



## AValiação DE REBAIXAMENTO DE AQUÍFERO PARA IMPLANTAÇÃO DE INFRAESTRUTURA URBANA EM SUMBE, ANGOLA, ÁFRICA

Cássio G. RAMPINELLI<sup>1</sup>, Tyler J. SMITH<sup>2</sup>, Ana E.M. LIMA<sup>3</sup>, Charles Silva de AGUIAR<sup>4</sup>, Silvio A. DOMINGOS<sup>5</sup>, Celestina DINIZ<sup>6</sup>, Janilson T. ARAÚJO<sup>7</sup>

1. Clarkson University, USA, cassiorampinelli@gmail.com

2. Clarkson University, USA, tsmith@clarkson.edu

3. BDM Engenharia e Tecnologia, Angola, ana.lima@bdm.co.ao

4. BDM Engenharia e Tecnologia, Angola, charles.aguiar@bdm.co.ao

5. BDM Engenharia e Tecnologia, Angola, silvio.domingos@bdm.co.ao

6. BDM Engenharia e Tecnologia, Angola, celestina.diniz@bdm.co.ao

7. BDM Engenharia e Tecnologia, Angola, janilson@bdm.co.ao

### RESUMO

Este trabalho descreve um estudo hidrogeológico desenvolvido para a cidade de Sumbe, na Angola, África com o propósito de avaliar a viabilidade de se utilizar poços profundos existentes para efetuar o rebaixamento do lençol freático na área central da cidade de forma a facilitar a execução das obras de infraestrutura, bem como incrementar a vida útil das instalações. Uma contextualização geral do caso é inicialmente apresentada, seguida de uma descrição dos levantamentos de campo realizados. Mais de 43 poços de observação foram instalados para caracterizar a superfície freática na região de interesse. A condutividade hidráulica da zona não saturada foi estimada baseada em ensaios open and hole que foram realizados em locais diversos para garantir uma avaliação da variabilidade das condições hidrogeológicas da zona de aeração. A transmissividade e a condutividade hidráulica da zona saturada foram estimadas com base em um teste de aquífero realizado em um poço de bombeamento e dois poços de observação. Ensaios SPT foram realizados e combinados com todos os dados levantados em campo para produzir um modelo conceitual hidrogeológico da área de estudo. Com base nos levantamentos executados e por meio da aproximação de Dupuit para a equação de Boussinesq para aquíferos confinados e semiconfinados, a superfície piezométrica e o raio de influencia do poço de bombeamento foram calculados para a condição de operação do poço. As avaliações indicaram que toda a área de estudo encontra-se sobre uma camada espessa de argila e a utilização de poços profundos para rebaixamento do lençol freático, seja temporariamente ou de forma permanente mostra-se inviável. Para o rebaixamento temporário foi sugerido o uso de bombeamento direto das águas drenadas nas escavações executadas. Por fim, recomendações gerais foram realizadas para os projetos de drenagem, esgotamento sanitário e pavimentação.

**Palavras-Chave:** rebaixamento de aquíferos; infraestrutura; condutividade hidráulica; raio de influencia de poços;

### 1. CONTEXTUALIZAÇÃO E ÁREA DE ESTUDO

Este trabalho apresenta um resumo das atividades realizadas para subsidiar os estudos de viabilidade de rebaixamento do lençol freático em bairro da cidade de Sumbe/Angola (11° 12' 14,19" Lat. Sul e 13° 50' 29,32" Long. Leste). A área de estudos consiste em trecho urbano da cidade de Sumbe, localizada na província do Cuanza Sul em Angola, onde se pretende realizar a implantação de infraestrutura urbana com a inserção de vias, calçamento, redes de drenagem, esgotamento sanitário, distribuição de água, energia elétrica e telecomunicações. Tendo em vista a proximidade do nível freático da superfície e a existência de 3 poços antigos na região, desde o período colonial, vislumbrou-se a possibilidade de recuperação desses poços para efetuar o rebaixamento do lençol freático e permitir não só a execução das obras previstas, mas a manutenção perene do nível d'água a distância satisfatória da fundação das infraestruturas implantadas para prolongamento da vida útil. Em função da ausência de estudos técnicos e levantamentos hidrogeológicos na região foram realizados levantamentos complementares para permitir uma melhor caracterização da superfície freática potencial, da

transmissividade e condutividade hidráulicas das zonas de aeração e saturação. Uma breve descrição dos ensaios e levantamentos realizados é apresentada na seção seguinte.

