

# Avaliação hidroquímica das águas subterrâneas do sistema aquífero Quelo-Luanda

## Hydrochemical evaluation of groundwater of the Quelo-Luanda aquifer system

Maria João Manuel Pereira<sup>1</sup>, Gabriel Luís Miguel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculdade de Ciências da Universidade Agostinho Neto, Avenida 4 de Fevereiro n.º 71, Número de contribuinte 7101005232, Luanda, Angola. Correo electrónico: m.pereira70@yahoo.com.br; gabrielmiuel71@gmail.com

### CITAR COMO:

Pereira, M. J. M. e G. L. Miguel. Avaliação hidroquímica das águas subterrâneas do sistema aquífero Quelo-Luanda. Revista Angolana de Geociências, 2020, 2(1), p. 200-210

### INFORMAÇÃO ADICIONAL:

Recebido: 21/09/2020

Aceite: 06/01/2021

\*Autor para

correspondência: Maria João Manuel Pereira (e-mail: m.pereira70@yahoo.com.br)

Licença: CC BY-NC

Copyright: Centro de Investigação em Ciências Geológicas Aplicadas

Conflito de interesses: Os autores declaram que não há conflitos de interesses

**Resumo:** Para o caso de Luanda e arredores, onde o complemento de abastecimento de água é feito através da captação de águas subterrâneas, estudos tem sido realizados no sentido de conhecer o comportamento hidroquímico do referido sistema aquífero. Pretendeu-se com esta investigação, avaliar as características físico-químicas das águas subterrâneas do sistema aquífero Quelo-Luanda num intervalo de quatro anos. A presente investigação, teve como base os resultados obtidos nas campanhas realizadas no ano hidrológico 2003/2004, e os determinados em 2007/2008, foram amostradas cerca de 53 captações de águas subterrâneas nas campanhas de 2007/2008 (época chuvosa), tendo sido realizadas medições in situ de alguns parâmetros físico-químicos como (temperatura, condutividade eléctrica e pH), para a determinação dos iões majoritários recorreu-se aos laboratórios da Faculdade de Ciências da Universidade Agostinho Neto, tendo sido utilizado a espectrofotometria de absorção atómica para a determinação das concentração dos iões ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ), o método volumétrico para determinar ( $\text{Cl}^-$  e  $\text{HCO}_3^-$ ) e o método gravimétrico para a determinar ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Os resultados mostram que do ponto de vista físico-químico as águas apresentam alta condutividade eléctrica, condicionadas em alguns casos pela distância das captações em relação a costa ou aproximação a alguns troços do rio Kwanza. Para os diferentes usos que se podem dar as águas subterrâneas analisadas a qualidade das da maior parte das captações não são de boa qualidade para o consumo humano em relação aos parâmetros analisados (carecem de tratamento como por exemplo a redução de sais), para a irrigação algumas captações localizadas na zona próxima a linha de costa o uso dessas águas sugere certas precauções.

**Palavras-chave:** Angola; Avaliação Hidroquímica; águas subterrâneas; Aquífero Quelo-Luanda.

**Abstract:** For the case of Luanda and the surrounding area, where the complement of water supply is made through the capture of groundwater, studies have been carried out in order to know the hydrochemical behavior of the said aquifer system. The aim of this research was to evaluate the physical and chemical characteristics of groundwater in the Quelo-Luanda aquifer system over a four-year interval. This research was based on the results obtained in the campaign carried out in the hydrological year 2003/2004, and those determined in 2007/2008, about 53 groundwater captures were sampled in the 2007/2008 (rainy season) campaigns, and in situ measurements of some physical-chemical parameters such as (temperature, electrical conductivity and pH) were sampled for the determination of the majority ions, the laboratories of the Faculty of Sciences of the Agostinho Neto University were used, atomic absorption spectrophotometry has been used to determine the concentration of ions ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ), the volumetric method for determining ( $\text{Cl}^-$  e  $\text{HCO}_3^-$ ) and the gravimetric method for determining it ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). The results show that from the physical-chemical point of view the waters present high electrical conductivity, conditioned in some cases by the distance of the catchments in relation to the coast or approach to some sections of the Kwanza River. For the different uses that can be given to the analysed groundwater the quality of most of the catchments are not of good quality for human consumption in relation to the parameters analyzed (lack of treatment, such as the reduction of salts), for irrigation some catchments located in the area near the shoreline the use of these waters suggests certain precautions.

**Keywords:** Angola; Hydrochemical Evaluation; groundwater; Quelo-Luanda Aquifer.

## INTRODUÇÃO

Em Angola apesar de não serem conhecidas as disponibilidades hídricas subterrâneas, o seu papel no abastecimento é fundamental quando se verifica o número de municípios abastecidos por Poços, neste contexto as águas subterrâneas apresentam-se cada vez mais como parte da solução para as restrições hídricas. Para o caso de Luanda e arredores, onde o complemento de abastecimento de água é feito através da captação de águas subterrâneas, estudos tem sido realizados no sentido de conhecer o comportamento hidroquímico do respectivo sistema aquífero.

A presente investigação passa necessariamente por conhecer o comportamento hidroquímico num período de 4 anos (anos hidrológicos 2003/2004 á 2007/2008), tendo em conta as variações relacionadas com as características físicas do sistema como sendo o funcionamento típico de um sistema multicamada, heterogenidade de fácies, a escassa recarga de origem pluviométrica (50 hm<sup>3</sup>/ano) (Miguel, 2006), e o volume de extracção com base no aumento do número de captações apontam para um volume de extracções em torno de 0,7 hm<sup>3</sup>/ano (Silvestre, 2008), factores que podem concorrer para mudança rápida dos gradientes hidráulicos e consequentemente a alteração de alguns parâmetros físico-químicos e biológicos.

### Objectivo Geral do trabalho

O objectivo geral deste trabalho de investigação consiste em determinar alguns parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas do sistema aquífero Quelo-Luanda e conhecer os fenómenos relacionados com a sua evolução hidroquímica.

## ENQUADRAMENTO

A área de estudo localiza-se na província de Luanda, cobrindo uma extensão aproximadamente de 2.060 km<sup>2</sup> compreendida entre os paralelos 8° 45' S e 9° 21' S, e entre o meridiano 13° 01' E e 13° 38' E. A zona é delimitada a Norte pelo rio Bengo, a Sul pelo rio Kwanza, a província do Bengo ao Este e o oceano Atlântico a Oeste (Figura 1).

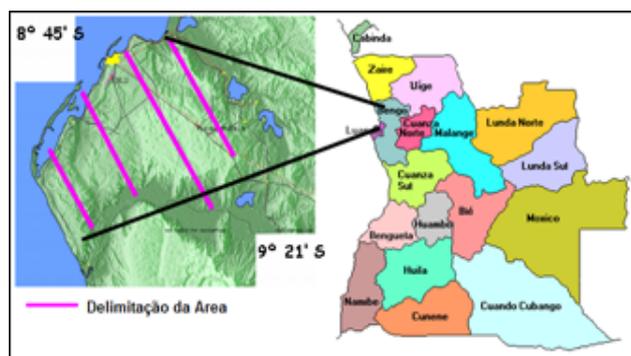


FIGURA 1. Localização da área de estudo.

Fonte: Modificado de Miguel, 2006.

## Geologia Geral

Do ponto de vista litológico, afloram em quase toda a extensão da área de estudo, da base ao topo as seguintes formações geológicas: Quifangondo, Cacuaco, Luanda e Quelo na qual serão consideradas principais embora a primeira esteja oculta em alguns pontos.

### • Formação Quifangondo

A formação Quifangondo é constituída por argila e margas cinzentas acastanhadas com intercalações de calcário, representados por calcilitos ligeiramente margosos, muito bioturbados, com raros fragmentos de bioclastos e foraminíferos bentónicos e plantónicos.

