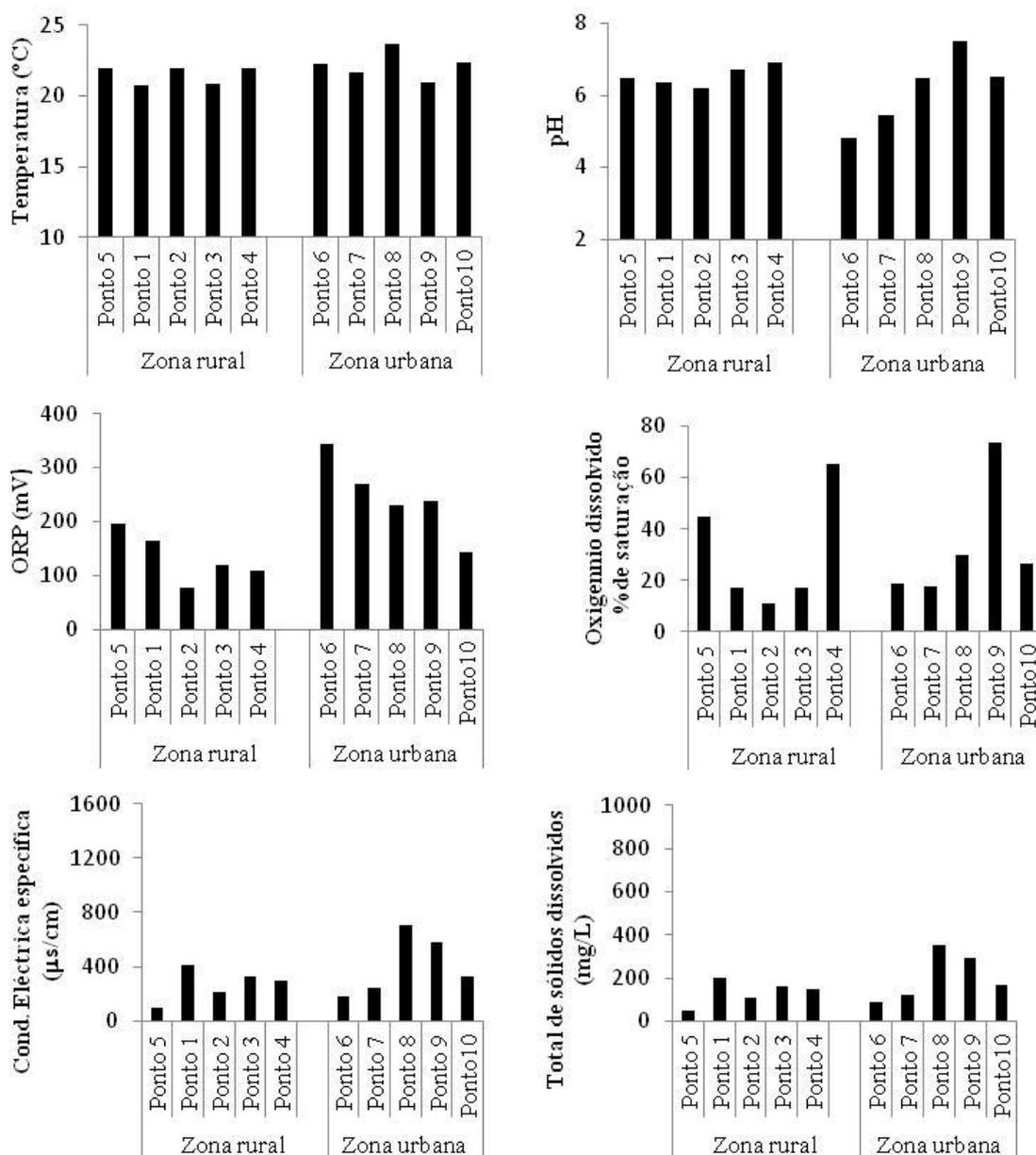


Figura 10- Variação dos teores dos parâmetros físico-químicas das águas subterrâneas nas zonas rural e urbana, na região do Lubango, analisados em Janeiro de 2013- época de chuvas

