

Classificação de imagem CBERS para mapeamento de áreas de recarga de mananciais subterrâneos.

Mahelvson Bazilio Chaves ¹
Juciela Cristina dos Santos ²
Jonathan Tenório de Lima ³
Júlio César Cotrim Moreira Filho ⁴
Rosane Cunha Maia Nobre, D.Sc. ⁵
Manoel de Melo Maia Nobre, Ph.D. ⁶

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Campus A. C. Simões - Av. Lourival Melo Mota, s/n,
Tabuleiro do Martins - Maceió - AL, CEP: 57072-970

¹ mbchaves@yahoo.com.br

² jucielacris@hotmail.com

³ johntl@gmail.com

⁴ jjccccmmff@hotmail.com

⁵ rosanemaia@uol.com.br

⁶ maianobre@uol.com.br

Abstract. This paper presents the results of the use of remote sensing as a tool to quantify regional groundwater recharge, applied in a coastal urban aquifer in the city of Maceio, located in northeastern Brazil. The identification of recharge is one of the more important elements of a vulnerability assessment in subsurface hydrology. Recharge is not easily assessed and is known to be affected by a number of factors such as land use-land cover (LULC), topography and precipitation. The data for the LULC map were prepared through the classification process of a CBERS 2 satellite image. Four categories of interest were classified in the domain: urban/residential, agriculture (mostly irrigated sugarcane fields) and non-native vegetation (mostly brush and shrubs) and non-vegetated fields. The supervised maximum likelihood classification was performed using ENVI. Results indicated a Kappa coefficient of 97%. In addition to precipitation, other sources of recharge in urban areas were identified as leakage from water supply pipes and sewer systems, and in rural areas irrigation return. Urban recharge was found to be a major component of groundwater recharge, with values that doubles the recharge in non-urban areas. This increase may be attributed to removal of native vegetation as well as infiltration from water mains.

Palavras-chave: recarga urbana, CBERS, hidrologia subterrânea, contaminação de aquíferos, urban recharge, CBERS, groundwater hydrology, aquifer contamination.

1. Introdução

O sensoriamento remoto é uma ferramenta essencial na avaliação da disponibilidade hídrica de bacias hidrográficas e de mananciais hídricos subterrâneos regionais. Os dados de sensoriamento remoto, por exemplo, podem ser incorporados ao estudo de recursos hídricos por meio de três formas: análise qualitativa de imagens e fotografias aéreas, que permitem a identificação de alterações locais na cor e no volume dos rios, reservatórios etc.; mapeamento da superfície líquida, identificação de sistemas de falhas, fraturas etc.; análise quantitativa, que permite o estabelecimento de modelos que relacionam medidas pontuais a propriedades

espectrais da água (Novo, 1992). Mediante estes conceitos, o sensoriamento remoto pode ser utilizado como ferramenta de grande utilidade em trabalhos envolvendo recursos hídricos.

O termo recarga representa a quantidade de água, por unidade de área, que penetra no subsolo até atingir o lençol freático. Esse parâmetro permite o transporte do contaminante verticalmente até o nível do lençol e horizontalmente através do aquífero. Portanto, quanto maior a recarga, maior a facilidade de percolação do composto e, conseqüentemente, maior o risco de poluição das águas subterrâneas (Nobre et al., 2007). De uma forma geral, recarga subterrânea é considerada como a quantidade de água que contribui para aumentar a reserva subterrânea permanente ou temporária de aquífero, e, no caso da reserva temporária, é considerada como reserva reguladora ou renovável, que pode ser considerada como reserva explorável (Vasconcelos, 2005).

Infelizmente, dado o atual estado da ciência, é extremamente difícil de obter precisão em qualquer método para cálculo de recarga. Por esta razão são aplicados vários métodos de estimativa com a finalidade de alcançar consistência nos resultados (Healy e Cook, 2002). A recarga acontece de formas diferentes de acordo com o meio. São vários os fatores que influenciam na chegada de água para recarregar um aquífero, desde a porosidade e permeabilidade do solo a fatores externos. Na estimativa da recarga, o sensoriamento remoto pode ser utilizado em largas escalas através, por exemplo, de medidas indiretas de umidade do solo ou também em modelos de balanço hídrico, da mesma forma, a classificação de imagens de satélite, com elaboração do mapa de cobertura e uso do solo, que pode ser realizada através de técnicas específicas de classificação supervisionada e não-supervisionada (Richards, 1986), permite a identificação de áreas que facilitarão a análise quantitativa e qualitativa de recarga dentre as diferentes coberturas do solo.