## 2. ENSAIOS DE CAMPO E MONITORAMENTO

Para a estimativa da condutividade hidráulica da zona vadosa foram realizados os ensaios Open and Hole e o ensaio dos Anéis Concêntricos. A condutividade hidráulica na zona saturada foi obtida a partir do teste de aquífero por meio de bombeamento em poço tubular e verificação da depleção do nível freático em poços de observação. A caracterização da superfície freática potenciométrica foi realizada a partir da instalação de poços de monitoramento do nível freático, dos quais 43 foram acompanhados diariamente durante o período de realização da campanha de campo.

### 2.1. Ensaio para zona vadosa

#### 2.1.1. Anéis concêntricos

Os ensaios de infiltração *in situ* pelo método dos anéis concêntricos visaram estimar a condutividade hidráulica vertical (K) na superfície da zona não saturada ou da zona de aeração do ambiente examinado. O coeficiente de permeabilidade ou condutividade hidráulica (K) em um meio isotrópico pode ser definido como a velocidade aparente por gradiente hidráulico unitário. Refere-se à facilidade da formação aquífera de exercer a função de um condutor hidráulico (CPRM, 2000). Este parâmetro é fundamental para caracterização hidrogeológica do aquífero e conseqüentemente para subsidiar o emprego de modelos e métodos para descrição da dinâmica de fluxo e utilização de águas subterrâneas. Maiores detalhes referentes a execução deste teste podem ser encontrados em ADASA (2016), Flori (2010) ou Carvalho et al. (2013). Foram realizados 5 ensaios ao longo da área de estudo. Obteve-se para as camadas superficiais valores médios de condutividade hidráulica da ordem de  $1,25E-05$  m/s ( $1,25E-03$  cm/s). Observando-se a ordem de grandeza dos valores de referência apresentados em Alonso (2007) ou Oliva et al. (2005) e aqueles obtidos a partir dos ensaios realizados, verificam-se valores típicos de condutividade hidráulica de material fino arenoso/siltoso. Ressalta-se que a locação dos pontos para este ensaio ficou limitada a pontos onde a compactação do solo permitiu a cravação do anel metálico

#### 2.1.2. Open and Hole

Um total de 9 ensaios do tipo Open and Hole foi empregado para aferir a condutividade hidráulica *in situ* para camadas superficiais variáveis do solo, iniciando-se a partir de 50 cm de profundidade até atingir 200 cm. Maiores detalhes referentes a execução deste teste podem ser encontrados em ADASA (2016). Com base nos resultados obtidos, observou-se que para maiores profundidades os valores de K tendem a se reduzir, atingindo valores próximos a material argiloso, praticamente impermeável em alguns pontos. O tipo de material identificado nas camadas a partir de 1 m até 2 m (argiloso/siltoso) de profundidade foram muito similares em toda a região estudada. A ordem de grandeza dos valores obtidos ( $4E-06$  cm/s) foram típicos de condutividade hidráulica de material fino argiloso/siltoso. Tais valores são correspondentes a caracterização tátil visual do material verificado *in loco*. Ressalta-se que em alguns locais onde se identificou a presença da superfície freática os resultados obtidos foram nulos, tendo em vista a saturação do solo e a impossibilidade de infiltração da coluna de água.

### 2.2. Zona de Saturação -Teste de bombeamento

Com o propósito de estimar a condutividade hidráulica (K) e a transmissividade (T) do aquífero, procedeu-se com a realização de um teste de bombeamento com medição de nível d'água em dois poços de observação e bombeamento em um poço. O poço de bombeamento foi denominado P-2, enquanto os poços de monitoramento foram denominados P-2-1 e P-2-2, sendo que o primeiro foi posicionado a cerca de 5 metros do poço de bombeamento, enquanto o segundo a cerca de 10 m. Os poços de monitoramento foram executados conforme especificações técnicas da ABNT (1997). Maiores detalhes referentes às recomendações que foram seguidas para execução do teste de bombeamento podem ser consultados em ADASA (2016), CPRM (2000), Lima e Filho (2003), Giustina (2015). O teste foi realizado entre os dias 02 e 03 de março de 2018 e teve uma duração de 12

horas de bombeamento e 6 horas de recuperação. A vazão foi mantida constante a  $6 \text{ m}^3/\text{h}$ , e os níveis de rebaixamento foram aferidos nos dois poços.