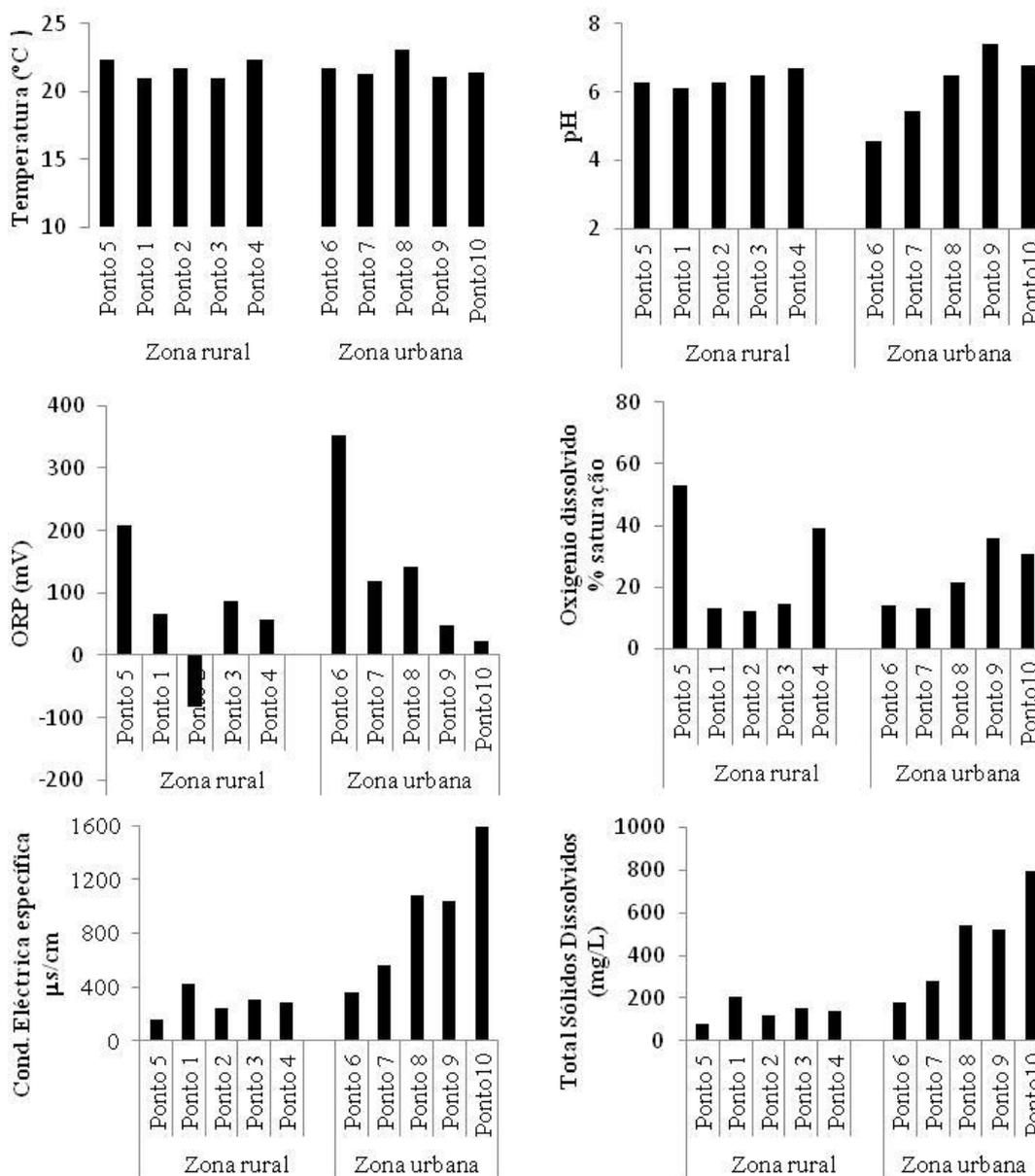


Figura 11- Variação dos teores dos parâmetros físico- químicos das águas subterrâneas nas zonas rural e urbana, na região do Lubango, analisados em Abril de 2013- época seca.

Os valores médios, num cômputo global, mostram que as águas da zona urbana possuem condutividades elétricas mais elevadas do que as águas da zona rural e que os valores deste parâmetro aumentam na época seca (Tabela 5, Fig.10-11), especialmente nas águas da zona urbana.

A concentração do Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) é calculada pelo aparelho multiparamétrico através dos valores da condutividade elétrica pelo que as variações encontradas para o TDS, os valores são os mesmos que os encontrados para a condutividade elétrica. A concentração total de sais dissolvidos nas águas da zona urbana atinge 797 mg/L na época seca, enquanto que nas águas da zona rural, nesta época, o TDS apenas atinge 155 mg/L (tabela 5e Fig.10-11).

4.2. Espécies químicas

As espécies químicas analisadas foram a alcalinidade ($\text{mg/L}_{\text{CaCO}_3}$), os teores de nitratos (mg/L), amónia (mg/L), cloro total (mg/L), fosfatos (mg/L), zinco (mg/L), magnésio (mg/L) e o ferro ($\mu\text{g/L}$), (Tabela 6).

Os valores da alcalinidade variaram de 85 a 190 $\text{mg/L}_{\text{CaCO}_3}$ nas águas da zona rural e nas águas da zona urbana variaram de 55 a 195 $\text{mg/L}_{\text{CaCO}_3}$, (Fig. 12), sendo os valores médios de 131 e 115 mg/l respetivamente (Tabela 6)

O teor de nitratos variou de 0,0 a 105 mg/L nas águas da zona rural e de 5,3 a 86,4 $\text{mg/L}_{\text{NO}_3}$ nas águas da zona urbana, sendo as médias dos teores semelhantes entre as duas zonas (Fig.12e Tabela 6). Os nitritos foram apenas detetados em duas amostras da zona urbana P6 e com teores de 0,11 e 0,88 mg/L respetivamente.

Os valores de amónia variaram de 0,04 a 0,24 mg/L nas águas da zona rural e de 0,09 a 0,11 mg/L nas águas da zona urbana (Tabela 6, Fig. 12). O valor médio dos teores de amónia, das águas na zona rural (0,11 mg/L), é superior ao teor médio de amónia das águas amostradas na zona urbana (0,09 mg/L), (Tabela 6).

As concentrações de cloro total variaram de (0,03 a 0,11 mg/L) nas águas da zona rural e de (0,06 a 0,09 mg/L) nas águas da zona urbana, sendo as médias dos valores semelhantes (Tabela 6 e Fig. 12).

O teor de fosfatos variou de 0,38 a 1,59 mg/L nas águas da zona rural e de 0,24 a 0,88 mg/L nas águas da zona urbana, sendo o valor médio superior nas águas da zona rural (Tabela 6, Fig. 12).

O zinco foi apenas encontrado numa amostra de água da zona urbana sendo o valor de (0,09 mg/L). Não houve variação dos teores de magnésio nas águas da zona rural, ou seja, teve um valor constante 15 mg/L enquanto, que nas águas da zona urbana variaram de (5 a 20 mg/L) (Tabela 6 e Fig. 11). A concentração de ferro nas águas da zona rural variou de (0 a 55 $\mu\text{g/L}$) e variou de (25 a 247 $\mu\text{g/L}$) nas águas da zona urbana, que apresentaram um valor médio de (103,8 $\mu\text{g/L}$) enquanto o valor médio nas águas da zona rural foi de 32 $\mu\text{g/L}$ (Tabela 6, Fig.13).

Foi calculada a matriz de correlação entre as várias variáveis analisadas para averiguar da sua interdependência. Contudo a matriz obtida (Anexo1) mostrou que não há relação entre os vários parâmetros analisados nas águas.

Caraterização hidrogeoquímica das águas subterrâneas nas zonas rural e urbana na
região de Lubango
Bartolomeu Madaleno Nóbrega Cavantchane

Tabela 6-Valores determinados das espécies químicas nas épocas de chuva (Janeiro de 2013).

Parâmetros	Unidades	Zona rural							Zona urbana					Média	s
		Ponto 5	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Média	s	Ponto 6	Ponto 7	Ponto 8	Ponto 9	Ponto 10		
Alcalinidade	mg/L de CaCo3	105	190	120	155	85	131,00	41,74	55	80	195	95	150	115,00	56,68
Nitratos	mg de N03	0,0	23,0	105,0	77,9	11,1	43,40	45,62	38,5	30,1	74,0	86,4	5,3	46,85	33,05
Amónia	mg/L	0,05	0,07	0,04	0,13	0,24	0,11	0,08	0,09	0,09	0,07	0,11	0,09	0,09	0,01
Cloro Total	mg/L	0,04	0,06	0,03	0,11	0,2	0,09	0,07	0,07	0,07	0,06	0,09	0,07	0,07	0,01
Fosfato	mg/L	0,82	0,68	0,49	0,38	1,59	0,79	0,48	0,29	0,24	0,37	0,28	0,88	0,41	0,27
Zinco	mg/L	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld			<ld	<ld	<ld	0,09	<ld		
Magnésio	mg/L	15	15	15	15	15	15,00	0,00	5	15	15	20	10	13,00	5,70
Ferro	µg/L	29	55	44	0	32	32,00	20,65	149	25	33	247	65	103,80	93,91

Nitritos foram detetados nas amostras P6 e P8 com valores de 0,11 e 0,88 mg/L.