O presente trabalho apresenta uma nova abordagem para uso das técnicas geoespaciais de sensoriamento remoto, a utilização de imagens CBERS, como ferramenta no mapeamento de áreas para cálculo de recarga de aquíferos. O objetivo é a utilização da imagem para se obter o mapa de uso e ocupação do solo, o qual auxiliará na identificação de fontes de recarga artificial urbana e agrícola.

A região escolhida para estudo foi a região metropolitana de Maceió, caracterizada por estar numa região de clima quente e úmido, com estação chuvosa compreendida entre março e agosto, quando é registrado cerca de 75% da precipitação média anual que corresponde a 1876 mm (Souza et al., 1998). Esta apresenta hoje cerca de 80% de seu suprimento com origem nos recursos hídricos subterrâneos, através de centenas de poços profundos. Essa cidade vem de longa data enfrentando problemas quanto ao abastecimento de água para sua população (Nobre et al, 2007), existindo hoje uma demanda considerável de estudos que visem solucionar os problemas quanto a exploração sustentável dos recursos subterrâneos.

2. Metodologia de Trabalho

Para este trabalho foi utilizada uma imagem CBERS 2 referente a órbita 111 e passagem na data 09/04/2007, cobrindo toda a área de estudo. A imagem possui cinco bandas, das quais apenas quatro foram utilizadas. Pelo fato de se tratar de uma banda pancromática, a banda 5 (infravermelho médio) não foi utilizada na classificação, contudo os resultados obtidos foram bem sucedidos com o restante das bandas.

Para o georreferenciamento da imagem foram utilizadas as cartas planialtimétricas de Maceió, Rio Largo e Pilar, na escala de 1:50.000 do IBGE, utilizando-se o software ENVI 4.0 e 21 pontos de controle. A correção geométrica, ou georreferenciamento, foi feita pelo ajuste de uma imagem a um espaço definido por um sistema de coordenadas de referência. Com relação à imagem, uma forma comum de correção geométrica se faz pela indicação do sistema

de referência, dos sistemas de projeção e das coordenadas do retângulo envolvente, o mesmo é válido para os dados vetoriais. O procedimento adotado envolveu a identificação de, no mínimo, 6 a 10 pontos por área de 1.000 x 1.000 pixels e no mapa correspondente, ou seja, o procedimento de registro da imagem para o mapa deu-se em registrar uma imagem a partir de um mapa conhecido em uma carta impressa em papel. Para uma melhor escolha dos pontos, o referencial adotado foi o erro médio quadrático (*R.M.S. - Root Mean Square Error*), que é uma medida do desvio dos valores calculados em relação aos valores originais. O erro RMS é diretamente comparável ao conceito de desvio padrão, como mostra a Fórmula 1 (ENVI, 2007).

$$\text{RMS}_{\text{error}} = [(x_1 - x_{\text{org}})^2 + (y_1 - y_{\text{org}})^2]^{1/2} \quad (1)$$

Em que:

x_1 = Coordenada de linha calculada na imagem não-registrada.

y_1 = Coordenada de coluna calculada na imagem não-registrada.

x_{org} = Coordenada original de linha do ponto de controle (*Ground Control Point*) na imagem.

y_{org} = Coordenada original de coluna do ponto de controle (*Ground Control Point*) na imagem

Foi conduzida uma análise de correlação entre as bandas, chegando a conclusão de que as combinações das bandas 2, 3 e 4 obtiveram menor correlação espectral, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Correlação entre bandas do sensor CCD-CBERS 2.

Correlação	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4
Banda 1	1.000000	0.868330	0.764837	0.433308
Banda 2	0.868330	1.000000	0.858779	0.605436
Banda 3	0.764837	0.858779	1.000000	0.751685
Banda 4	0.433308	0.605436	0.751685	1.000000

A escolha da melhor combinação se dá ao fato de que as bandas com alta correlação fornecem informações próximas, enquanto, bandas pouco correlacionáveis fornecem um maior número de informações, o que aumenta o poder de identificação dos alvos.

Além de apresentar melhor correlação, as bandas escolhidas foram analisadas espectralmente, a fim de comparar a melhor correlação entre elas, analisado o comportamento dos alvos a serem classificados. O Gráfico 1 apresenta a observação do comportamento espectral dos mesmos, analisados no sensor CCD-CBERS 2, permitindo a identificação dos maiores e menores intervalos de reflectância. Com isso, a melhor combinação de banda para a classificação, são as combinações que tiverem os maiores intervalos entre si em relação ao alvo a ser estudado.