O ambiente de sedimentação foi atribuído ao nerítico, ou de plataforma. A formação Quifangondo, pela sua litologia ou características pode servir qualitativamente de nível de base por ser de muito baixa permeabilidade (Miguel, 2006), para o fácies mais representativo das formações Quelo e Luanda permitem concluir que ambas unidades se comportam de forma semelhante no que diz respeito ao movimento lento das águas subterrâneas.

### • Formação Cacuaco

A formação Cacuaco, de idade Miocénica está constituída por calcarenitos bioclásticos com lamelibrancos, briozóários, algas vermelhas e abundantes macroforaminíferos (*Amphistegina* sp., *Operculina* sp., *Heterostegina* sp.) e com foraminíferos planctónicos: *Globigerinoides Sacculifer* (Brady 1998), *Orbulina d'Orbigny*.

### • Formação Luanda

Com idade referenciada ao pliocénico, esta formação é a mais complexa de ser descrita devido as numerosas variações de fácies que apresenta (figura 2). A formação Luanda está constituída por argilas, siltes, areias fina, médias ou grosseiras, por vezes alternada com níveis calcários com fósseis marinhos, foraminíferos planctónicos: *Globorotalia Crassaformis* (Galloway e Wissler, 1927), *Globoguadrina altispira* (Cushman e Jarvi, 1936). O ambiente de formação é descrito nas diferentes literaturas, como sendo de tipo transicional, justificado pelas variações de fácies descritas nas alíneas anteriores.



FIGURA 2. Aspectos da formação Luanda.

Fonte: Miguel, 2006

### • Formação Quelo

Constituída predominantemente por depósitos arenosos de granulometria fina a média, de cor vermelha ferraliticizadas, moderadamente a pobremente seleccionada com percentuais baixos de matriz argilosa (figura 3). É interpretado como produto de reelaboração em ambiente continental e considerado como depósitos recentes. A formação Quelo ocupa mais de 70% da extensão superficial da zona de estudo, em particular, serve de cobertura para a parte mais alta da cidade de Luanda.



**FIGURA 3.** Aspectos da formação Quelo (tons avermelhados).  
*Fonte: Miguel, 2006.*

### Hidrogeologia

Do ponto de vista hidrogeológico, a região é caracterizada pelo sistema aquífero Quelo – Luanda, de idade compreendida entre o Pliocénico inferior e o Holocénico, é constituído por materiais detríticos com permeabilidade de 1-3 m/d (em particular nos sectores basais do mesmo); valores que contrastam com a notável e reduzida permeabilidade da formação Quifangondo (Burdigaliano) sobre a qual assenta (Miguel et. al., 2005). A litoestratigrafia dos materiais que constituem o sistema aquífero Quelo-Luanda está composta por argilas cinzentas e esverdeadas, com lentes milimétricas e descontínuas de areias amareladas muito finas; alternância de limos e areias fina de cor branca e amarelada, as vezes ferruginosas com pouca argila; areias finas, medias, grossas e heterométricas; alternância de conglomerados e areias principalmente quartzosas moderada e pobremente seleccionadas com uma percentagem muito baixa de matriz argilosa, formada por caolinite, illite e abundantes óxidos de ferro.

O conjunto deste sistema poderia funcionar como um sistema “multicamada” na qual, devido às numerosas variações laterais e vertical de fácies, e a heterogeneidade.

### MATERIAIS E MÉTODOS

Tendo em conta os objectivos estabelecidos, a metodologia de pesquisa consistiu em diferentes fases, como: a pesquisa bibliográfica, trabalhos de campo, e os trabalhos laboratoriais.

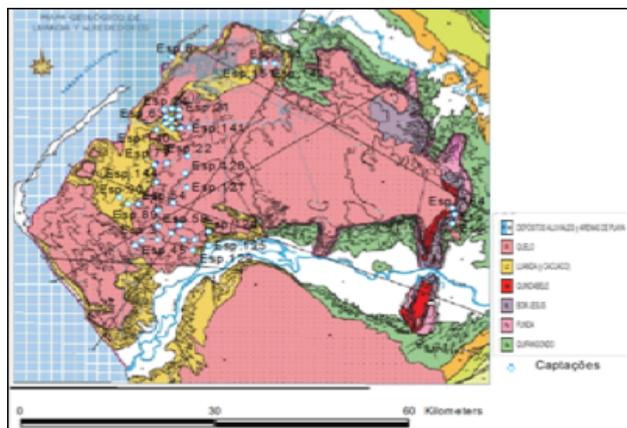
### Revisão da bibliografia

A base de dados utilizada nesta pesquisa foi compilada a partir da tese de doutoramento com o título “Caracterización Hidrogeológica y Ambiental de Luanda y sus Alrededores (Angola)”, (Miguel, 2006), assim como na Dissertação de mestrado “Caracterização Hidrogeoquímica do aquífero Quelo-Luanda (Maria Pereira, 2012).

### Trabalhos de Campo

A realização do trabalhos de campo destinados a elaboração do inventário completo de pontos de água, constituiu a base a partir da qual se obteve as principais informações. Foram amostradas um total de 53 captações (figura 4, Tabela 1). Durante o inventário realizado, foram tomadas em consideração alguns dados hidrogeológicos importantes tais como: as coordenadas geográficas dos poços de águas subterrâneas e suas respectivas cotas, níveis estático e dinâmico e o caudal, em todo o processo foram anotados as datas correspondentes às tarefas realizadas. A recolha de amostras foi feita em poços bombeados regularmente, de forma a garantir o não estanque das águas, elemento que poderia interferir nos parâmetros físico-químicos.

As amostras recolhidas foram submetidas à medições “in situ” da condutividade eléctrica, pH e temperatura da água, o instrumento utilizado foi uma sonda multiparamétrica portátil de modelo Cyber Scan series 600 Water proof da (EUTECH INSTRUMENTS). Os valores da condutividade eléctrica e pH foram medidos com referência a 25°C, o aparelho foi adequadamente calibrado com soluções padrões antes do seu uso em cada campanha de campo. Os recipientes usados para a recolha de amostras foram os frascos de polietileno com a capacidade de 1,0 e 0,5 litros. Estes recipientes foram lavados três vezes com água da captação, na ausência de água destilada. Foram recolhidas amostras num volume total de três litros por cada poço, para garantir eventuais repetições de análises. Os frascos com as amostras de águas, foram completamente preenchidas e bem fechados de formas a evitar a entrada de ar, pois o mesmo pode modificar a composição de determinados parâmetros. De seguida foram colocadas e transportadas em caixas térmicas e conservadas em frigorífico até serem analisadas em laboratório.