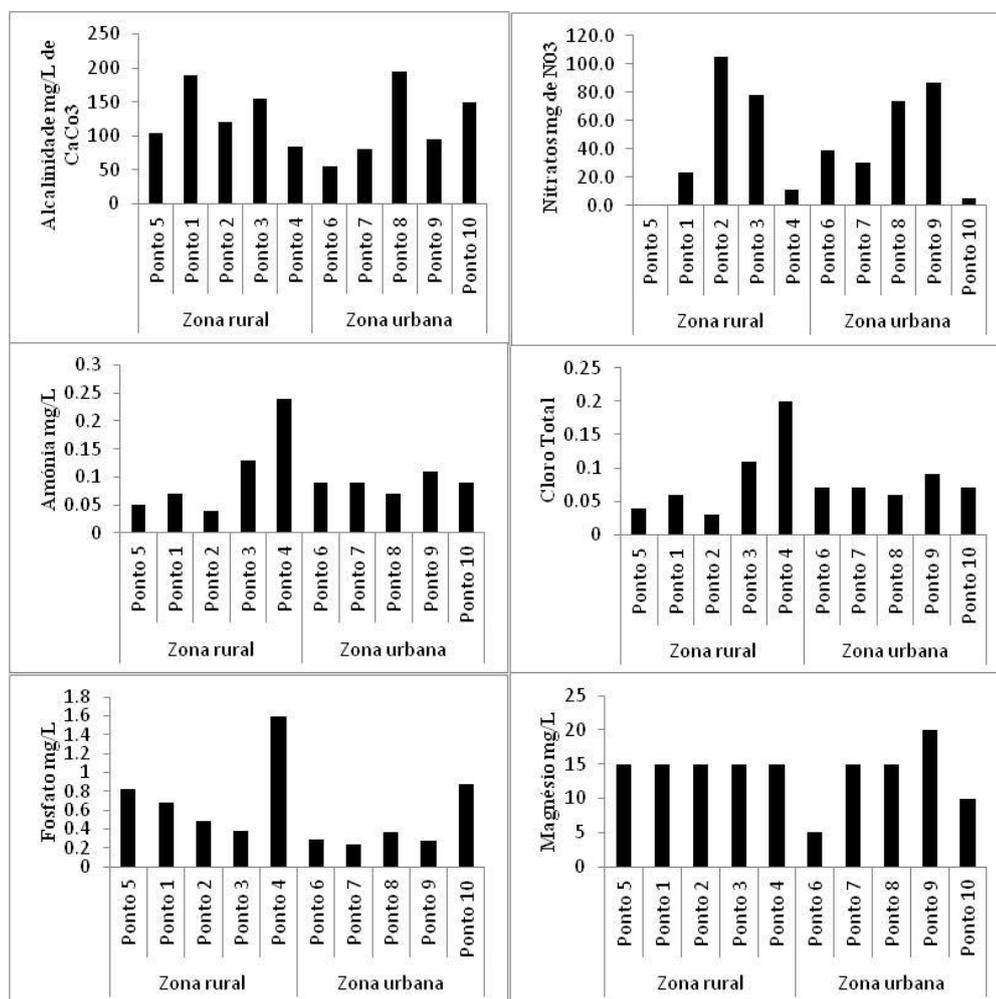


Figura 12- Variação dos teores de algumas espécies químicas das águas subterrâneas nas zonas rural e urbana na região do Lubango, analisados em Janeiro de 2013.

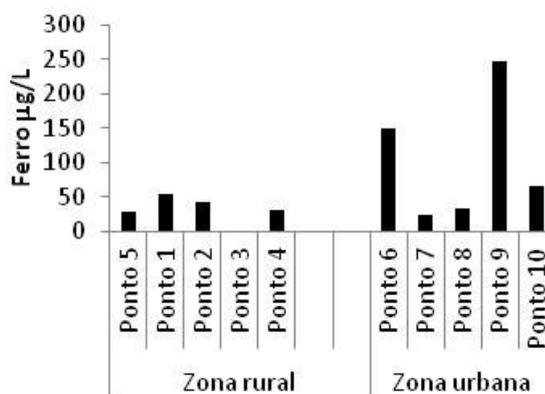


Figura 13- Variação dos teores de ferro das águas subterrâneas nas zonas rural e urbana, na região do Lubango, analisados em Janeiro de 2013

4.3. Comparação entre os dois tipos de água analisados

Dos dados recolhidos pode dizer-se que as águas da zona rural apresentam valores de alguns parâmetros distintos, dos determinados nas águas da zona urbana nas duas campanhas e que parece haver alguma variação com a sazonalidade. Contudo se bem que sejam os valores médios que dão estas indicações os valores do desvio padrão são muito elevados e o número de amostras é reduzido.

Para se saber se as diferenças são estatisticamente significativas, para um nível de significância de 0,05, foi aplicado o teste t-Student. Este teste só deve ser aplicado numa população que tenha uma distribuição normal de valores. Como os valores das variáveis geoquímicas seguem uma lei de distribuição normal foi aplicado este teste, portanto considerando que a nossa amostra provém de uma população com distribuição normal. Fez-se a comparação entre os valores dos parâmetros analisados nas águas da zona rural e da zona urbana considerando o conjunto de dados obtidos nas duas campanhas.

Ho: $\mu_{\text{rural}} = \mu_{\text{urbana}}$ vs H1: $\mu_{\text{rural}} \neq \mu_{\text{urbana}}$

Seguidamente aplicou-se novamente o teste t-Student (t-test), com o objetivo de verificar se existiam diferenças estatisticamente significativas entre as amostras colhidas nas épocas seca e húmida.

Ho: $\mu_{\text{seca}} = \mu_{\text{húmida}}$ vs H1: $\mu_{\text{seca}} \neq \mu_{\text{húmida}}$

Os valores obtidos no teste são dados na Tabela 7. Para um nível de significância de 0,05, $\alpha=0,05$. Se $p\text{-value} < \alpha$, rejeita-se Ho, ao nível de significância 0,05.

Pelo t-test, verifica-se que as águas da zona rural e da zona urbana não são significativamente, ao nível 0,05, diferentes para a maioria dos parâmetros analisados (Tabela 7). Apenas para TDS, considerando o conjunto total dos dados, os dois tipos de água são distintos, contudo o valor de t-test para o ORP é próximo (0,06) do valor t-crítico (0,05).