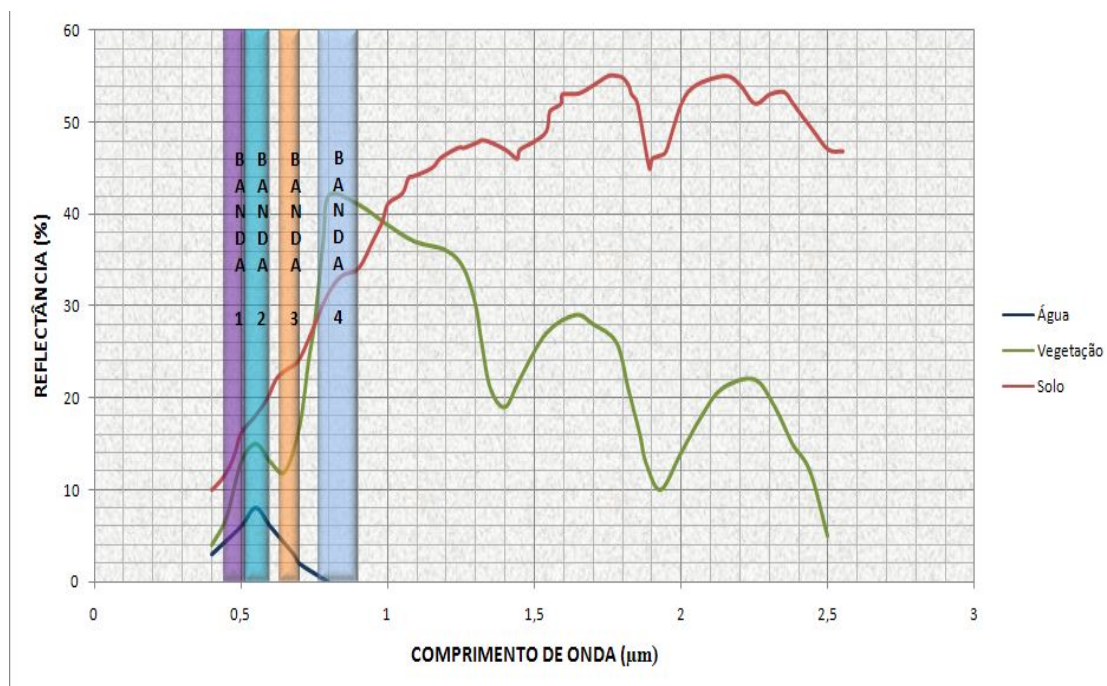


Gráfico 1 - Resposta espectral dos elementos água, vegetação e solo na imagem CBERS.

Após a análise espectral das bandas, foram selecionados os pixels para as classes dos dados em estudo. As áreas de interesse foram delimitadas por polígonos desenhados sobre cada caso de uso de terra com o auxílio do módulo “ROI Tool” do *software* ENVI 4.0. Na seleção de amostras das classes faz-se necessário uma homogeneidade na escolha dos pixels mas, ao mesmo tempo que sejam incluídas toda a variabilidade de níveis de cinza. A Tabela 2 apresenta a quantidade de pixels por classe utilizada na classificação da imagem.

Tabela 2 – Quantidade de pixels por classe analisada

Região de Interesse (ROI)	Número de Pixels
Água	102
Cana-de-açúcar	104
Vegetação secundária	106
Solo nu	124
Área urbana	144
Nuvem	50

Depois de realizadas as correlações e a escolha das melhores combinações foi efetuada a classificação da imagem, escolhendo como fonte os elementos: água, solo nú, nuvens, cana-de-açúcar, vegetação secundária e área urbana. A classificação da imagem consistiu na atribuição de classes a todos os píxeis da mesma. O resultado é um mapa temático mostrando a distribuição de categorias (vegetação, solo, água, entre outras) que, sendo georreferenciado, pode ser incorporado a um sistema de informações geográficas (SIG). A classificação foi realizada de forma supervisionada, onde se definiu as classes e apresentaram-se amostras, a partir das quais foram calculados parâmetros estatísticos para descrevê-las (Centeno, 2004). Foi utilizado o método da máxima verossimilhança que é um método de classificação que considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos. A Figura 1 apresenta o respectivo mapa de classificação da imagem.