**FIGURA 4.** Mapa geológico de Luanda e arredores com projecção dos pontos de amostragem.

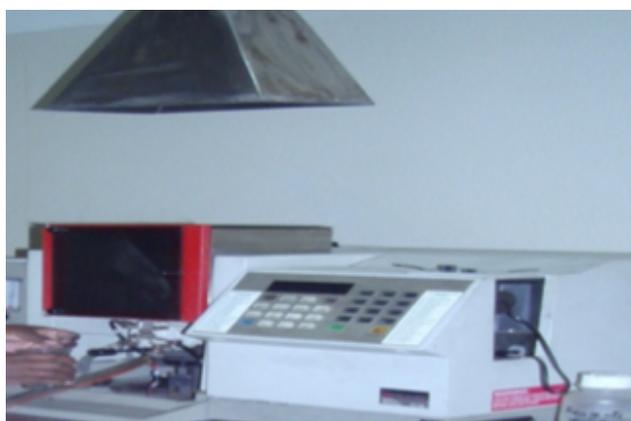
**Tabela 1 - Resumo de inventário dos pontos de água**

Captação	Localidade	Coordenadas	Cota do solo (msnm)	Prof. nível estático (m)	Prof. nível dinâmico (m)	Prof. poço (m)	Cota da água (msnm)	Caudal aprox. (l/h)	Observações
Exp.145	Quitô II	09° 12' 13" S 13° 07' 30" E	120	-	-	162	-	-	Estava em fase de desenvolvimento
Exp.146	Rita Projectos I	08° 59' 47,4" S 13° 10' 15" E	-	57,69	-	110	-	23000	Ensaio de bombagem
Exp.147	Coinda	08° 54' 10" S 13° 12' 5,3" E	59	52,32	68,9	93	6,68	7200	Ensaio de bombagem amostragem
Exp.148	São Antonio	09° 00' 31" S 13° 10' 56,7" E	63	50,9	59,49	-	12,1	12852	amostragem
Exp.149	Rita Projectos II	08° 57' 54" S 13° 11' 27" E	57	57,05	60,66	-	-	10260	Ensaio de bombagem amostragem
Exp.150	H. Ana Paula Mabor Malha	08° 48' 48,9" S 13° 18' 45,7" E	77	29,69	34,78	-	-	-	amostragem
Exp.151	Angolano I	08° 48' 49,0" S 13° 18' 45,7" E	84	-	26,75	-	-	-	amostragem
Exp.152	Songo II	09° 02' 22,20" S 13° 34' 44,9" E	152	-	-	-	-	-	amostragem
Exp.153	Soares da Costa (Tal)	09° 03' 53,5" S 13° 35' 59,2" E	-	-	-	-	-	-	amostragem
Exp.154	Mansão do vale	08° 53' 32,50" S 13° 19' 31,5" E	98	57	-	-	-	-	amostragem
Exp.P155	Centro M.S	08° 56' 15,40" S 13° 23' 22,8" E	145	56,7	-	-	-	-	amostragem
Exp.156	Catoca	08° 53' 12,0" S 13° 20' 50,3" E	141	132	-	-	-	-	amostragem
Exp.157	Djovany (D paula)	09° 05' 10,1" S 13° 36' 42,1" E	93m	-	-	-	-	6400	amostragem
Exp.158	Poço Moniz	09° 05' 07,6" S 13° 36' 41,6" E	103	-	-	-	-	4000	amostragem
Exp.159	Dangerex1	09° 49' 20" S 13° 19' 03" E	81	25	-	-	-	-	amostragem
Exp.160	Dangerex2	09° 03' 13" S 13° 08' 33,3" E	-	-	-	-	-	-	amostragem
Exp.161	Mbondo chapéu	09° 04' 43,3" S 13° 08' 23,0" E	46	-	-	96	13,2	-	amostragem
Exp.162	Mbondo chapéu centro	08° 54' 50,9" S 13° 11' 52,3" E	74	-	-	-	-	-	amostragem
Exp.163	Coop. espanhola	08° 54' 56,7" S 13° 11' 46,7" E	77	-	-	-	-	-	amostragem
Exp.164	Mostratus I	09° 06' 10" S 13° 36' 42,1" E	59	-	-	-	-	-	Uso industrial amostragem

**Trabalhos de Laboratórios.**

Os trabalhos de laboratório consistiram na determinação de parâmetros físico-químicos, realizados no Laboratório da Faculdade de Ciências da Universidade Agostinho Neto. Os resultados obtidos foram submetidos ao cálculo de erro, criando premissas para poder-se aferir a fiabilidade dos métodos e instrumentação utilizada. Para a determinação dos iões cálcio, sódio, magnésio e potássio foi utilizado a espectrofotometria de absorção atómica. Baseado no livro de Química analítica de Ohlweiler. O. A. (1981).

O fundamento da Análise Instrumental baseia-se nos princípios da espectrofotometria, considerando que existe uma relação entre o grau de absorção e a concentração do elemento na amostra, que é diferenciado pelo equipamento. As radiações são produzidas em lâmpadas de cátodo oco (fonte de emissão) que são específicos para cada elemento



**FIGURA 5.** Espectrofotómetro de absorção atómica modelo Perkin-Elmer, utilizado no processo de análise laboratorial.

individual ou para cada grupo de elementos. O feixe energético paralelo emitido atravessa a amostra solubilizada e nebulizada na chama do queimador alimentado pelo gás acetileno, pela acção da temperatura converte em átomos neutros e livres os elementos presentes na amostra. A radiação de ressonância parcialmente absorvida é isolada por um monocromador (prisma) que elimina eventuais radiações desnecessárias. A radiação ao chegar no sistema de leitura, é detectada por um tubo fotomultiplicador que produz o sinal eléctrico proporcional à intensidade luminosa recebida, que é amplificada e medida por um galvanómetro, e posteriormente é feita a leitura da concentração do elemento a analisar na amostra.

**Volumetria**

O método utilizado na determinação dos aniões cloreto, e bicarbonato foi baseado no livro “Water Environment. Federation (1998) ”.

Para os cloretos o método fundamenta-se na precipitação dos cloretos sob a forma de cloreto de prata, em pH = 8,3, em presença de cromato de potássio como indicador. O final da reacção é dado pela formação do precipitado vermelho-tijolo de cromato de prata.

Cálculo:  $C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$

Onde:

$V_1$  -Volume de  $AgNO_3$ , em ml

$C_1$  -Concentração de  $AgNO_3$  em normalidade

$V_2$  - Volume da amostra de água a analisar, em ml

$C_2$  - Concentração do ião cloreto na água.

Para o ião bicarbonato foi determinada, numa única titulação. O método volumétrico aplicado baseou-se na neutralização de certo volume de água conhecido por um ácido forte diluído na presença de um indicador. A alcalinidade é determinada fazendo a titulação de 100 ml de água, num copo sobre fundo branco à qual se juntam três gotas de alaranjado de metil, titula-se com o ácido clorídrico 0,1 N até observar viragem do indicador de amarelo para vermelho alaranjado. O volume adicionado de ácido até à viragem corresponde a grosso modo ao pH de neutralização exacto do bicarbonato. Para valores próximos de pH 4,5 corresponde aproximadamente ao ponto equivalente para a conversão do ião bicarbonato em ácido carbónico. O indicador só muda de cor quando todo o bicarbonato estiver completamente neutralizado.

Cálculo:  $C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$

Onde:

$V_1$  -Volume de HCl, em ml

$C_1$  -Concentração de HCl.

$V_2$  - Volume da amostra de água a analisar, em ml

$C_2$  - Concentração de bicarbonato na água.

**Gravimetria**

Para a determinação do ião sulfato utilizou-se o método gravimétrico segundo, o livro de Química analítica de Ohlweiler (1981).

O método baseia-se na precipitação do ião sulfato na forma de sulfato de bário, a separação é feita por filtração, lava-se o precipitado que seguidamente é seco e pesado rigorosamente.

A precipitação é efectuada em meio ácido (HCl) numa temperatura próxima ao ponto de ebulição. Facilita a separação do precipitado.

Cálculo: O teor dos iões  $\text{SO}_4^{2-}$  (X), mg/l, é calculado pela fórmula:

Onde:

a - Massa do cadinho vazio, mg

b - Massa do cadinho com precipitado seco, mg

0,4115 - Coeficiente de cálculo para a determinação da quantidade  $\text{SO}_4^{2-}$  a partir da massa do  $\text{BaSO}_4$

V - volume de amostra da água a analisar, em ml

X - Concentração do sulfato na amostra.