Tabela 7- *P-value* obtidos no teste t-Student para duas variâncias desiguais com o nível de significância <0,05

	Total dados	Total dados	Época chuva	Época seca
Comparação	zona rural / zona urbana	época seca / época chuva	zona rural / zona urbana	zona rural / zona urbana
pH	0,375	0,802	0,453	0,687
ORP	0,060	0,073	0,024	0,380
OD	0,999	0,348	0,828	0,739
TDS	0,023	0,122	0,260	0,040
Alcalinidade		-	0,626	-
Amónia		-	0,690	-
Fosfato		-	0,169	-
Cloro total		-	0,638	-
Nitratos		-	0,895	-
Magnésio		-	0,477	-
Ferro		-	0,164	-

ORP: potencial de oxirredução; OD: oxigénio dissolvido; TDS: total dos sólidos dissolvidos.

Verificou-se também, pelo t-test, que o total das águas analisadas não mostram diferenças significativas na sua composição com a sazonalidade, pois todos os valores t-test calculados são superiores a 0,05 (Tabela 7), mas que o valor t-test calculado para ORP é de 0,073.

Fazendo a comparação entre os dois tipos de águas (zona rural e urbana), tendo em conta a sazonalidade, observou-se que t-test para ORP é < t-crítico na época de chuva e que t-test é menor que t-crítico para TDS na época seca. Portanto na época das chuvas as águas da zona rural e da zona urbana apresentam valores distintos de ORP e na época seca as águas da zona rural e da zona urbana apresentam valores distintos de TDS. Para os outros parâmetros físico-químicos e espécies químicas analisadas não há distinção entre os dois tipos de água, nem com a sazonalidade.

5. DISCUSSÃO E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE

5.1. Hidrogeoquímica das águas analisadas

5.1.1. Temperatura

A solubilidade dos gases na água é inversamente proporcional à temperatura, ou seja quanto maior for a temperatura da água, menor será a sua capacidade em conter os gases, nomeadamente o oxigénio, o que influencia o potencial de oxirredução e o dióxido de carbono, o que influencia o pH. Assim sendo este parâmetro é de grande importância, devido à sua influência na solubilidade dos gases, mas também nas taxas das reações químicas, na solubilidade dos sais e na atividade metabólica microbiana, isto é, taxa de crescimento dos microrganismos.

As águas subterrâneas apresentam uma temperatura não influenciada pelas mudanças da temperatura ambiente, com exceção dos aquíferos freáticos pouco profundos (Atkins, 2001), como é o caso do aquífero amostrado. Os valores de temperatura das águas subterrâneas amostradas variaram de 21 °C até 23,72°C, mas a temperatura manteve-se mais ou menos constante, próximo de 22 °C nas duas zonas nas duas épocas, não sendo de apontar diferenças muito explícitas (Tabela 5, 6 e Fig. 10), pois as variações de temperatura do ar também são pequenas na região do Lubango. Assim as variações encontradas nos parâmetros físico-químicos das águas amostradas, não são condicionados pela temperatura da água.

5.1.2. pH

O pH é um parâmetro que depende da atividade química de H^+ e OH^- . Para a água pura é considerado que o valor de pH é igual a 7,0 a 25 °C considerando-se este valor como neutro (Schoeller, 1962). Os valores de pH das águas da zona rural mantiveram-se entre 6-7 nas duas épocas, apresentando grandes variações nas águas da zona urbana, entre 4,6 a 7,5. O teste t-student mostrou que não há diferença estatística significativa entre os valores de pH das águas das duas zonas, mas na zona urbana há maior dispersão dos valores deste parâmetro e mostrou também que não há variação com a sazonalidade.

O Decreto-Lei nº 306/2007 da Lei Portuguesa indica que uma água para consumo humano deverá ter um pH entre 6,5 e 9 unidades de pH, pelo que as águas amostradas, na generalidade, possuem valores dentro deste intervalo, com exceção das águas dos pontos P6 (4,8 – 4,6) e P7 (5,4), ambos localizados na zona urbana, que são ligeiramente ácidas.

5.1.3. Potencial oxidação redução

Em águas subterrâneas os possíveis oxidantes são o O_2 , Fe^{3+} e o SO_4 e os possíveis redutores são a matéria orgânica, Fe^{2+} , S, NH_4^+ , $Fe(OH)_2$ (Custódio e Llamas, 1983). O valor mais baixo de ORP (-81,9 mV) foi encontrado no ponto P2 na época de chuva. A água analisada neste ponto é a que possui sempre os menores valores de ORP (Tabela 5, Fig. 10-11). Tal pode dever-se às características do solo que era argiloso, o que impede uma boa oxigenação. Pode também ser devido à existência de maior quantidade de matéria orgânica no solo.

O test-t mostrou que na época de chuva os valores de ORP das águas da zona rural são significativamente inferiores aos das águas da zona urbana (Tabelas 7 e 9). Tal pode dever-se à maior lixiviação de compostos orgânicos dos solos pela água da chuva, cuja decomposição origina condições mais redutoras.

Foi feita a projeção das amostras no diagrama Eh-pH das águas naturais. Para tal foi necessário transformar os valores de ORP em valores de Eh de acordo com (Nordstrom e Wilde, 2005). A projeção no diagrama Eh-pH mostra que as águas do ponto P6 possuem valores de Eh-pH semelhantes aos das águas das chuvas e as outras águas analisadas possuem valores de Eh-pH, semelhantes aos das águas dos rios ou intermédios entre estas e as águas subterrâneas (Fig.14). Tal pode ser explicado pelo facto do aquífero ser do tipo freático e de baixa profundidade. Também se pode verificar que há uma tendência para que as amostras colhidas na época seca se localizam mais próximas do campo ocupado no diagrama pelas águas subterrâneas, pois possuem valores de Eh mais baixos.

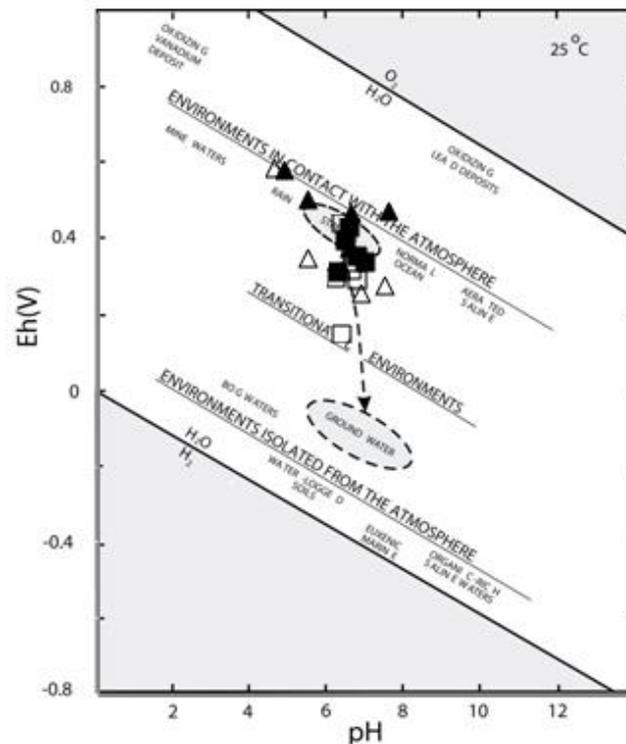


Figura 14- Diagrama Eh-pH das águas analisadas. Modificado de Colombo et al. (2008). Símbolos- cheios: campanha na época de chuva; abertos: campanha na época seca; quadrados- águas da zona rural; triângulos: águas da zona urbana.