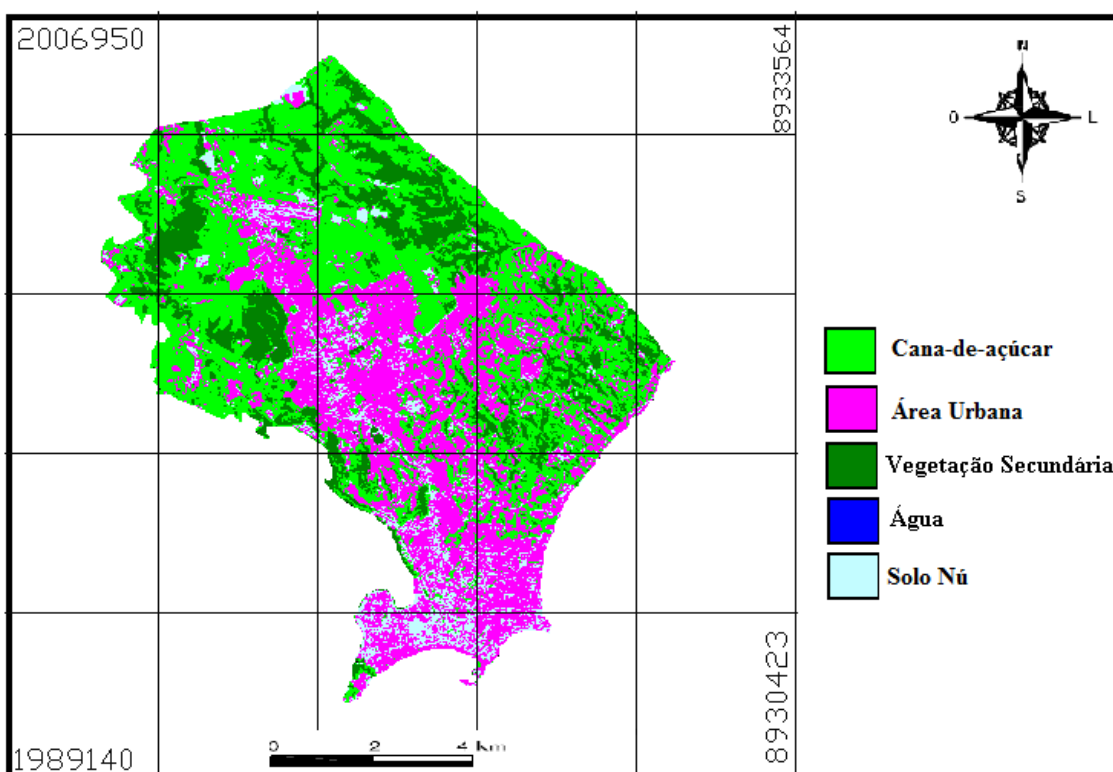


Figura 1 - Classificação da imagem CBERS 2

3. Discussão

O resultado da classificação permitiu a análise das áreas onde a recarga acontece de forma mais acentuada, podendo ser analisadas as incidências e percentuais de recarga pontualmente. A precipitação contribui para que esta recarga aconteça. A Tabela 3 apresenta a quantidade de recarga calculada nas áreas estudadas, bem como o percentual dos elementos classificados.

Tabela 3 – Percentual de classes encontradas e recarga calculada.

Elementos	Área	Recarga	Percentual
	%	mm/ano	%P*
Solo nú	8%	151	8
Cana-de-açúcar	44%	469	25
Vegetação secundária	16%	188	10
Área Urbana	32%	600	32
Coefficiente Kappa	0.974	-	-

*P é a Precipitação Total Anual Média no domínio (=1876 mm).

O coeficiente Kappa de 0,974 representou um bom percentual de acerto na classificação realizada. Ele é uma medida de concordância entre as amostras da cena e aquelas derivadas através da classificação da imagem de sensoriamento remoto.

O Gráfico 2 proposto por Foster et al.(1999), foi utilizado para estimar a recarga em aquíferos freáticos. Esse gráfico apresenta uma estimativa de recarga em áreas urbanas com e sem esgotamento sanitário, bem como em zona rural ou ambiente natural.

