



# 13.º Seminário sobre Águas Subterrâneas

O papel das águas subterrâneas na  
sustentabilidade das cidades do século XXI

Livro de Resumos do  
13.º Seminário sobre  
Águas Subterrâneas

## Interpretação hidrogeológica da modelação 3D das sondagens eléctricas verticais (SEV) da década de 1960 na bacia do Cunene, Angola

Elsa Cristina RAMALHO<sup>1</sup>, Alain FRANCÉS<sup>1</sup>, Fernando MONTEIRO SANTOS<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratório Nacional de Energia e Geologia, LNEG, Estrada da Portela, Bairro do Zambujal, Apartado 7586, Alfragide, 2610-999 Amadora, Portugal. [elsa.ramalho@lneg.pt](mailto:elsa.ramalho@lneg.pt); [alain.frances@lneg.pt](mailto:alain.frances@lneg.pt)

<sup>2</sup> Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa - Instituto D. Luiz, Campo Grande C8, Lisboa, 1749-016 Portugal, [fasantos@fc.ul.pt](mailto:fasantos@fc.ul.pt)

### Resumo

Secas severas periódicas e plurianuais constituem um dos grandes problemas da província do Cunene, em Angola, afectando significativamente a vida de perto de um milhão de pessoas. O abastecimento de água às populações rurais dispersas tem por isso que ser feita com o recurso a “chanas”, que secam totalmente na estação seca, ou a furos pouco profundos, geralmente de mineralização elevada. Este problema foi identificado já há várias décadas e para o tentar mitigar, na década de 1960, foi levado a cabo pelas autoridades um programa que compreendeu a realização de prospecção geoelectrica numa área de grande dimensão e perfuração de sondagens. Assim, em 1966/67 foram realizadas 482 sondagens eléctricas verticais (SEV) na região do Cunene. A partir do reprocessamento destas SEVs, foi recentemente possível realizar um modelo 3D de resistividade eléctrica com o intuito de melhorar o conhecimento acerca da hidrogeologia da zona do Cunene e relacioná-lo com a nova informação entretanto obtida a partir de trabalhos realizados no âmbito do projecto Planageo e de estudos na Namíbia. A validação deste modelo irá ajudar a planear futuras ações, visando o abastecimento de água para um desenvolvimento sustentável das populações da região.

---

Palavras-Chave: Hidrogeologia; sistema aquífero Kalahari-Oshangwena; resistividade eléctrica; modelo 3D.

---

### 1. Introdução

A província do Cunene, localizada no sul de Angola e a fazer fronteira com a Namíbia, sofre com frequência de secas severas plurianuais. Durante a estação seca, a temperatura média mensal é de 22-24°C com uma pluviosidade média de 100 mm/mês nos meses de Dezembro a Março, enquanto que esta é praticamente nula entre Maio e Setembro (Francés *et al.*, 2020). Com clima árido seco, desértico, a população da província, atualmente com cerca de um milhão de habitantes dispersa por uma área superior a 80 000 km<sup>2</sup>, tem graves carências de abastecimento de água, que é normalmente feita por “chanas” ou furos com profundidade inferior a 50 m. Este é um problema com o qual as autoridades se defrontam desde há décadas e que vão tentando mitigar com diversas ações no terreno. Em 1966, o “Plano de Coordenação para o Abastecimento de Água às Regiões Pastorícias do Sul de Angola” (PCAARPSA), contemplou a realização de uma campanha geofísica

### **13.º Seminário sobre Águas Subterrâneas** **O papel das águas subterrâneas na sustentabilidade das cidades do século XXI**

