



5.2 Estudo de aquíferos fraturados e porosos com base em deteção remota em Wako Kungo, Angola

António Chambel, Universidade de Évora, Instituto de Ciências da Terra, Évora, Portugal, achambel@uevora.pt

Irina Miguel, Universidade Agostinho Neto, Luanda, Angola

Zoltán Vekerdy, Universidade de Twente, NL / Universidade Szent István, Twente, Holanda

RESUMO

Introdução

A água subterrânea em Angola é usada como água de abastecimento para várias áreas urbanas e é também uma importante fonte de abastecimento de água rural e para a agricultura. Com a crescente procura de água, estudos anteriores relacionados com o uso de deteção remota e SIGs no mapeamento de águas subterrâneas podem mostrar-se altamente úteis no desenvolvimento e gestão eficiente e controlada dos recursos hídricos subterrâneos.

Objetivos

Na área de estudo, em Wako Kungo, Angola, as observações de campo e os dados geológicos de base permitiram distinguir dois tipos principais de aquíferos, detríticos e fraturados, numa região dominada pela agricultura extensiva e pecuária. O objetivo era perceber como, através da utilização de deteção remota, se conseguiriam obter dados úteis para a identificação dos padrões dos aquíferos numa região extensa e com poucos recursos humanos para fazer investigação de base no campo. Para melhor consecução dos objetivos propostos, e para calibração de resultados, foram também efetuados trabalhos de campo, a fim de confirmar a análise de dados obtidos a partir da deteção remota.

Metodologia

A fim de identificar as áreas de recarga e descarga de águas subterrâneas na área de Wako Kungo, analisaram-se e processaram-se imagens óticas e de radar. Os padrões da água subterrânea foram identificados com base em imagens de satélite, DEM (Modelo de Elevação Digital) e em dados de campo, tendo sido depois toda a informação compilada em GIS (Sistemas de Informação Geográfica). Todos os dados foram integrados para preparar diferentes camadas temáticas como drenagem, densidade de drenagem, densidade de lineamentos, índice de vegetação e mapas de NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada).



A nível do trabalho de campo, para além da observação da geologia e grau de fraturação e alteração das rochas fraturadas, foram ainda identificados pontos de água e suas características físicas e de produtividade, bem como medidos parâmetros físico-químicos de campo (condutividade elétrica e temperatura, neste caso) e recolhidas amostras para análises físico-químicas laboratoriais em alguns dos pontos inventariados.

Resultados

O estudo mostra que os mapas resultantes da deteção remota que incorporam observações de campo e dados são úteis para prever áreas de recarga e descarga de águas subterrâneas em rochas cristalinas fraturadas. Os resultados sugerem que a intersecção e a densidade dos lineamentos devem ser combinados com outros elementos estruturais detalhados para revelar melhor essas áreas de descarga. O índice de vegetação, por exemplo, é importante para a identificação de áreas de descarga de água subterrânea. A interpretação das imagens Spot-5 combinadas com imagens de radar Sentinel-1 de alta resolução e trabalho de campo, mostra que as direções de lineamentos NW-SE e NNW-SSE apresentam a melhor possibilidade de sucesso na prospeção de água subterrânea. Um mapa de densidade de lineamentos foi correlacionado com os locais de poços e nascentes identificados em Wako Kungo e mostra que poços altamente produtivos podem ser localizados ao longo das áreas de interseção de falhas, perto de ribeiros e de nascentes ativas. O padrão de fraturação e a posição das nascentes nas rochas duras estão claramente ligados às atividades tectónicas. Nessas rochas, as zonas de alta densidade de interseção de lineamentos em altitudes mais altas são claramente áreas de alto potencial para infiltração e as zonas de alta densidade de interseção de lineamentos em altitudes mais baixas são zonas viáveis para prospeção de águas subterrâneas e, portanto, sugere-se que essas zonas possam ser combinadas com mapeamento geofísico detalhado para avaliação quantitativa do potencial da água subterrânea da área de estudo.