5.1.4. Condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos

Os minerais sofrem dissolução em contacto com a água, através da qual resultam partículas carregadas eletricamente denominadas de iões. Estes subdividem-se em aniões e catiões, consoante a sua carga é, respetivamente, negativa ou positiva, e originam o aparecimento de um eletrólito, isto é, a água torna-se condutora de corrente elétrica. Qualquer tipo de água contém, portanto, aniões e catiões em quantidades variáveis, que dependem do tempo e da natureza das formações geológicas e do tipo de solo que a água atravessa.

A condutividade elétrica é definida como a capacidade da água para conduzir eletricidade. Reflete a quantidade total de substâncias iónicas dissolvidas, isto é, representa o carácter mineral da água. É considerada um parâmetro importante, porque

os seus valores são diretamente proporcionais à quantidade de sólidos totais dissolvidos na água (TDS) e, portanto, é um indicador direto de uma potencial contaminação (Custodio e Lhamas, 1976). É um parâmetro muito influenciado pela temperatura da água, pelo que se deve determinar também a condutividade elétrica específica.

Os valores da condutividade elétrica específica, considerando ambas as campanhas, variaram de 95 e 419 $\mu\text{S}/\text{cm}$ nas águas da zona rural e entre 181 e 1595 $\mu\text{S}/\text{cm}$, nas águas da zona urbana (Tabela 5). Os valores da condutividade elétrica indicam diferença nas águas amostradas nas duas zonas, sendo as águas da zona urbana as que possuem maiores valores deste parâmetro.

O total de sólidos dissolvidos (TDS) é determinado a partir dos valores da condutividade elétrica medida com o condutivímetro do aparelho multiparâmetros, pelo que neste caso possuem o mesmo significado. As águas da zona urbana são significativamente distintas das águas da zona rural, em termos da sua mineralização total (expressa pela condutividade elétrica ou pelo TDS), sendo mais mineralizadas.

As características do solo são semelhantes nas duas zonas, tratando-se de solos arenosos desenvolvidos sobre o mesmo tipo de granito alterado, pelo que os maiores dos valores de TDS que se observam nas águas da zona urbana podem ser devidos ao maior impacto antrópico nas águas da zona urbana. Tal concorda com (Isaías, 2010) que também encontrou maiores valores na condutividade elétrica, nas águas superficiais na região urbana de Lubango, quando comparadas com as águas superficiais na região rural. Contudo deve notar-se que esta distinção só é bem vincada na época de seca, se bem que não haja diferença significativa entre os dois tipos de águas em função da sazonalidade (Tabela 7).

Segundo o padrão de potabilidade da (WHO, 2008), o limite máximo permissível de TDS na água é de 1000 mg/L. As águas amostradas apresentam valores máximos TDS inferiores (Tabela 5), pelo que as águas analisadas possuem valores de TDS admissíveis.

5.1.5. Oxigénio dissolvido

O oxigénio encontra-se geralmente dissolvido em pequenas quantidades na água subterrânea e a sua concentração é diretamente proporcional à pressão e inversamente proporcional à temperatura da água (Santos, 2000).

O oxigénio dissolvido é a quantidade de oxigénio dissolvido na água. Este parâmetro é muito importante, pois afeta as reações redox nas águas subterrâneas. De modo que, se as águas tiverem altas concentrações de oxigénio dissolvido podem produzir espécies oxidadas e se o oxigénio estiver em baixas concentrações a água agirá como um agente redutor, que colocará os elementos presentes em estado reduzido.

Em geral as espécies redutoras são muito tóxicas à saúde humana (por exemplo As^{III} é mais tóxico do que As^V) mas existem algumas, que também o são na forma oxidada (por ex. Cr^{VI}), por outra o oxigénio dissolvido também desempenha um papel importante na atividade de micro-organismos. Portanto os teores do oxigénio dissolvido (OD) nas águas são de capital importância na avaliação das condições naturais das águas.

Os teores de oxigénio dissolvido das águas subterrâneas variaram de 0,76 a 4,57 mg/L na zona rural e 1,26 a 5,28 mg/L na zona urbana, tendo sido observado os máximos na zona urbanizada e o mínimo na zona rural. Os valores de oxigénio dissolvido nas águas amostradas são baixos devido a falta de aeração ou seja, por serem águas subterrâneas. A (WHO, 2008) e o DL n° 306/2007 recomenda que na água para consumo humano a concentração de OD deve exceder 5 mg/L. Os locais caracterizados como P4 e P9 apresentam valores próximos (Tabela 5, Fig. 10).

Não há distinção entre os teores de oxigénio dissolvido, nos dois tipos de águas nem há distinção nos valores deste parâmetro com a sazonalidade (Tabela 7). Também não foi encontrada relação entre o ORP e os teores de oxigénio dissolvidos nas águas amostradas.

5.1.6. Alcalinidade

A alcalinidade da água é uma propriedade que é principalmente devida à presença de ácidos fracos e/ou a bases fortes ou fracas dissolvidos. Estas substâncias são capazes de neutralizar ácidos, pelo que se considera a alcalinidade duma água como a medida da sua capacidade para neutralizar ácidos (Peavy, et al., 1985). As principais espécies de iões que contribuem para a alcalinidade nas águas naturais são: CO_3^{2-} , HCO_3^- , OH^- , HSiO_3^- , H_2BO_3^- , HPO_4^{2-} , e HS^- (Peavy et al., 1985).

A determinação da alcalinidade é feita para conhecer a aplicabilidade da água para rega ou para indústria, a caracterização da água corrente e conseqüente monitorização. Os principais impactes da alcalinidade na saúde humana têm a ver com o facto de as águas com alta alcalinidade serem geralmente duras o que pode originar problemas renais. Outro aspecto, que tem a ver com o fato, de as águas com alta alcalinidade possuírem gosto desagradável. Águas industriais com alta alcalinidade são corrosivas para as estruturas.

Os valores de alcalinidade observados variaram, nas águas da zona rural, de 85 a 190 mg/L e de 55 a 195 mg/L nas águas da zona urbana, tendo sido observado os valores mínimos e os máximos na zona urbana (Tabela 6, Fig. 12). Estes valores são semelhantes aos encontrados em aquíferos em rochas graníticas (Sangole et al., 2012). A WHO (2008) e o DL nº306/2007 não indicam valores limite para a alcalinidade ou dureza total.