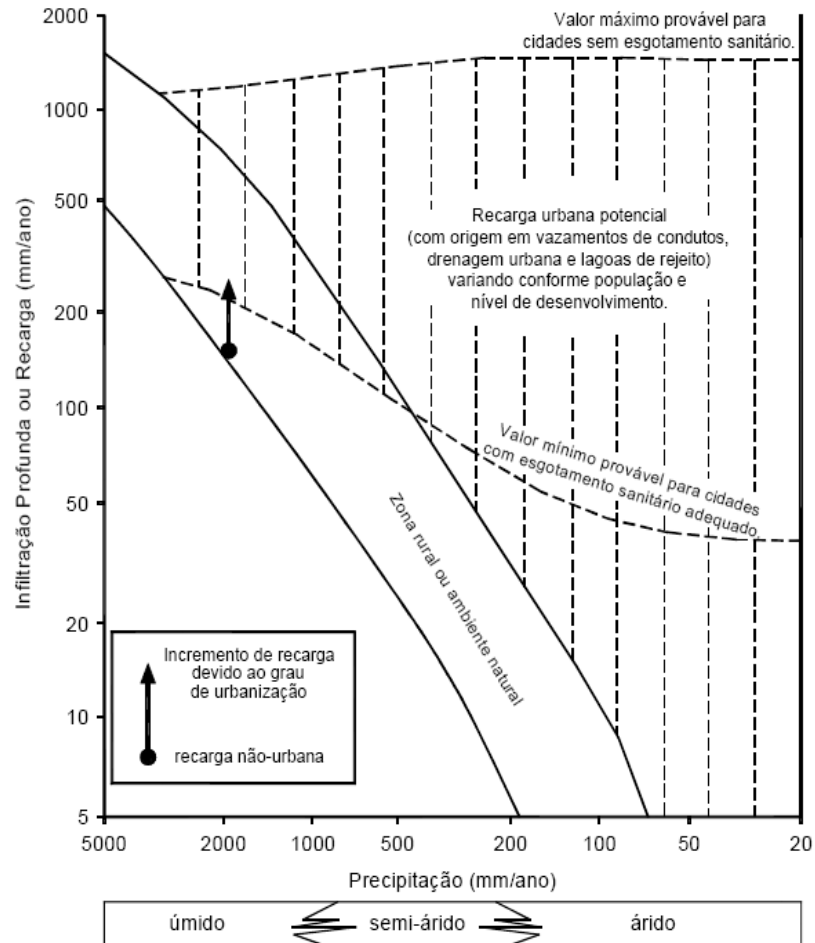


Gráfico 2 – Recarga em aquíferos freáticos. Adaptado de Foster et al.(1999) por Nobre (2006).

Para a área em questão, foi calculada uma recarga total (natural mais artificial) de 600 mm/ano, com base no gráfico 2. Esse valor corresponde a cerca de 32% do valor da precipitação, sendo a maior recarga dentre as áreas estudadas. Alguns autores atribuem esse valor elevado de recarga a remoção de vegetação nativa, bem como a infiltração em áreas servidas, sendo este percentual quase o dobro das demais áreas vegetadas (Lerner et al,2002; Appleyard, 1995).

Para solo nú, a recarga calculada foi de 8% da precipitação, equivalente a 151 mm/ano. Segundo Nobre (2006) esse valor é coerente com os solos do tipo podzólico, no domínio em estudo, apresentam textura argilosa a muito argilosa, por vezes plíntico e normalmente profundos com menor potencial de infiltração, justificando assim o valor adquirido. A vegetação secundária conferiu uma recarga igual a 10% da precipitação, ou seja, 188 mm/ano. Esse mesmo percentual de precipitação foi verificado por Keese (2005).

Na área de cana-de-açúcar foi calculada uma recarga equivalente a 25% da precipitação, ou seja, 469 mm/ano. A recarga na área irrigada foi significativa, neste caso, na cultura de cana-de-açúcar em comparação com áreas de vegetação nativa. Isto ocorre porque áreas agrícolas tendem a criar caminhos preferenciais de fluxos. Resultado semelhante pode ser encontrado nos trabalhos de alguns pesquisadores como citado por Scanlon et al. (2002).

A recarga é um parâmetro extremamente difícil de ser mensurado, sendo geralmente aplicados vários métodos na sua estimativa. Na cidade de Maceió, como visto, a recarga se distribui em diferentes áreas numa região relativamente grande o que contribui para elevar a complexidade do cálculo de recarga, sobretudo, de uma vegetação alterada, com grande infiltração de águas servidas e a presença maciça de cultivos agrícolas.

4. Conclusões

A classificação de imagens de sensoriamento remoto tornou-se uma ferramenta eficaz para a identificação e quantificação das diversas feições da cobertura do solo. Quando utilizada em conjunto com métodos analíticos pode, satisfatoriamente, estimar as diferentes intensidades de recarga. O mapa de uso e ocupação do solo é bastante útil na identificação das áreas com maior potencial de recarga como observado por vários autores.