### Balanço iónico

A avaliação do erro cometido no processo analítico pode ser estimada através do balanço de iões, e calculado com a seguinte fórmula:

$$\text{Erro}(\%) = \frac{\sum \text{cat} - \sum \text{an}}{\sum \text{cat} + \sum \text{an}} \cdot 100$$

Fundamenta o facto de numa análise química completa, a concentração total, expressa em meq/l, dos catiões deve ser semelhante à dos aniões. O valor da desigualdade expressa em percentagem é definido como o erro da análise e distingue entre erro prático e teórico, sendo o erro prático máximo permitido tendo em conta a condutividade da água. Scholler (1962) admite simplesmente que o erro do balanço iónico não pode ser superior a 5% e segundo Feitosa e Filho (2000), nunca superior a 10% para que a análise possa ser considerada analiticamente correcta.

Para as amostras analisadas o cálculo do erro a partir do programa aquachem em todos os casos foi inferior a 5% com excepção a amostra da captação Dangerex1 que o erro analítico esteve na ordem dos 6,7 cuja amostra não foi excluída, segundo Feitosa e Filho (2000), o erro pode ser considerado até 10% analiticamente correcto.

### Materiais utilizados

Para a execução dos trabalhos foram utilizados os seguintes materiais:

- Carta topográfica (IGCA, 1981) a escala de 1:100 000
- Linímetro ou medidor de níveis de água
- GPS (Global Positioning System), modelo Garmin 1E vista HCX.
- Sonda multiparamétrica portátil modelo, Cyber Scan Series 600 water proof da (EUTECH INSTRUMENTS)
- Para a recolha de amostras de água utilizou-se, recipientes de polietileno de cor branco, com a capacidade de 0,5 litros.
- Para análise dos iões maioritários utilizaram-se, os equipamentos e reagentes descritos de forma sintetizada na tabela 2.

**Tabela 2** - Equipamentos, matérias e reagentes utilizados na determinação dos iões maioritários

Equipamentos e Materiais	Reagentes
-Espectrofotómetro de absorção atómica modelo Perkin-Elmer, estufa, manta de aquecimento, mufla, balança analítica	HCl, $\text{H}_2\text{SO}_4$ , $\text{BaCl}_2$ , NaOH, $\text{MgSO}_4$ , $\text{AgNO}_3$ , Soluções - padrões indicadores etc.
-funil de porcelana, copos de precipitação, varetas, pipeta, bomba de vácuo, cadinhos de porcelana e platina, provetas, papel de filtro, tubos de ensaios, erlenmayer, balões volumétricos, buretas etc.	

## HIDROQUÍMICA

Durante o percurso no qual a água percola entre os poros do subsolo e das rochas, ocorre a uma série de processos físico-químicos. Sendo assim, a composição química da água subterrânea é o resultado combinado da composição da água que circula no solo e da evolução química influenciada directamente pelas litologias atravessadas. Para a área de estudo realizou-se várias campanhas de amostragem com objectivo de obter informações sobre a evolução hidroquímica das águas subterrâneas.

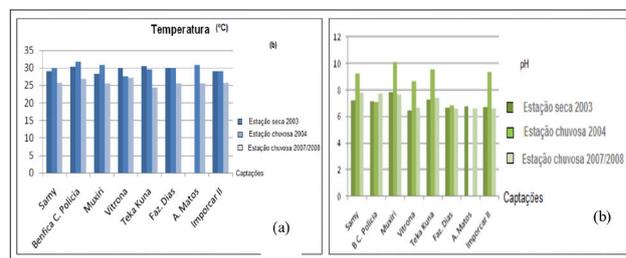
Caracterização de alguns parâmetros físico-químicos do sistema aquífero Quelo-Luanda.

### Temperatura

De uma forma geral, a média de temperatura observada nas campanhas de 2007/2008 foi de (26,3°C), apresentando pequenas variações em relação as temperaturas do ano de 2003/2004 (26,9 °C), (figura 6a). Segundo a classificação proposta por Schoeller (1962), extraído de Custodio e Llamas (1983), os valores obtidos para as diferentes campanhas situam-se em águas normais próximas a hipertermais ou termais.

### pH

Os resultados os valores oscilam mais entre meios neutro e básico, no ano de 2004 (estação chuvosa) em todas as captações verifica-se subidas significativas do pH, situando-as em torno de um meio básico, 2007/2008 (estação chuvosa) as oscilações são ligeiras e o pH variam entre 6,26 - 7,6 com uma média de 6,7 tendência para o meio ligeiramente ácido (figura 6b).



**FIGURA 6.** Temperatura (a) e pH (b) medida realizadas nos anos hidrológicos 2003/2004 e 2007/2008.

### Condutividade eléctrica

Os resultados das amostras recolhidas em 2003/2004 os valores variam entre 9570 a 850  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , enquanto para a campanha realizada no ano hidrológico 2007/2008 o intervalo de valores situa-se entre 15.000 a 324,9  $\mu\text{s}/\text{cm}$

verificando-se um incremento da condutividade eléctrica, principalmente na captação A. Matos, localizado próximo a linha de costa, (figura 7).

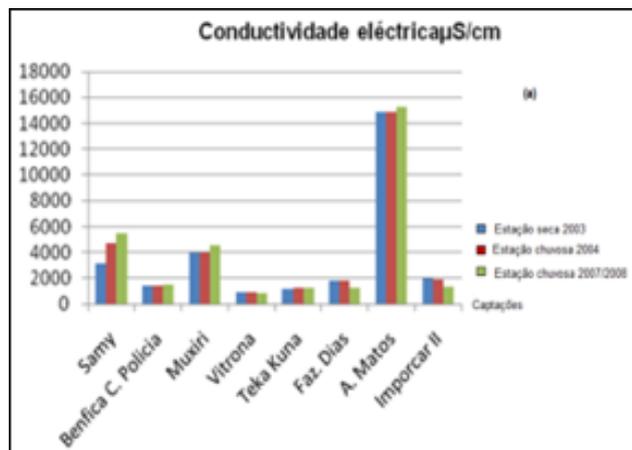


FIGURA 7. Condutividade eléctrica medida nas campanhas realizadas nos anos hidrológicos 2003/2004 e 2007/2008

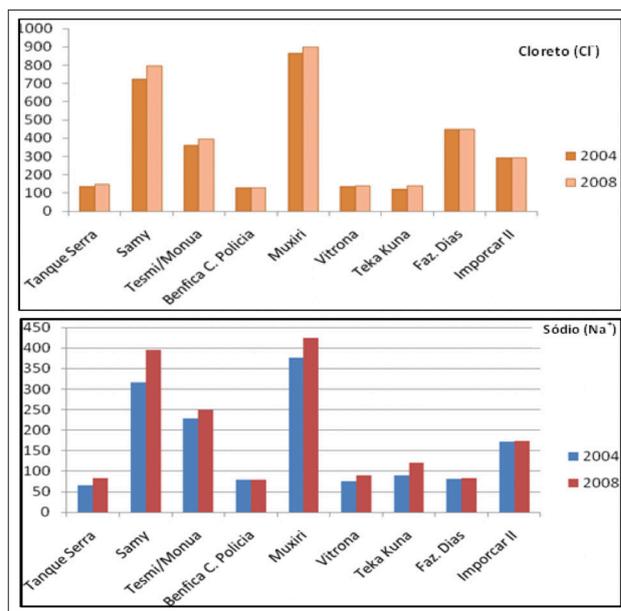


FIGURA 10. Teores de cloreto e sódio analisado nos anos hidrológicos 2003/2004 e 2007/2008.

### Iões Maioritários

Os resultados obtidos a partir da análise dos iões maioritários das águas subterrâneas da área estudada (Figuras 8, 9 e 10), permitiram uma aproximação do conhecimento da Hidroquímica do sistema aquífero Quelo-Luanda, a presença e a origem dos compostos encontrados, estão relacionados com a litologia do aquífero e com fenómenos de evolução Hidroquímica relacionados com o meio detrítico.