5.1.7. Nitratos e nitritos

A maioria dos compostos de azoto, como agentes oxidantes encontra-se sob a forma de NO_3^- . Nitratos e nitritos são nutrientes de plantas e em excesso provocam crescimento anormal de algas em águas superficiais. Como o ião nitrato é muito solúvel, em condições normais de temperatura e pressão, facilmente se infiltra, o que provoca poluição dos aquíferos. A maior fonte de nitrato para as águas superficiais e subterrâneas em zonas rurais é a agricultura devido à aplicação excessiva de fertilizantes no solo os adubos azotados.

A contaminação por nitratos nas águas das zonas urbanas deve-se essencialmente à lixiviação de solos aos quais foram adicionados efluentes domésticos (resíduos orgânicos, águas residuais, efluentes de fossas sépticas). A adição pode ser pontual, por exemplo uma rotura numa canalização de esgoto ou pode ser difusa devido à dispersão de lixos orgânicos nos solos. A presença de nitratos indica contaminação da água subterrânea por atividade antrópica.

O estudo de azoto nítrico é importante para avaliar a presença de compostos orgânicos lançados recentemente no corpo de água e o provável consumo de oxigénio no processo de nitrificação. O azoto nítrico em altas concentrações nas águas de consumo pode provocar graves problemas de saúde em crianças de tenra idade. O nitrato é transformado em nitrito no tubo digestivo de bebés, sendo absorvido pelo sangue. Neste, liga-se à hemoglobina, impedindo o transporte de oxigénio pelo sangue o que pode provocar morte por asfixia em bebés.

De acordo com as normas de potabilidade da (WHO, 2008), uma água para consumo humano não deve ter mais do que 50 mg/L. Na generalidade nas águas amostradas, os teores de nitrato estão abaixo deste valor, contudo valores de 77,9 e de 105 mg/L, foram encontrados nas águas de dois poços da zona rural, P2 e P3, respetivamente, e nas águas da zona urbana foram encontrados teores de 74 a 86,4 mg/L em P8 e P9 respetivamente

A presença de nitrito na água subterrânea é um indicativo de poluição recente, pois os nitritos são facilmente oxidados a nitratos. Nas águas amostradas apenas foram detetados nitritos nas águas da zona urbana nos pontos P6 e P8, que possuíam 0,88 e 0,11mg/L, respetivamente. Portanto a água do poço P6 está poluída por nitratos de acordo com a Lei Portuguesa (DL nº 306/2007), cujo valor limite é de 0,5 mg/L.

5.1.8. Amónia

A amónia (NH₃) em altas concentrações é sinal de poluição orgânica recente das águas. Nas águas em estudo os teores de amónia variaram de 0,05 a 0,24 mg/L na zona rural e de 0,09 a 0,11mg/L na zona urbana e não há diferença nos teores de amónia entre os

dois tipos de águas. A (WHO, 2008) e o (DL n° 306/2007) indicam que o limite máximo recomendado para a amónia em águas para consumo humano é 0,50 mg/L, o que significa que as águas nas duas zonas não estão contaminadas em amónia.

5.1.9. Cloro Total

O cloro é geralmente solúvel em água em condições ambientais (25 ° C e 1 atm). Nas águas da zona rural os teores de cloro total variam de 0,2 a 0,11 mg/L e variaram de 0,6 a 0,9 mg/L, nas águas da zona urbana, conforme vê-se na figura 12. De acordo com o teste t-Student não há diferença significativa entre os valores destes teores.

5.1.10. Fosfatos

O fósforo encontra-se em águas naturais e residuais, quase exclusivamente na forma de fosfato. A concentração de fósforo em águas não poluídas pode ser baixa (< 0,5 mg/L), contudo, valores acima de 1,0 mg/L WHO (2008) indicam que águas estão poluídas. O fósforo pode estar presente na massa de água devido à ação antrópica, derivado de detergentes, efluentes domésticos, inseticidas e pesticidas. Nas águas analisadas foram encontrados alguns valores de fosfato acima do limite máximo admissível (WHO, 2008) (1,0 mg/L). Os locais com valores mais altos foram o P4 (1,59 mg/L) situado na zona rural (Tabela 6) e nas águas da zona urbana foi detetado valor muito perto do valor paramétrico no ponto P10 com 0.88 mg/L.

5.1.11. Metais (Mg, Fe e Zn)

Não houve variação dos teores de magnésio nas águas na zona rural, ou seja, apresentaram um valor constante 15 mg/L enquanto, que na zona urbana os teores de Mg nas águas variaram de 5 a 20 mg/L e não há diferença significativa entre os teores de Mg nos dois tipos de água. Os padrões de potabilidade da água para consumo (WHO, 2008) indicam 50 mg/L, o (DL n° 306/2007) não determina um valor mínimo

admissível para o magnésio. Os valores observados encontram-se todos abaixo do valor exigido pela (WHO, 2008).

O ferro geralmente encontra-se sob várias formas na natureza (Santos, 2000), sendo geralmente a forma de Fe^{+3} (hidróxido férrico) e sob a forma de Fe^{+2} (hidróxido ferroso). Nas águas pode aparecer sob a forma de vários iões (Fig.15), dependentes do pH e Eh das águas.

Segundo a (WHO, 2008) um de seus principais impactes na saúde humana é que o excesso de ferro provoca demência, problemas cardíacos e diabetes e a sua carência pode provocar anemia. Dos valores observados o teor de ferro apenas excedeu o limite máximo admissível no ponto P9 (247 $\mu\text{g/L}$) e foi encontrado na zona urbana na época seca. segundo o (DL nº 306/2007) o valor paramétrico recomendado é 200 $\mu\text{g/L}$.

O teor médio de ferro nas águas da zona urbana é muito superior ao das águas da zona rural (Fig. 13), mas o desvio padrão é alto e o número de amostras é pequeno, pelo que não há diferença significativa nos teores de ferro entre os dois tipos de água (Tabela 7).

A projeção no diagrama Eh-pH (Fig. 15) mostra que para as condições de pH e Eh determinadas das águas, o ferro estará essencialmente sob a forma de ião $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$, mas também ocorre sob a forma de ião simples Fe^{2+} , principalmente na época seca, e também sob a forma de hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$ nas águas da zona urbana.