### 2.3. Poços de monitoramento

Com o objetivo de levantar a profundidade da superfície freática na região de estudo foram instalados 46 poços de monitoramento do nível do lençol freático dos quais 43 foram efetivamente utilizados. Os poços foram perfurados com trado de 60 mm de diâmetro a uma profundidade aproximada de 3 m. Em cada perfuração foi inserido um tubo de PVC de 50 mm de diâmetro e 3 m de comprimento. A partir dos 50 cm iniciais do tubo foram feitos orifícios da ordem de 0.80 cm de diâmetro perfazendo uma extensão de 1.50 m. O fundo do tubo foi tamponado com sacos plásticos e a interface entre o tubo e o solo foi preenchida com pedrisco. Em cada poço foi executado um marco topográfico para aferição da cota absoluta do nível d'água. Após um monitoramento regular dos níveis d'água em cada um deles foi gerada uma superfície freática por meio de triangulação dos dados levantados. A Figura 1(a) apresenta um perfil esquemático dos poços implantados e a Figura 1(b) a superfície freática gerada em cotas relativas à superfície do solo, considerada representativa para o mês de fevereiro de 2018. Esta figura apresenta em cores próximas ao vermelho os pontos onde o lençol está mais profundo e em azul os pontos onde a superfície freática está mais superficial (próxima ao solo). A título de referência, o valor nulo representa a superfície do solo e valores negativos a profundidade do nível d'água em relação ao solo.

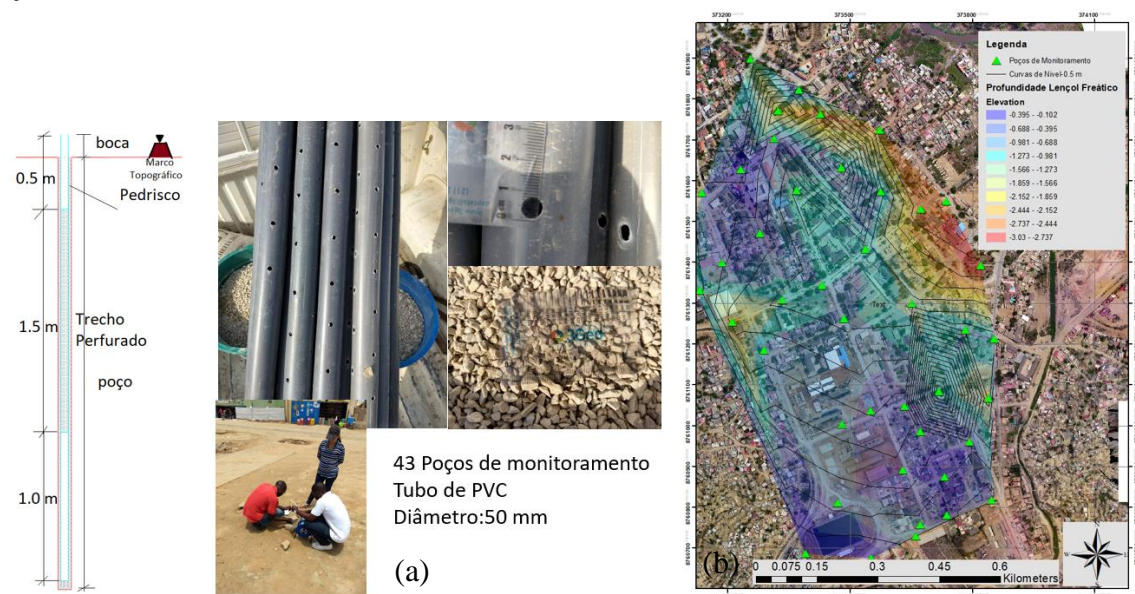


Fig. 1. Perfil esquemático dos poços de monitoramento e bombeamento (a). Superfície freática e localização dos poços (b)

### 3. CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA E RAIOS DE INFLUÊNCIA DO POÇO

Com base no ensaio de bombeamento realizado, buscou-se estimar o coeficiente de condutividade hidráulica do aquífero ( $K$ ) e sua transmissividade inicial ( $T_0$ ), a partir do modelo de Dupuit/Thiem para aquíferos livres e descritas em CPRM (2000). Os valores de rebaixamento para cada um dos poços considerou a média de dois modelos de regressão logarítmico e exponencial. Tendo em vista que as sondagens SPT precisaram ser interrompidas antes de se identificar com precisão a profundidade da camada saturada, essa foi estimada em 60 m de profundidade. Assim, foram obtidos os seguintes valores para a transmissividade inicial e condutividade hidráulica  $1,40 \text{ E-}04 \text{ m}^2/\text{s}$  e  $2,33 \text{ E-}06 \text{ m/s}$ , respectivamente. Com base na condutividade hidráulica  $K$  estimada e considerando as informações disponíveis a partir dos levantamentos complementares realizados, buscou-se avaliar qual seria o raio de influência para um bombeamento constante nas condições do teste, ou seja, com vazão de  $6 \text{ m}^3/\text{h}$ . Por meio da solução pelo método das diferenças finitas da Equação de Boussinesq simplificada



pelos pressupostos do modelo de Dupuit para aquíferos não confinados obteve-se um raio de influência da ordem de 60 m.