Para um intervalo de quatro anos (2003/2004 á 2007/2008), as variações da composição química das amostras analisadas, testemunham a existência de múltiplos fenómenos de natureza química, com destaque para o intercâmbio iónico, favorecido pela considerável quantidade de argilas existentes numa das formações geológicas de maior espessura do sistema aquífero (Formação Luanda), outros fenómenos tais como a dissolução, precipitação foram responsáveis na variação das concentrações dos iões maioritários em diferentes captações.

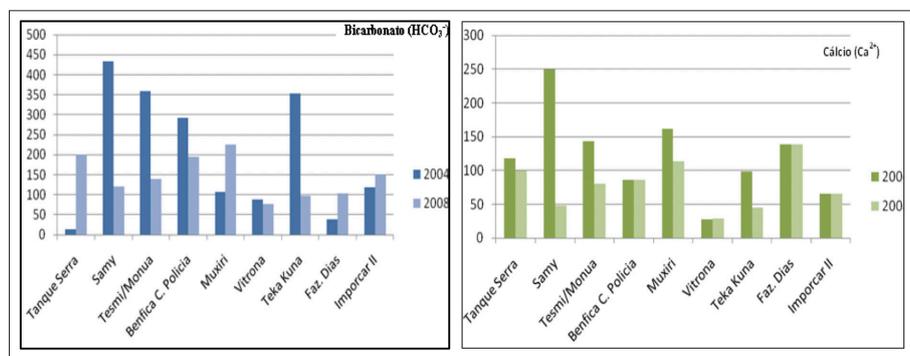


FIGURA 8. Teores de bicarbonatos e cálcio analisado nos anos hidrológicos 2003/2004 e 2007/2008.

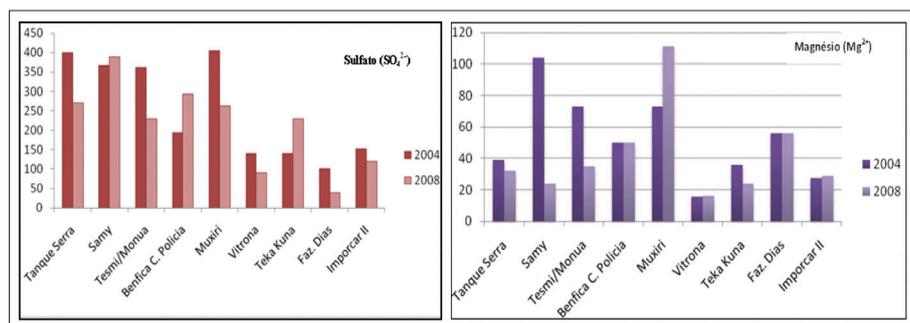


FIGURA 9. Teores de sulfato e magnésio analisado nos anos hidrológicos 2003/2004 e 2007/2008.

### Distribuição Espacial dos Parâmetros Analisados

Os iões maioritários identificados em amostras recolhidas no ano hidrológico 2007/2008, foram representados em diferentes diagramas como, de Stiff, Piper Hill-Langelier de Schoeller-Berkaloff e SAR - condutividade.

### Diagrama de Stiff

Para a área de estudo destacam-se representações de águas do tipo cloretadas sódicas na zona do Rocha Pinto, Talatona e Kicolo. Chama atenção a representação das amostras de água com carácter bicarbonatada cálcica, na zona do Quenguela Norte e noutras zonas pertencentes a área de estudo, correspondentes a poços de captação, situadas em zonas consideradas como áreas de recarga natural (figura 11).

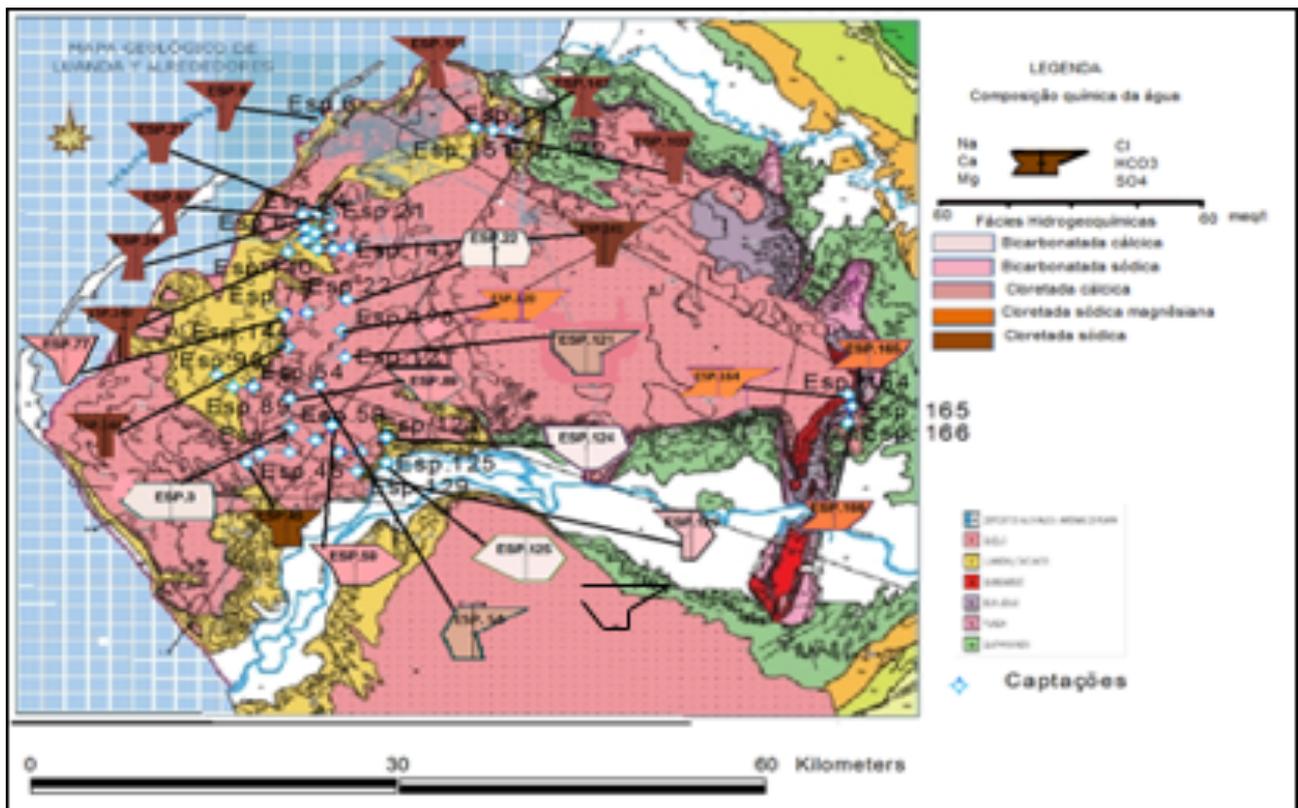


FIGURA 11. Mapa Geológico de Luanda e Arredores, representação da fácies hidrogeoquímica das amostras recolhidas em 2007/2008.

### Diagrama de Piper-Hill-Langelier

Os resultados das análises químicas das águas colocadas no diagrama de Piper revelaram uma variação espacial nos parâmetros químicos, formando um grupo onde podem identificar-se, das amostras recolhidas, quatro tipos de águas, sendo águas do tipo bicarbonatadas sódicas, bicarbonatadas cálcicas, cloretadas cálcicas e as cloretadas sódicas e ainda se pode identificar misturas entre as fácies bicarbonatadas sódicas e cloretadas sódicas e também misturas de águas bicarbonatadas sódicas com a fácies bicarbonatadas cálcicas como pode se observar (figura 12).