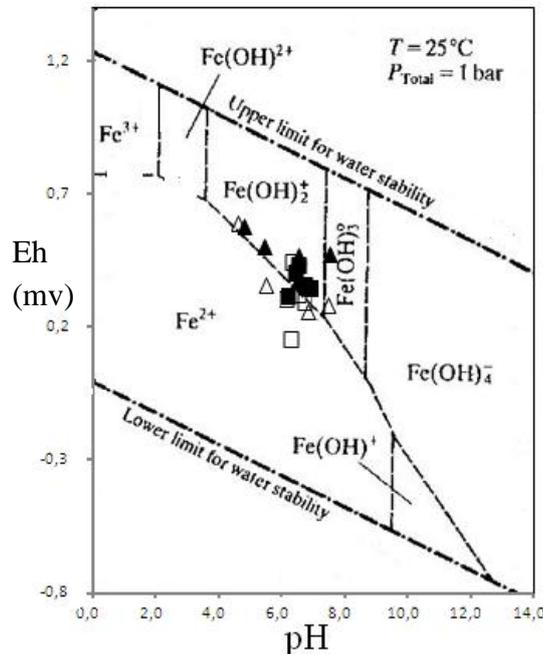


Figura 15- diagrama das espécies iónicas de ferro modificado de (White, 2007) . Símbolos- cheios: campanha na época de chuva; abertos: campanha na época seca; quadrados- águas da zona rural; triângulos: águas da zona urbana.

5.2. Comparação com outras amostragens realizadas na mesma região

Fez-se a comparação entre as concentrações das várias espécies químicas das águas da zona urbana com os dados obtidos por (Zeferino, 2011), noutra zona urbana na cidade do Lubango e fez-se também a comparação com os dados obtidos por (Isaías, 2010) para águas superficiais na região de Lubango.

A comparação dos valores de temperatura mostra que não houve variação significativa na temperatura das águas subterrâneas, o que se deve ao facto de serem águas subterrâneas. Os valores de pH das amostras de águas estudadas são semelhantes aos valores de pH determinados por (Zeferino, 2011), mas os valores de OD são ligeiramente superiores, considerando as duas épocas, chuva e seca. A média dos valores da condutividade elétrica específica é superior neste estudo à encontrada por Zeferino (2011) na época seca, mas é inferior na época de chuva.

Os valores de ORP obtidos neste estudo na época chuvosa, são superiores aos obtidos por (Zeferino, 2011) para a mesma época, mas são inferiores na época de seca. A média

dos teores de nitratos determinados neste trabalho na época de chuva, é inferior à média dos teores de nitratos determinados por (Zeferino, 2011) na mesma época, mas a média dos teores de Mg é superior.

Em conclusão as águas subterrâneas nas duas zonas urbanas da cidade de Lubango possuem valores de temperatura e de pH constantes, mas os valores de oxigénio dissolvido e de Mg são ligeiramente superiores e teores de nitratos inferiores aos determinados anteriormente. A variação dos valores de condutividade elétrica e de ORP está dependente da sazonalidade. As variações observadas podem corresponder a uma evolução na composição físico-química das águas ou podem ser devidas à existência de aquíferos separados.

Os valores de pH medidos nas águas subterrâneas são ligeiramente inferiores aos medidos por (Isaías, 2010) nas águas superficiais e os valores de OD são também na generalidade inferiores, pois trata-se de águas subterrâneas. Os valores de CE, de ORP, teores de nitratos e Mg são superiores nas águas subterrâneas analisadas, quando comparadas com as águas superficiais analisadas por (Isaías, 2010), mas os teores de ferro são muito inferiores.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- ✓ As águas da zona urbana e da zona rural são significativamente distintas quando se consideram os seus valores de TDS.
- ✓ Os valores de ORP nas águas da zona rural são distintos dos das águas da zona urbana na época de chuvas.
- ✓ Os valores de pH na generalidade indicam que as águas são ácidas.
- ✓ As águas da zona urbana (pontos P8, P9, P10) são as que apresentam mais elevada condutividade elétrica.
- ✓ Nas águas da zona rural os pontos de amostragem mais contaminados são P2 e P3 porque apresentam teores de nitratos acima dos valores paramétricos e também possuem valores de ORP baixos. O ponto P4 também está contaminado em fosfatos.
- ✓ Nas águas da zona urbana os pontos P6, P8 e P9 correspondem a águas contaminadas em nitritos ou nitratos.
- ✓ Os valores de Eh-pH mostram valores intermédios entre águas dos rios e as águas subterrâneas.
- ✓ Os mais elevados teores de teores de fosfatos foram encontrados na zona rural.
- ✓ A espécie de Fe dissolvida predominante é o $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ mas também ocorre o Fe^{2+} e o $\text{Fe}(\text{OH})_3$, este em águas da zona urbana.
- ✓ As águas amostradas pertencem a um aquífero pouco profundo.
- ✓ Fazendo a comparação com os resultados de outras análises feitas à 2 anos em águas subterrâneas de outra zona urbana, os valores de OD e de Mg são ligeiramente superiores e os de nitratos os são inferiores.
- ✓ Os valores de pH, OD e teores de Fe são inferiores aos das águas superficiais, mas os valores de CE, ORP e teores de nitratos e Mg são superiores.

As recomendações que se podem apontar de acordo com as conclusões deste trabalho são:

- ✓ Melhorar o sistema de saneamento básico da cidade, porque a saúde da população que usa a água destes poços, depende da qualidade desta, que por sua

vez está dependente da existência de um sistema eficiente de saneamento básico.

- ✓ Deverá haver um sistema eficiente de recolha de resíduos sólidos.
- ✓ Deverão haver mais análises químicas das águas para poder monitorizar a qualidade da água dos poços, pois o aquífero é pouco profundo e como tal vulnerável à poluição.
- ✓ Deve-se continuar a aumentar a domiciliação de água canalizada à periferia da cidade, tornando-a mais acessível às populações.
- ✓ O aumento do consumo de água deverá ser acompanhado de uma promoção do seu uso racional, com o máximo respeito pela integridade territorial das bacias hidrográficas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abelho, M. (2012). Ecologia II: Ecossistemas fluviais. ESAC. Uc Disponível em http://www.esac.pt/abelho/EcologiaII_LEAM/teorica/1.Introducao.pdf 9 de Setembro de 2012
- Andreatta, S., e Jadoski, S. (2009). “Avaliação de metodologia de filtragem para proteção de fontes em locais de risco de contaminação microbiológica da água. Revista brasileira de tecnologia aplicada nas ciências agrárias, disponível em <http://revistas.unicentro.br/index.php/repaa/article/view/428/582> aos 1 de Fevereiro de 2013
- Andrew, J.E; Brimblecombe, P; Jickells,T.D; Liss, P. S; Reid, B. (2004) An introduction to Environmental Chemistry. Blackwell. 283p
- Atkins, P.W. (1982). Physical Chemistry. 6st ed. Oxford University Press 1986.p
- Barros, J.C. (2008). Origem, distribuição e preservação da água no Planeta Terra. Revista das águas. Ministério Público Federal disponível em <http://revistadasaguas.pgr.mpf.gov.br/edicoes-da-revista/edicao-6/artigos/edicoes-da-revista/edicao-06/artigos/origem-distribuicao-e-preservacao-da-agua-no-planeta-terra> aos 10 de Junho de 2013
- Carapeto, C. (1999). Poluição das águas. Universidade Aberta. 215pp. Ed.Guide Artes gráficas
- Carta Topográfica de Angola, 1:100.000, Folha 335 e 336 – Sul D-33 – Sá da Bandeira (1960). - ed. Serviços Geográficos e Cadastrais, Ministério do Ultramar.
- Carvalho, H. (1982). “Geologia de Angola, Folha 3, à escala 1:1000000. Laboratório Nacional de Investigação Científica e Tropical.
- Colombo, C., Oates, C.J., Monhemius, A.J.,. Plant, J.A. (2008). Complexation of platinum, palladium and rhodium with inorganic ligands in the environment, Geochemistry, Exploration, Environment, Analysis, 91-101pp.
- Cruz , J.R.(1940). Geografia de Angola..Ed. Sociedade. Industrial. de Tipografia-Lisboa) 245p
- Custódio, E e Llamas, M.R. (1983). Hidrologia subterrânea. Ed. Omega S. A. Platon. Barcelona, 1224p.