A água subterrânea nas áreas sedimentares entre os afloramentos rochosos tem origem na infiltração direta por precipitação e na descarga das formações rochosas fraturadas, situadas a altitudes mais elevadas, e que descarregam nos aquíferos sedimentares situados a cotas inferiores. A análise da hidrogeoquímica mostra também que, para os parâmetros físico-químicos analisados, as águas subterrâneas apresentam um baixo nível de mineralização, reflexo de um contacto rápido com rochas ígneas fraturadas e pouco alteradas e com as formações arenosas das bacias sedimentares, de carácter quartzoso.

O mapa do padrão de drenagem da área de estudo foi desenhado com a ajuda de dados SRTM DEM (Missão Topográfica Radar Shuttle – Modelo de Elevação Digital). A análise da drenagem revelou que apresenta um padrão principalmente dendrítico, o que indica que a drenagem é geomorfológica e estruturalmente



controlada. Normalmente, os padrões de drenagem são considerados reflexos de formações superficiais e subterrâneas, enquanto a densidade de drenagem é proporcional ao escoamento superficial, sendo que, quanto maior a densidade de drenagem, maior o escoamento (Talabi e Tijani 2011). A baixa densidade de drenagem aumenta, portanto, a possibilidade de recarga e contribui positivamente para a disponibilidade de água subterrânea, se outras condições de ocorrência de água subterrânea forem favoráveis (Nayak *et al.*, 2017). Uma vez que a densidade de drenagem pode indicar indiretamente o potencial hídrico subterrâneo de uma área devido à sua relação com o escoamento superficial e a permeabilidade (Jasrotia *et al.*, 2016), no presente estudo ela foi considerada como um dos indicadores de ocorrência de água subterrânea.

Os lineamentos são alinhamentos lineares, retilíneos ou curvilíneos de origem tectónica, observados, quer seja no campo, quer em imagens de satélite, como foi o caso em Angola. Esses lineamentos mostram normalmente a linearidade ou curvilinialidade tonal ou textural do solo, do relevo, da rede de drenagem ou da vegetação, no caso de dados obtidos de imagens de satélite (Sukumar *et al.*, 2014). O motivo da formação do lineamento deve-se muitas vezes às atividades tectónicas, e geralmente acabam por refletir a manifestação superficial das fraturas subterrâneas. Lineamentos representam, portanto, muitas vezes, as zonas de falha e fraturação, resultando em aumento da porosidade secundária e permeabilidade (Magesh *et al.*, 2012), o que dá origem a uma maior taxa de infiltração de água no solo, pelo que uma área com bom número de lineamentos é mais promissora em termos de disponibilização de águas subterrâneas.

A identificação dos lineamentos na área de estudo foi baseada nas anomalias associadas a características como cursos de drenagem retos, padrões de vegetação, topografia, etc. A combinação de bandas de 3 (infravermelho próximo), 2 (banda vermelha) e 1 (banda verde) foram fundidas para gerar uma imagem composta de cor falsa para aprimoramento de recursos geológicos lineares na interface da janela ArcMap 10.4.1.

Os lineamentos estruturais mapeados foram analisados usando o parâmetro de densidade de lineamento (LD) cujas análises de resultados são apresentadas como mapa de densidade de lineamentos.

O resultado do presente estudo mostra que a técnica RS (Detecção Remota) é capaz de extrair tendências de lineamentos num terreno acidentado inacessível. A análise indicou que a área possui numerosos lineamentos longos e curtos cujas tendências estruturais são principalmente as direções NW-SE e NNW-SSE e, secundariamente, algumas direções NE-SW, que também são as principais direções das estruturas fraturadas regionais em complexos de base de Angola.

Por outro lado, um dos indicadores mais amplamente usados para monitorização da vegetação é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que é um índice baseado na refletância espectral da superfície do solo. O método NDVI tem sido usado para identificar e mapear características lineares geológicas (lineamentos) em terrenos de rocha dura com base no tom, cor e padrão de identificação textural (Mogaji *et al.*, 2011). Boyer e McQueen (1964) em Mogaji



et al. (2011) estabeleceram a utilidade do NDVI na deteção de fraturas e falhas que podem estar associadas à ocorrência de alinhamento da vegetação, nomeadamente pelo maior acesso da vegetação à água subterrânea que ocorre nessas zonas.