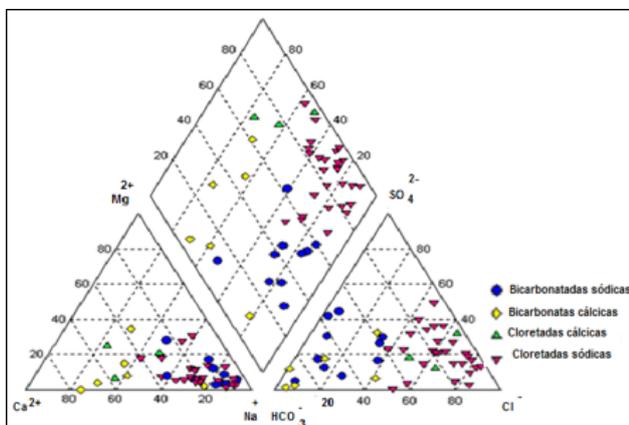


FIGURA 12. Diagrama de Piper-Hill-Langelier amostras de água subterrânea correspondente as campanhas de 2007/2008.

### Diagrama de Schoeller- Berkaloff

No caso da área de estudo, a representação de Shoeller-Berkaloff foi utilizada para mostrar o carácter de potabilidade em relação aos parâmetros analisados, do ponto de vista de componentes químicos maioritários das águas amostradas, relacionando-os as normas da Organização Mundial de Saúde (OMS, 2011). Constatou-se que as na sua maioria, classificam-se como não aceitáveis em relação aos parâmetros analisados, só algumas captações localizadas nas proximidades do rio Kwanza são recomendáveis para o consumo humano em relação aos parâmetros analisados (figura 13).

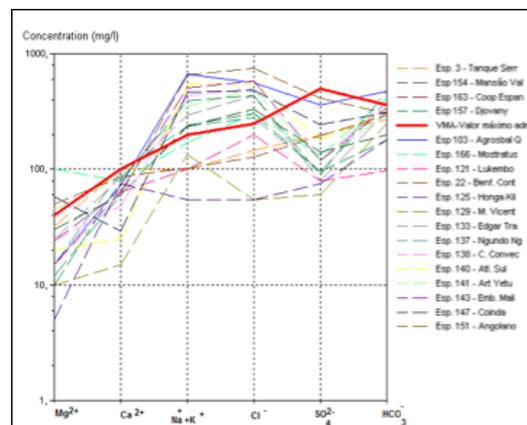


FIGURA 13. Diagrama de Schoeller-Berkaloff amostras de águas subterrâneas correspondentes as campanhas de 2007/2008.

### Diagrama de SAR-Conductividade

Toda água usada na irrigação contém sais dissolvidos. O efeito destes sais sobre as características químicas e físicas de solos irrigados é de grande importância.

O princípio básico para se evitar a salinização de um solo é manter o equilíbrio entre a quantidade de sais que é fornecida ao solo, através da irrigação, com a quantidade de sais que se retira através da drenagem. Independentemente da relação de adsorção de sódio, o teor absoluto em sais de uma água é um factor limitante do seu uso na agricultura.

O Departamento de Agricultura Norte-americano desenvolveu o diagrama abaixo, que estabelece o risco devido à salinidade, em função, basicamente, de dois factores: o índice de SAR e o teor total de sais da água, estimado a partir de sua condutividade eléctrica.

A relação abaixo, desenvolvida pelo departamento de agricultura Norte-americano, é usada para determinar o grau de adsorção de sódio pelo solo.

Para as amostras recolhidas na área de estudo e projectadas no Diagrama de SAR-condutividade (figura 14), estão classificadas da seguinte forma:

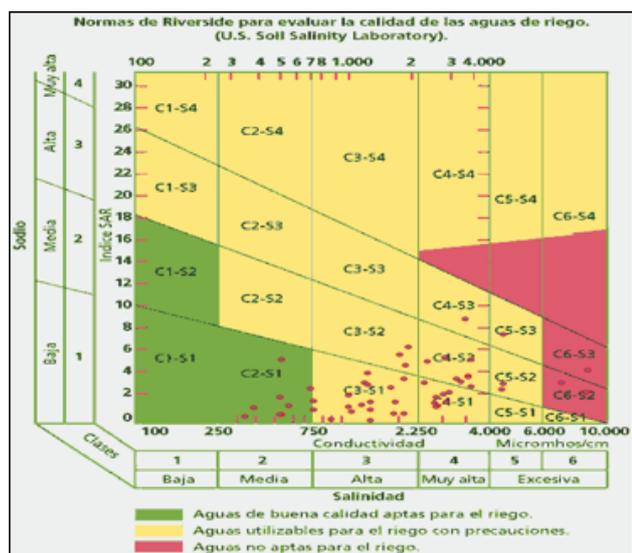


FIGURA 14. Diagrama de SAR-Conductividade dados referentes os campanhas realizadas no ano hidrológico 2007/2008.

Fonte: Richards, 1954.

■ **Classes C2-S1:** fazem parte dessa classe as captações localizadas na zona do Quenguela as águas desta zona, podem ser classificadas como de boa qualidade para a rega, pois elas possuem um de baixo grau de alcalinização e médio grau de salinização.

■ **Classe C3-S1:** Para esse grupo de amostras, correspondem as captações localizadas na zona do Camama, Benfica e Talatona. O uso dessas águas sugerem certas precauções para a rega já que segundo o diagrama, o risco de alcalinização é baixo (S<sub>1</sub>), mas os valores de salinidade das respectivas águas são consideradas de alto risco (C3).

■ **Classe C4-S1:** As amostras correspondentes a essa classe fazem parte das que, se localizam na zona do Rocha Pinto e Kicolo segundo o diagrama, essas águas podem ser classificadas como de salinidade muito alta (C4) e de baixo risco de alcalinização (S1) o que requer muitas precauções para a rega.

■ **Classe C5-S2 e Classe C6-S3** correspondem as amostras, das captações Esp.63 A. Matos, Esp.154 Mansão do vale, Esp.156. Catoca classificadas como águas não aptas para rega, já que possuem valores de condutividade eléctrica correspondente a uma salinidade classificada como excessiva (C5 e C6) o que significa um risco que varia de alto a muito alto.

### Comportamento espacial dos iões (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup>)

Como se pode verificar o modelo de distribuição espacial dos teores dos iões bicarbonato e cálcio, sulfato e magnésio, cloreto e sódio (figuras 15, 16 e 17), não seguem a mesma lógica, condicionada evidentemente por factores como dissolução e precipitação, do interior em direcção a costa, indicando maiores concentrações de bicarbonatos e cálcio nas captações localizadas no interior da área de estudo em relação as captações próximas a linha de costa. Este comportamento provavelmente esteja relacionado com maior dissolução dos minerais carbonatados no interior (áreas de recarga) em meio ligeiramente ácido e a sua precipitação em direcção á costa, meio básico (área de descarga). Para o ião cloreto e sódio devido a sua alta solubilidade vai se enriquecendo a partir da zona de recarga atingindo concentrações máximas na área de descarga. Para o aquífero Quelo-Luanda, a sequência química dominante é a seguinte: Na<sup>+</sup>>Ca<sup>2+</sup>>Mg<sup>2+</sup> e Cl<sup>-</sup>>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>.