- Decreto-Lei N.º 306/2007 de 27 de Agosto. Diário da República, N.º 164/2007 - I série. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Lisboa.
- González, A. D. e Francisco, K. (1982). Atlas Geográfico. Volume 1. Ministério da Educação da República Popular de Angola, Estocolmo, 49p.
- Hem, J.D. (1985). Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water, Geological Survey Water-Supply Paper, Washington (DC), n. 1473, p. 1-334, 1970.
- Isaías, M. (2011). Caracterização físico-química e avaliação de impactes antrópicos da água do rio Caculuar na região do Lubango - Angola. Tese de Mestrado publicada. Universidade de Coimbra, 80pp.
- MARQUES, O. (1977) –Missão geológica de Angola. in História de Portugal. Ed. Palas Editores Lisboa
- McCourt, S., Armstrong, R.A., Jelsma, H., Mapeo, R.B.M. (2013). New U–Pb SHRIMP ages from the Lubango region, SW Angola: insights into the Palaeoproterozoic evolution of the Angolan Shield, southern Congo Craton, Africa. *Journal of the Geological Society*, 353-363pp.
- Nordstrom, D. K., Wilde, F. D. (2005). Reduction –oxidation potencial (electrode method). US Geological Survey TWRI Book, 9.
- OMS. (2005). Relatório mundial da saúde. Disponível em http://www.who.int/whr/2005/media_centre/overview_pt.pdf acessado aos 5 de Abril de 2010. 21p
- PDCL (2010) Relatório anual do governo provincial da Huíla. Plano director municipal da cidade do Lubango, Governo Provincial da Huíla.
- PDL (2004). Plano Diretor da Cidade do Lubango, 2003-2020. Governo Provincial da Huíla.
- Peavy H.S., Rowe D.R., Tchobanoglous G. (1985). Water Resources and Environmental Engineering. McGraw- Hill Series. 675p.
- Pereira E.; Tassinari C.C.G.; Van-Duném M.V. (2011). New data on the age of the volcano-sedimentary Chela Group and its Eburnean: implications to post-

- Eburnean crustal evolution of the SW of Angola 40pp de
<http://www.Ineg.pt/iedt/unidades/16/paginas/26/30/95>
- PNUD (2006). Relatório do Desenvolvimento Humano, ed. Trinova. Disponível em
http://hdr.undp.org/en/media/01_HDR06%20frontmatter_PT_revCA.pdf acessado
aos 10/3/2010.
- Sangole S, Deshmukh B. e Panaskar D.B. (2012). Comparative study of basaltic and
granitic aquifers of Dharmabad Taluka of Nanded District, Maharashtra, from
groundwater quality perspective. Inter. J.Scient. and Resech. Publi., 2, 1-9.
- Santos, A.C. (2000). Noções de Hidroquímica. In F.A.C. Feitosa e J.M. Filho
(editores), Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. 2ª ed. CPRM, Fortaleza, 88-
107 pp.
- Schoeller, H. (1962). Patterns of Ground-Water Chemistry, Ross Creek Basin, Alberta
Canada. 75p
- Shiklomonov, I. (1993). World fresh water resources” in Gleick, P.H edit. Water in
crisis: A guide to the world’s fresh water resources (Oxford university press, New
York) disponível em <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycle.html> aos 9/6/2013.
- Trenberth, K.E; Qian T.L.S, Dai A.; e Fsullo J. (2007). Estimates of the global water
budget and its annual cycle using observational and model data. Journal of
Hydrometeorology de <https://www2.ucar.edu/atmosnews/people/aiguo-dai>.
- Vale, F. S., Simões M.C. (1971) Carta geológica de Angola. Notícia explicativa Folha
336-Sá da Bandeira 1/ 100 000. Ed Direção Provincial dos Serviços de Geologia e
Minas.
- White, W. M. (2007) Geochemistry. Livro on-line em:
<http://www.geo.comell.edu/geology/classes/geo455/chapters.HTML> acessado em
2007 A ser publicado pela Wiley Blakwell.
- WHO (2008). Guidelines for Drinking - Water Quality. Volume 1. 3rd edition.
- Zeferino, B. (2010) Caracterização Hidrológica e Hidrogeológica dos domínios
envolventes do Cemitério da Mitcha, Lubango-Angola Avaliação de impactes nas
massas de água locais. Tese de Mestrado publicada. Universidade de Coimbra,
47pp.

ANEXO

Matriz de correlação de valores de parâmetros físico-químicos e as espécies químicas

	Temp.	ORP	pH	Oxigénio dissolv.	C.E. Espec.	Alcalinidade	Nitratos	Amónia	Cloro Total	Fosfato
Temperatura	1,00									
ORP	0,18	1,00								
pH	-0,26	-0,56	1,00							
Oxigénio dissolv.	-0,16	0,01	0,66	1,00						
C.E. Espec.	0,21	0,08	0,50	0,28	1,00					
Alcalinidade	0,18	-0,40	0,37	-0,31	0,56	1,00				
Nitratos	-0,07	-0,11	0,18	-0,12	0,42	0,15	1,00			
Amónia	-0,20	-0,22	0,31	0,55	0,06	-0,28	-0,22	1,00		
Cloro Total	-0,20	-0,24	0,33	0,55	0,09	-0,24	-0,21	1,00	1,00	
Fosfato	0,06	-0,55	0,35	0,42	-0,22	-0,04	-0,59	0,63	0,63	1,00
Magnésio	-0,36	-0,37	0,76	0,48	0,43	0,24	0,35	0,09	0,12	0,01
Ferro	-0,24	0,48	0,14	0,50	0,30	-0,38	0,25	-0,02	-0,04	-0,31