A aplicação dos diversos métodos visa a convergência dos resultados de recarga, uma vez que os métodos avaliados individualmente não apresentam grande precisão. Dentre os métodos aplicados para o cálculo de recarga, a classificação de imagens por sensoriamento remoto permite uma análise mais ampla das características da área de estudo e da estimativa prevista.

Os resultados apresentados mostram a eficiência dessa ferramenta na estimativa da recarga em áreas distintas, com análises compatíveis com vários autores, reforçando a coerência dos resultados apresentados.

5. Referências

- Appleyard, S.J.; 1995. The impact of urban development on recharge and groundwater quality in the coastal aquifer near Perth, Western Australia, **Hydrogeology Journal**, V.3, N.2, pp 65-75.
- Bouwer, H. (1989) Estimating and enhancing groundwater recharge. In: Sharma ML (ed) **Groundwater recharge**. Balkema, Rotterdam, pp 1-10.
- Centeno, J. A. S, **Sensoriamento remoto e processamento de imagens digitais**. Ed. Curso de pós graduação em Ciências Geodésicas, Curitiba 2004
- De Vries, J.J.; Simmers, I. (2002). Groundwater recharge: an overview of processes and challenges. **Hydrogeology Journal**, 10(1): 18-39.
- Foster, S.S.D, Morris, B.L., Chilton, P.J.; Groundwater in urban development – a review of linkages and concerns. In: Ellis JB (ed) impacts of urban growth on surface water and groundwater quality. I Ahs publ. 259.
- Guia Do Envi Em Português. SulSoft Serviços de Processamento de Dados Ltda. Versão 05/2007.
- Healy, R.W. and Cook, P.G. (2002). Using groundwater levels to estimate recharge. **Hydrology Journal**, 10(1): 91-109.
- Lerner, D.N. (2002). Identifying and quantifying urban recharge: a review. **Hydrogeology Journal**, 10(1): 18-39.
- Keese, K.E., Scanlon, B.R., Reedy, R.C., 2005. Assessing controls on diffuse groundwater recharge using unsaturated flow modeling. **Water Resources Research**, v.41, W06010, pp.1-12.
- Moraes, E.C. (2007). **Fundamentos de Sensoriamento Remoto. In: Sensoriamento Remoto**. Curso Astronáutica e Ciências do Espaço da Agência Espacial Brasileira, AEB Escola, edição 2007, p.3-12.
- Nobre, R.C.M (2006). **Avaliação de risco para o uso e proteção de aquíferos. Estudo de caso: Região metropolitana de Maceió-AL**. Tese de Doutorado, Dpt. Eng. Civil, COPPE/UFRJ, 296p.

Nobre, R.C.M., Cosenza, C.A.N., Rotunno Filho, O.C., Mansur, W.J (2007). Modelo de hierarquia fuzzy para avaliação de sensibilidade natural de um aquífero costeiro. **Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos**. Vol 28, n.º3.

Nobre, R.C.M., Rotunno Filho, O.C., Mansur, W.J., Nobre, M.M.M., Cosenza, C.A.N. (2007). Groundwater Vulnerability and Risk Mapping Using GIS, Modeling and a Fuzzy Logic Tool. **Journal of Contaminant Hydrology**, 94: 227-292.

Novo, E.M.L.M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 1989, 308 p.

Richards, J.A. (1986). **Remote Sensing Digital Image Analysis**. Springer-Verlag, Berlin.

Scanlon, B.R., Hearly, R.W.; Cook, R.G.,2002. Chosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge, **Hydrogeology Journal**, V. 10, N. 1, pp 18-39.

SOUZA, J. L.; ANJOS, F.A.;FILHO, G.M. & MEIRA, P.R. (1998). **Características pluviométricas representativa do Tabuleiro costeiro de Alagoas** – Período 1972-1996. X Congresso Brasileiro de Meteorologia, Brasília, DF.

Vasconcelos, S. M. S., Avaliação da Recarga Subterrânea Através da variação do Nível Potenciométrico no Aquífero Dunas/Paleodunas, Forataleza, Ceará. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 2005.

Tyler SW, Chapman JB, Conrad SH, Hammermeister DP, Blout DO, Miller JJ, Sully MJ, Ginanni JM (1996) Soil-water flux in the southern Great Basin, United States: temporal and spatial variations over the last 120,000 years. **Water Resources Research**. 32(6):1481–1499.