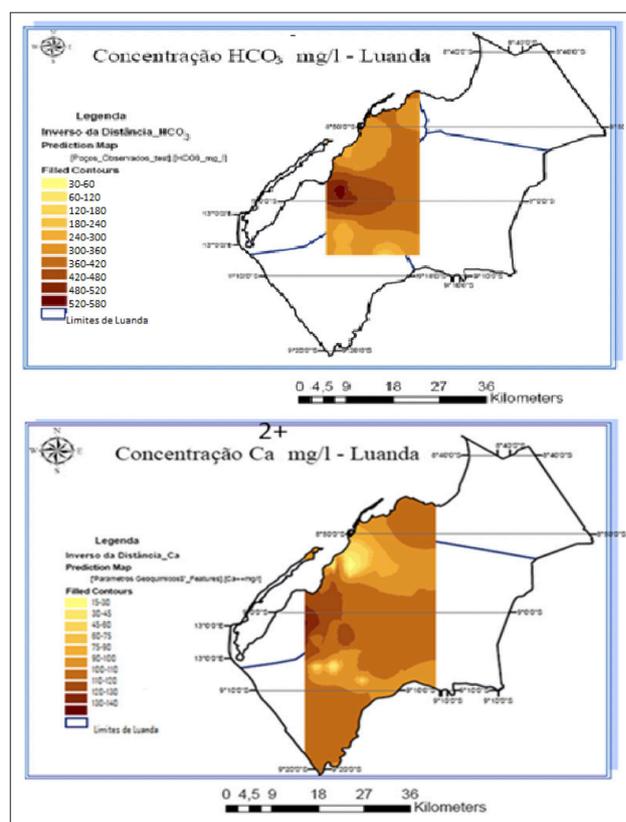


FIGURA 15. Modelo de evolução Hidroquímica dos dos iões bicarbonato e cálcio.

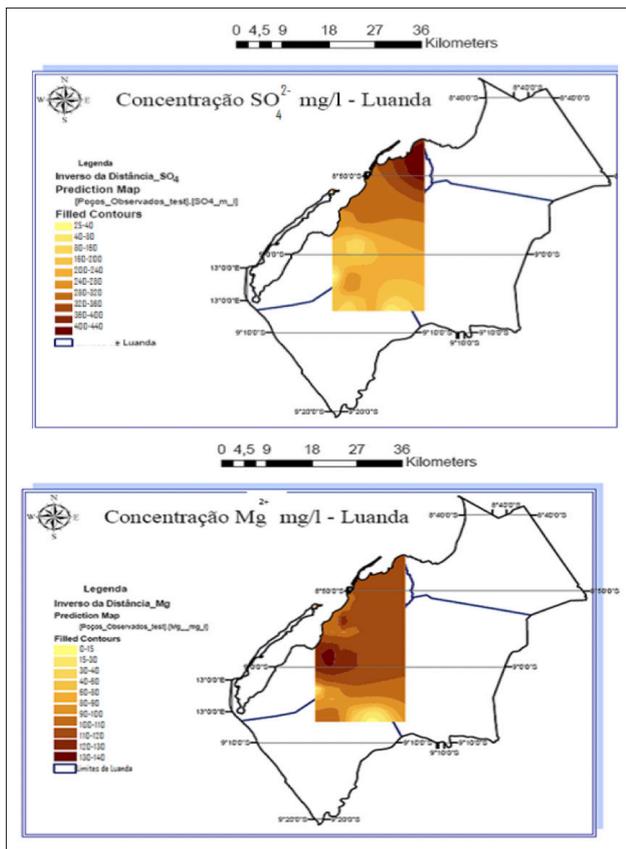


FIGURA 16. Modelo de evolução Hidroquímica dos iões sulfato e magnésio.

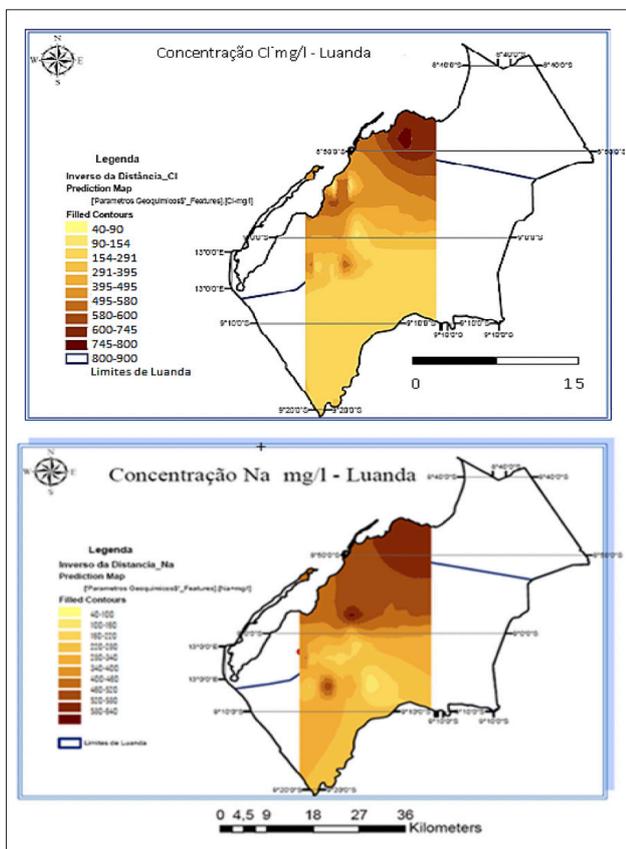


FIGURA 17. Modelo de evolução Hidroquímica dos iões cloretos e sódio

### Intrusão Marinha

Miguel, (2006), identificou para alguns pontos da zonas de estudos fenómenos que estão relacionados com a intrusão salina. Retomamos nesta investigação alguns aspectos para conhecer a dinâmica do fenómeno. Utilizando como metodologia, a relação iónica existente entre ( $rCl/rHCO_3^-$   $rMg^{2+}/rCa^{2+}$ ). Para esta investigação realizada para Luanda e arredores em 2007/2008, os valores obtidos para as relações iónicas  $rCl/rHCO_3^-$ , nas captações próximas a linha de costa mostram um aumento em alguns casos aproximadamente duas vezes mais em relação as campanhas de 2003/2004, se forem relacionados o crescimento do número de captações e o volume das extracções, que apontam para um aumento em torno de  $0,84 \text{ hm}^3/\text{ano}$ , pode-se dizer que a sobre-exploração do aquífero pode ser a principal causa deste fenómeno, já que o incremento dos volumes de água captada pode resultar na diminuição do nível de água subterrânea - avanço da interface água doce/água salgada para o interior do continente.

Tabela 3 - Relação iónica padrão  $Cl^-/HCO_3^-$  e  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$  utilizada para comparação de intrusão marinha.

Índice de intrusão marinha	Domínio Continental	Domino Marinho
$rCl/rHCO_3^-$	1-5	20-50
$rMg^{2+}/rCa^{2+}$	0.2-1,5	$\geq 5$
$rK^+/rNa^+$	0,001-1	0,01-0,03

Tabela 4 - Relação iónica  $rCl^-/rHCO_3^-$  de amostras de água das captações próximas a linha de costa recolhidas no ano hidrológico, 2007/2008.

Captação	Localização	$rCl^-/rHCO_3^-$	Distância da linha de costa
Esp.6	Samy	10,44	2,5Km
Esp.21	Tesmi/Monua	4,248	2Km
Esp.24	Muxiri	5,037	2Km
Esp.84	Imporcar II	4,207	2Km

Tabela 5 - Relação iónica  $rCl^-/rHCO_3^-$  amostras de águas subterrâneas das captações próximas a linha de costa, recolhidas no ano hidrológico 2003/2004.