Os valores de NDVI variam de -1 a +1. Por causa da alta refletância na porção NIR (infravermelho próximo) do espectro eletromagnético, a vegetação saudável é representada por altos valores de NDVI entre 0,05 e 1. Por outro lado, superfícies sem vegetação (como corpos de água) produzem um valor NDVI negativo. Áreas de solo descoberto têm valores de NDVI que estão mais próximos de 0 devido à alta refletância nas porções visível e NIR do espectro eletromagnético. Neste estudo, o valor de NDVI foi calculado a partir da imagem SPOT 5.

Uma análise adicional dos valores de NDVI mostra que à vegetação saudável foram atribuídos valores de 0,5 a 1 na região, enquanto a vegetação não saudável, solo descoberto e outras características têm valores que variam de -1 a 0,4. As áreas vegetadas foram mapeadas aplicando-se a calculadora raster, uma ferramenta do analista espacial, usando 0,5 como valor limite na imagem NDVI. Neste estudo, um índice de vegetação foi usado para identificar lineamentos com maior potencial de água subterrânea, distinguindo áreas não vegetadas de áreas com vegetação com altas densidades de lineamentos.

Lineamentos digitalizados ao longo das fraturas mostram a concentração de lineamentos com alto potencial de água subterrânea em NDVI para infiltração ou fluxo de água subterrânea. Isso permitiu salientar a vegetação da área na estação seca e mostrou claramente a relação entre as áreas com vegetação e a alta densidade de lineamentos.

Considerações finais

Com base na análise dos parâmetros físico-químicos da água subterrânea, na interpretação do mapa de densidade dos lineamentos e no mapa de vegetação, e integrando todas as demais análises realizadas no terreno e outros mapas, executou-se o mapa das zonas de infiltração e de descarga de águas subterrâneas.

Como esperado nestes tipos de rochas e neste tipo de ambiente geomorfológico, a infiltração ocorre principalmente nas áreas mais altas (aqui formadas por afloramentos graníticos), migrando então para as áreas mais baixas, aqui representadas pelas rochas sedimentares. Ao longo dos limites dos afloramentos graníticos existem sinais claros de descarga direta das rochas ígneas, nomeadamente muitas nascentes de sopé. Aqui, a água proveniente das áreas mais altas é descarregada dos afloramentos graníticos para as bacias sedimentares.

Nas bacias sedimentares, os rios são as principais estruturas lineares de descarga das águas subterrâneas. Alguma infiltração também ocorrerá nas áreas sedimentares mais baixas, neste caso com uma ligação muito curta entre a recarga e as áreas de descarga nos rios.



A química também mostra que, como esperado, o tempo de contato da água subterrânea com a rocha é maior nas formações sedimentares, onde as águas infiltradas das áreas graníticas são também descarregadas, evidenciando a ligação entre os dois ambientes hidrogeológicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Jasrotia AS, Kumar A, Singh R 2016. Integrated remote sensing and GIS approach for delineation of groundwater potential zones using aquifer parameters in Devak and Rui watershed of Jammu and Kashmir, India. *Arab J Geosciences*, 9: 304. DOI 10.1007/s12517-016-2326-9.
2. Magesh NS, Chandrasekar N, Prince J 2012. Delineation of groundwater potential zones in Theni district, Tamil Nadu, using remote sensing, GIS and MIF techniques. *Geoscience Frontiers*. Vol 3. pp189-196. DOI: 10.1016/j.gsf.2011.10.007.
3. Mogaji KA, Aboyeji OS, Omosuyi GO 2011. Mapping of lineaments for groundwater targeting in the basement complex region of Ondo State, Nigeria, using remote sensing and geographic information system (GIS) techniques. *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering*. Vol.3 (7), pp.150-160. ISSN 1991-637X.
4. Nayak P, Rai AK, Tripathy S 2017. *Sustainable Water Resources Management*. 3: 129. DOI: 10.1007/s40899-017-0082-y.
5. Sukumar M, Venkatesan N, Nelson KBC 2014. A review of various lineament detection techniques for high resolution satellite images. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, Vol 4(3), pp.72-78.
6. Talabi AO, Tijani MN 2011. Integrated remote sensing and GIS approach to groundwater potential assessment in the basement terrain of Ekiti area southwestern Nigeria. *RMZ Mater Geoviron* 58(3):303–328.