utilizando prospeção elétrica, seguida da perfuração de mais de 50 sondagens mecânicas, cujas mineralogia da componente argilosa e hidrogeologia foram estudadas em detalhe. Mais de 50 anos depois, e após 40 anos de guerra colonial e civil, muitos desses trabalhos perderam-se, tendo-se igualmente perdido a informação que lhes serviu de base. Algumas das zonas investigadas em 1966 são atualmente de muito difícil acesso e outras ainda contêm minas anti-pessoal e anti-tanque, pelo que alguma desta informação é atualmente difícil, senão impossível, de tornar a obter no terreno. Recentemente, no entanto, no âmbito do projeto Planageo (Plano Geológico de Angola), foi realizado um levantamento da informação ainda existente, passível de ser utilizada em investigação hidrogeológica. Graças ao elevado volume de trabalho realizado na década de 1960, realizou-se um modelo 3D baseado na informação geofísica recuperada, com o intuito de melhorar o conhecimento acerca da hidrogeologia da zona do Cunene e conseguir prever com algum grau de certeza a profundidade máxima para furos de captação a perfurar na região. A validação deste modelo irá, no futuro, ajudar a planear ações que contribuam para um desenvolvimento sustentável das populações da região, garantindo-lhes um abastecimento de água mais consistente e permitindo o reforço do desenvolvimento de atividades pastorícias e criação de gado.

#### **2. Enquadramento geológico e hidrogeológico**

A área de estudo, localizada na bacia transfronteiriça endorreica Cuvelai-Etoshá, em Angola e na Namíbia (Fig. 1), é composta por intercalações de areia fina, calibrada, siltes e argila (Feria *et al.*, 2021), e contém o sistema aquífero multicamada Kalahari-Ohangwena-KOH (Lindenmaier *et al.*, 2014), que poderá vir a ser a principal fonte de abastecimento de água subterrânea às populações. Geograficamente, localiza-se no sul de Angola e no norte da Namíbia, sendo a recarga feita, na sua maioria, a montante, nas formações cristalinas dos planaltos de Angola ou pelos rios que atravessam a bacia (Francés *et al.*, 2020). A parte namibiana do sistema aquífero KOH tem vindo a ser estudada em detalhe ao longo do tempo (c.f. Lindenmaier *et al.*, 2014, Miller *et al.*, 2010, Wallner *et al.*, 2017). Geologicamente, este sistema aquífero é constituído por vários aquíferos separados por aquitardos argilosos, cuja possança atinge normalmente dezenas de metros. Assim, de acordo com Lindenmaier *et al.* (2014), do topo para a base, até 60 m de profundidade, estão presentes aquíferos suspensos, constituídos por níveis lenticulares de areias finas a médias, correspondentes a paleo-chanas (Hamutoko *et al.*, 2019), com água geralmente de baixa mineralização, que se esgotam com frequência na estação seca (KOH-0). A profundidades entre 120-170 m, e sob um aquitardo agiloso, ocorre o chamado KOH-1, aquífero confinado ou semi-confinado constituído por camadas de areias, areias argilosas e siltosas e argilas muito heterogéneas, com águas de elevada salinidade (Lindenmaier *et al.*, 2014). A profundidades por vezes superiores a 200 m, ocorre o aquífero KOH-2 com dimensão regional, confinado, composto por areias finas a médias com condutividades hidráulicas que oscilam entre 10<sup>-9</sup>-10<sup>-6</sup> m/d (Lindenmaier *et al.*, 2014). É este

### 13.º Seminário sobre Águas Subterrâneas O papel das águas subterrâneas na sustentabilidade das cidades do século XXI

aquífero, de água pouco mineralizada relativamente ao contexto regional, que pode constituir a fonte mais permanente de água, o que, no entanto, exige a perfuração de furos com considerável complexidade técnica.