Captação	Localização	$rCl^-/rHCO_3^-$	Distância da linha de costa
Esp.6	Samy	10,44	2,5Km
Esp.21	Tesmi/Monua	4,248	2Km
Esp.24	Muxiri	5,037	2Km
Esp.84	Imporcar II	4,207	2Km

### DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

De acordo com os parâmetros físico-químicos analisados (temperatura, pH e condutividade eléctrica) das águas recolhidas em 53 captações estudadas, foram observadas condições relativamente estáveis de temperatura, sem variações significativas nas diferentes

campanhas. A média de temperatura observada nas campanhas de 2007/2008 foi de (26,3°C) e para as campanhas de 2003/2004 (26,9 °C). O pH, nas diferentes captações, amostradas nas campanhas de 2007/2008, variou entre 7,6 e 6,26 indicando valores próximos do meio neutro com tendências a levemente ácidos, no ano de 2003/2004 os valores oscilaram mais entre os meios neutros e básico.

❑ As captações com elevados valores de condutividade eléctrica corresponderam àquelas com maiores concentrações de iões  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Na}^+$ , a maior parte delas situadas próximo à linha de costa, a concentração de algumas captações relativas a campanha (2007/2008) aumentaram quando comparados com campanhas anteriores 2003/2004.

❑ Para as campanhas de 2007/2008 e 2003/2004, verifica-se uma diminuição do ião bicarbonato e cálcio em algumas captações, assim como um aumento noutras, tanto as localizadas no interior, como as captações próximas a linha de costa a diminuição poderá estar relacionada com a tendência do meio básico, limitando assim a concentração do ião bicarbonato e cálcio. Nas captações em que há aumento do ião bicarbonato e cálcio, o pH tem uma tendência ligeiramente ácida permitindo maior dissolução dos minerais de origem carbonatado. Quanto aos cloretos e ao sódio verifica-se um aumento de teores em amostras recolhidas em 2007/2008, em algumas captações em relação a 2004, o aumento é mais significativo para as captações localizadas próximo a linha de costa, este factor pode estar relacionado, com o facto dos iões cloretos e o sódio formarem compostos muito solúveis e com uma tendência de se enriquecer desde as zonas de recarga, ou também pode estar relacionado com factores pontuais de intrusão marinha.

❑ Foram identificados grandes intervalos dos principais tipos de águas subterrâneas, desde as cloretadas sódicas, especialmente frequentes em áreas situadas no sudoeste de Luanda como Rocha Pinto, Talatona e Benfica, as bicarbonatadas cálcicas, que correspondem a captações situadas mais para o interior da área de estudo. A sequência química dominante é  $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$ .

❑ O diagrama de Schoeller-Berkaloff é usado para a classificação da qualidade de água para o consumo humano, as amostras de água analisadas para a maior parte das captações não são de boa qualidade para o consumo humano (carecem de tratamento como por exemplo a redução de sais), para a irrigação algumas captações localizadas na zona próxima a linha de costa o uso dessas águas sugere certas precauções para a irrigação, segundo o diagrama de SAR-condutividade, o risco de alcalinização é baixo, mas os valores de salinidade em algumas captações são consideradas muito altas.

❑ Nesta investigação realizada para Luanda e arredores em 2007/2008, os valores obtidos em quatro cap-

tações próximas a linha de costa as relações iónicas ( $\text{rCl}^-/\text{rHCO}_3^-$ ), ( $\text{rMg}^{2+}/\text{rCa}^{2+}$ ), mostram um aumento da concentração ( $\text{rCl}^-/\text{rHCO}_3^-$ ), em alguns casos de aproximadamente cinco vezes superior as campanhas de 2003/2004.

## CONCLUSÕES

1- Para os parâmetros físico-químicos analisados, foram observadas condições relativamente estáveis de temperatura. Para as diferentes campanhas realizadas o valor de pH esteve em torno do meio neutro com tendências levemente ácidas para as campanhas de 2007/2008 e para as campanhas de 2003/2004 os valores oscilaram entre os meios neutro e básico. Valores elevados de condutividade eléctrica correspondem à captações com altas concentrações dos iões cloretos e sódio.

2- Das amostras analisadas verifica-se a prevalência de fácies bicarbonatadas cálcicas, bicarbonatadas sódicas, cloretada cálcica e as cloretadas sódicas, a evolução deste fácies estão relacionadas com a localização geográfica das captações em relação as áreas de recarga e de descarga.

3- Para os diferentes usos que se podem dar as águas subterrâneas analisadas no presente estudo, pode-se afirmar que para o uso de abastecimento doméstico em relação aos parâmetros analisados a maior parte dessas águas necessitam de um tratamento prévio para a redução de alguns iões que apresentam valores superiores aos admissíveis, conforme a norma vigente na Organização Mundial de Saúde (OMS, 2011), especial atenção deve-se ter com o sódio e cloretos. Em relação a qualidade de água para irrigação as captações localizadas no interior possuem melhor qualidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] APHA, AWWA, WEF. (1992). *Standard methods for the examination of water and waste water*, 18th ed., Washington.
- [2] BRADY, H.B. (1884/1998). *Report on the foraminifera dredged by H.M.S Challenger, Zoology, Vol.9, p.810 – 814.*
- [3] CLÁUDIO, P. S. S.C. (2016). *Caracterização Hidrogeoquímica de Águas nas Captações Situadas no Território do Rocha Pinto e Talatona – Angola.*
- [4] CUSHMAN, J.A. & JARVIS, P.W. (1940). *Three new foraminifera from the Miocene Bowden marl of Jamaica. Contributions from the Cushman Foundation for Foraminiferal Research Vol. 12(1), p. 3-5 Coryell, H.N. and Rivero, F.C.*
- [5] CUSTODIO, E. LLAMAS, M. R. (1983). *Hidrologia Subterranea. Barcelona (Espanha), Omega, 2 Tomos, p. 2.359.*
- [6] FEITOSA, F.A.C, FILHO, J.M (2000). *Hidrogeologia: Conceito e aplicações. Fortaleza CPRM, LABHD, UFPE: p.412.*
- [7] GALLOWAY & WISSLER (1927). *Globorotalia crassaformis Globigerina studies in foraminifery,*

*Bulletin of the U.S. National Museum, Vol.215*

- [8] IGCA (1981). *Mapa topográfico da República Popular de Angola E. 1:100.000. Folha nº 89 "Luanda".* Ministerio de Defensa. Instituto de Geodesia e Cartografia de Angola.
- [9] LLAMAS, M.R. & CUSTODIO, E. (1999). *El agua subterránea como factor de desarrollo sostenible.* Revista Cidob d'Afers Internacional: p.45-46.
- [10] MARIA PEREIRA (2012). *Caracterização Hidrogeológica do aquífero Quelo-Luanda.* Dissertação de Mestrado, Universidade Agostinho Neto, Angola.
- [11] MIGUEL, G. L. (2006). *Caracterización Hidrogeológica y Ambiental de Luanda y sus Alrededores.* Tese de Doutoramento, Universidade De Alcalá, Espanha.
- [12] MIGUEL, G. L. REBOLLO, L.F. & MARTÍN-LOECHES, M (2005). *A utilização de águas subterrâneas como complemento ao abastecimento de Luanda e arredores (Angola).* 7º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Expressão Portuguesa. Évora, Portugal. Resumo de comunicações: p.108-109.
- [13] OHLWEILER, O. A. (1974). *Química Analítica Quantitativa.* Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos Editora.
- [14] OHLWEILER, O. A. (1976). *Química Analítica Quantitativa.* Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos Editora.
- [15] OHLWEILER, O. A. (1981). *Química Analítica Quantitativa.* Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos Editora.
- [16] ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE (2011), 4ª edição, *guias sobre a qualidade da água para consumo.*
- [17] RICHARDS, L.A. (1970). *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sodicos.* 5 ed. México: Centro Regional de Ajuda Técnica. 172 p. il (Centro Regional de Ajuda Técnica. Manual de Agricultor, 60)
- [18] SILVESTRE, R. (2016). *Monitoramento do sistema aquífero Quelo – Luanda.* Tese de Licenciatura Faculdade de Ciências, UAN, Luanda p.43.



Foto: D.R.