#### 4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados indicaram que a área de influência do poço de bombeamento é muito localizada, da ordem de 60 m. Como toda área urbana da cidade de Sumbe está assentada em região com hidrogeologia semelhante, espera-se que a resposta de outros poços tubulares instalados com o mesmo propósito seja semelhante. Ou seja, a adoção de poços tubulares profundos para o rebaixamento do nível do lençol freático deve ser pouco eficiente, tendo em vista que as características hidrogeologias da região limitam o efeito do rebaixamento a algumas dezenas de metros de distância do poço no qual se realiza o bombeamento. Dessa forma, recomenda-se que os projetos de infraestrutura urbana sejam desenvolvidos considerando soluções de convívio com as condições de nível do lençol freático superficial. Para as redes de drenagem e esgoto, recomenda-se que sejam adotadas declividades máximas limites para garantir as melhores condições de escoamento possíveis. Neste caso, sugere-se a adoção de redes com tubulações em PEAD (Polietileno de Alta Densidade). Tal iniciativa limitaria a infiltração do lençol freático nas redes de esgoto e drenagem, assim como facilitaria a execução, tendo em vista que as tubulações são leves e flexíveis. Além disso, as possibilidades de rompimentos da rede em virtude de alterações da força de empuxo associadas a flutuações do lençol freático natural seriam reduzidas. Caso não seja possível a adoção desse material, no caso de se trabalhar com aduelas de concreto, recomenda-se adotar uma vazão residual (de 10 % a 30 %) das vazões de projeto de drenagem e esgoto, devido a contribuição da percolação da água do lençol freático nas redes de esgotamento e drenagem. Complementarmente, para as redes de esgoto e drenagem em aduelas de concreto, recomenda-se um preenchimento anelar com brita e geotêxtil para alívio das forças de empuxo e drenagem da água decorrente do lençol freático. Em pontos específicos, a água drenada deste sistema pode ser conduzida em direção aos poços de visita ou bocas de lobo da rede de drenagem implantada. Para a pavimentação, recomenda-se a adoção de uma camada drenante com britas abaixo da base da pavimentação envolta por manta geotêxtil e caimento do centro do eixo para as margens da rua pavimentada. Sob as margens, seguindo longitudinalmente às ruas, sugere-se a instalação de tubulação drenante para conduzir a água drenada sob as seções pavimentadas para as bocas de lobo. Tais propostas visam ampliar a vida útil da infraestrutura urbana instalada, tendo em vista a exposição da mesma a níveis freáticos rasos e com salinidade relativamente alta. Por fim, no que se refere à execução da obra, recomenda-se que inicialmente busque-se o rebaixamento temporário por bombeamento direto e, caso haja trechos em que tal iniciativa não resulte efetiva, proceda-se com bombeamento por ponteiros filtrantes.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. (1997). NBR-13895-Construção de poços de monitoramento e amostragem. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ADASA. (2016). Resumo Teórico e Prático para Testes de Aquíferos na Zona Saturada e Não Saturada: Ensaio de Infiltração in situ, Slug Test e Testes de Bombeamento. Brasília: Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal.
- Alonso, U. R. (2007). Rebaixamento temporário de aquíferos. São Paulo: Oficina de Textos.
- Carvalho, A. M., Gomes, L. G., Barbosa, A., Filho, J. A., & Mondelli, G. (2013). Determinação da condutividade hidráulica de uma área contaminada no município de Santo André utilizando-se método Slug Test. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 3, pp. 71-87.
- CPRM. (2000). Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações (2 ed.). Rio de Janeiro: CPRM-Serviço Geológico do Brasil.
- Flori, J. d. (2010). Avaliação de métodos de campo para a determinação de condutividade hidráulica em meios saturados e não saturados. Brasília: Dissertação de mestrado submetida ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília como pré requisito para obtenção do grau de mestre em geociências.



# 14. SILUSBA

- Lima, A. A., & Filho, J. V. (2003). Procedimentos para a realização de testes de bombeamento em poços tubulares utilizados no aproveitamento de águas minerais. Pernambuco: DNPM.
- Oliva, A., Kiang, C. H., & Chang, M. C. (2005). Determinação da condutividade hidráulica da formação rio Claro: Análise comparativa através de análise granulométrica e ensaios com permeâmetro Guelph e testes de Slug. *Águas Subterrâneas*, 19, pp. 1-17.