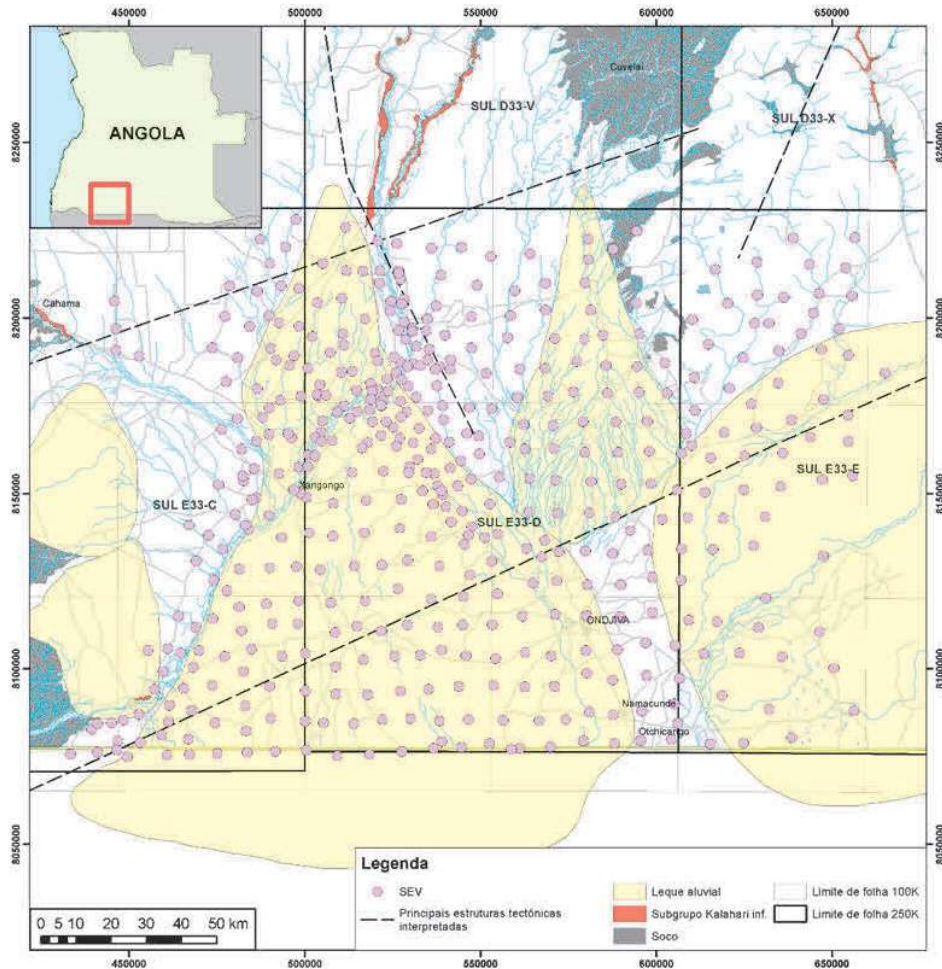


Fig. 1. Esboço geológico baseado em Faria *et al.*, (2021) com a distribuição geográfica das SEV da década de 1960, cuja aquisição foi realizada por Nascimento e Moura Esteves (1966) e Nascimento *et al.* (1967).

### 3. Modelação 3D das sondagens elétricas verticais da década de 1960

As 482 sondagens elétricas verticais realizadas na região do Cunene entre os anos de 1966/67 (Fig.1), utilizando o dispositivo de Schlumberger com AB/2 a variar entre os 350 e os 1200 m e com uma malha a variar entre os 2,5 e os 10 km (Nascimento e Moura Esteves, 1966; Nascimento *et al.*, 1967) foram reprocessadas e foi realizada a inversão 1D de todas as sondagens e, posteriormente, modelação quasi 3D.

O método baseia-se numa inversão de mínimos quadrados de um terreno estratificado



**13.º Seminário sobre Águas Subterrâneas**  
**O papel das águas subterrâneas na sustentabilidade das cidades do século XXI**

bacia (direção W-E) atinge valores de 3-4 ohm.m até profundidades próximas dos 300 m. Para W e E, valores de resistividade mais elevada são cada vez mais atingidos a menores profundidades quanto mais distantes estão do centro da bacia. Isto significa que na zona central e meridional da bacia, o KOH-2 é atingido a maiores profundidades do que nos bordos, o que é compatível com a informação obtida nos furos realizados no âmbito do PCAARPSA. Por outro lado, devido à elevada mineralização da água do aquífero KOH-1 e à pequena espessura que evidencia, a sua identificação torna-se difícil, se não impossível, a partir do modelo 3D baseado em SEV.

### **5. Conclusões**

A interpretação do modelo 3D realizado a partir das SEV efectuadas na década de 1960 na bacia do Cunene permitiu conhecer melhor o sistema aquífero KOH, e em particular o aquífero KOH-2 e o seu potencial enquanto alternativa de abastecimento de água às localidades periféricas e à população dispersa da região do Cunene. A partir deste modelo, foi possível planear novos trabalhos de prospecção hidrogeológica, como TDEM e sondagens mecânicas profundas para conversão em piezómetros para estudo do KOH-2, que além da nova informação que têm vindo a fornecer, têm igualmente estado a validar o presente modelo. Salienta-se que a interpretação de toda a nova informação geológica e hidrogeológica obtida no âmbito do projecto Planageo tem sido consistente com o modelo 3D das SEV realizadas na década de 1960.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao projeto Planageo, bem como a todos os colegas com quem tiveram o privilégio de trabalhar ao longo dos mais de 5 anos da sua duração e que de muitas e diferentes formas contribuíram para a realização deste trabalho.

### **Referências bibliográficas**

- Francés, A, Carvalho, J, Rodrigues, J F (2020). Contributo ao "Estudo Geológico, Geofísico e Hidrogeológico do Sistema aquífero KOH em Angola", relatório interno UTE (IGME, LNEG, Impulso) IGEO, Luanda, 67 pp.
- Feria, M C., Martín Banda, R, Garcia Lobón, J L, Gumiel, J C , Rey Moral, C, Merino, E (2021). Notícia Explicativa da Carta geológica de síntese e hidrogeológica, Escala 1:500.000, 186p.
- Hamutoko, J., Post, V., Wanke, H., Beyer, M., Houben, G. and Mapani, B. (2019). The role of local perched aquifers in regional groundwater recharge in semi-arid environments: evidence from the Cuvelai-Etосha Basin, Namibia. *Hydrogeology Journal* 1-15. <https://doi.org/10.1007/s10040-019-02008-w>
- Lindenmaier, F, Miller, R, Fenner, J., Christelis, G, Dill, H G, Himmelsbach, T, Kaufhold, S, Lohe, C, Quinger, M, Schildknecht, F, Symons, G, Walzer, A, van Wyk, B (2014). Structure and genesis of the Cubango Megafan in northern Namíbia: implications for its hydrogeology. *Hydrogeology Journal* 22, 1307–1328. <https://doi.org/10.1007/s10040-014-1141-1>

**13.º Seminário sobre Águas Subterrâneas**  
**O papel das águas subterrâneas na sustentabilidade das cidades do século XXI**

Miller, R McG, Pickford, M, Senut, B (2010). The geology, palaeontology and evolution of the Etosha pan, Namibia: implications for terminal Kalahari deposition. *South African Journal of Geology*, (113):3, 307-334. <https://doi.org/10.2113/gssajg.113.3.307>

Monteiro Santos, F A (2004). 1-D laterally constrained inversion of EM34 profiling data, *Journal of Applied Geophysics*, 56, 123-134. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2004.04.005>

Monteiro Santos, F A, Triantafyllis, J, Bruzgulis, K, 2011. A spatially constrained 1D inversion algorithm for quasi-3D conductivity imaging: Application to DUALEM-421 data collected in a riverine plain, *Geophysics*, Vol. 76, No. 2, P. B43–B53, 11 FIGS. <https://doi.org/10.1190/1.3537834>

Nascimento, U, Moura Esteves, J (1966). Prospecção geofísica da possança das formações detríticas nas áreas dos concelhos de Roçadas e Cuanhama (Baixo Cunene). *Serv. de Geotecnia, Div. de Prospecção, Rel. Técnico nº 38 e anexo.*

Nascimento, U, Moura Esteves, J, Farinha, J A R (1967). Prospecção geofísica da possança das formações detríticas nas áreas dos concelhos de Roçadas e Cuanhama (Baixo Cunene). *Serv. de Geotecnia, Div. de Prospecção. Rel. Complementar ao Relatório Técnico nº 41, 8p. e anexo.*

Schildknecht, F (2012). Groundwater exploration with TEM soundings in the Cuvelai-Etosha Basin. *Grundwasser für den Norden Namibias (Cuveai-Etosha Becken)*, 2006.2073.2, 05-2326, 35p.+annexes.

Wallner, M., Houben, G., Lohe, C., Quinger, M., Himmelsbach, T. (2017). Inverse modeling and uncertainty analysis of potential groundwater recharge to the confined semi-fossil Ohangwena II Aquifer, Namibia. *Hydrogeology Journal*, (25): 2303-2321. <https://doi.org/10.1007/s10040-017-1615-z>