

Taxa de recarga do aquífero em áreas de Latossolo Amarelo sem vegetação na Região Nordeste do Pará - Amazônia

Aquifer recharge rate in areas of Yellow Ferralsol without vegetation in the Northeast Region of Pará - Amazon

Luciana Cruz Bianco ⁽¹⁾, Wenceslau Gerales Teixeira ⁽²⁾, Rodrigo Sondermann Muniz ⁽³⁾, Alexandre Ortega Gonçalves ⁽²⁾, Antônio José de Abreu Pina ⁽⁴⁾

(1) Mestranda - PEAMB - Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ; (2) Pesquisador, Embrapa Solos, RJ; (3) Doutor Engenheiro Agrônomo, Prefeitura Municipal de São João do Meriti - RJ; (4) Gerente Agrícola - Marborges Agroindústria, Moju-PA.

RESUMO: A recarga dos aquíferos é um processo hidrológico, no qual a água infiltra no solo através da zona insaturada até a zona saturada ou aquífero. Os fluxos de água podem ser modificados por qualquer alteração, como é o caso da ocupação de terras na Amazônia por cultivos agrícolas. O estudo foi realizado perto da cidade de Moju, Belém (PA) e tem como objetivo realizar uma simulação com o HYDRUS-1D para estimar a recarga da água subterrânea através da zona não saturada. Com a simulação de um cenário sem vegetação com dados de precipitação de um período de 715 dias, foi possível observar as taxas de recarga do aquífero. Os resultados permitiram observar as propriedades do perfil de solo, e a umidade do solo devido a dinâmica do fluxo de água e precipitação. A precipitação e recarga dos aquíferos mais elevados estão entre os meses de novembro a maio. Os fluxos de recarga variaram entre 30 e 46 mm/dia nos dias mais intensos de precipitação, enquanto na média anual não passam de 10 mm/dia.

Palavras-chave: Hydrus; Água Subterrânea; ciclo hidrológico.

ABSTRACT: The groundwater recharge is a hydrological process, where the water infiltrates through the unsaturated zone to the saturated zone. The water flows can be modified by any change, as is the case of land occupation in the Amazon by agricultural crops. The study was carried out near the city of Moju, Belém (PA) and aims to perform a simulation with the HYDRUS-1D to estimate the groundwater recharge through the unsaturated zone. The simulation in a without vegetation scenery, with precipitation data of 715 days, it was possible to observe the soil profile recharge rates.

The results allowed us to observe the properties of the soil profile, and the soil moisture content due to the dynamics of water flow and precipitation. The recharge flows range from 30 mm/day to 46 mm/day on the most intense days in the annual average, they do not exceed 10 mm/dia.

Keywords: Hydrus; groundwater; hydrologic cycle.

INTRODUÇÃO

A retirada da vegetação nativa e a implantação de cultivos anuais, por exemplo, modificam a dinâmica de uso e manejo do solo, alterando sua estrutura e os fluxos hidráulicos.

Observa-se cada vez mais que a ocupação de terras na Amazônia vem aumentando nas últimas décadas, com a substituição da floresta primária por cultivos agrícolas, alterando as propriedades do solo (SENNA et al., 2014).

A recarga dos aquíferos por meios naturais recebe a água precipitada que infiltra no solo em direção ao aquífero. A infiltração e a percolação no interior do solo são comandadas pelas tensões capilares e pela gravidade. No solo, parte da água proveniente da infiltração é absorvida pelas raízes e será utilizada no metabolismo da planta, sendo que um percentual retornará à atmosfera pela transpiração, uma parte é evaporada tanto do solo ou quando a água é interceptada pelas folhas, e o restante percola para o lençol freático (Filho, 2008). Nas áreas sem vegetação o processo de retorno da água para a atmosfera é somente através da evaporação da água do solo.

O uso das águas subterrâneas nas últimas décadas vem crescendo por diversos fatores como avanço das técnicas de perfuração de poços; redução dos custos de extração; menor susceptibilidade climática; melhor qualidade das águas subterrâneas; o aumento da demanda de recursos hídricos; e a degradação das águas superficiais (REBOUÇAS, 2006).

Os aquíferos freáticos rasos estão fortemente ligados à dinâmica da atmosfera, as variações de temperatura e precipitação, e podem levar a evaporação, absorção de água pelas raízes das plantas e, portanto, a diferentes taxas de recarga da água subterrânea (Raidla et al., 2016).

Com o objetivo de estimar a recarga da água subterrânea e sua passagem pela zona insaturada, o presente estudo utilizará modelos numéricos para estimar o fluxo da recarga das águas subterrâneas. O

HYDRUS-1D é um modelo matemático baseado na equação de Richards para as estimativas no tempo e no espaço da umidade e potencial da água no solo, possibilitando as estimativas dos fluxos de recarga e estimativas do transporte de solutos (Gonçalves et al., 2007; Šimůnek et al., 2009).

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado próximo a cidade de Moju, que fica a 264 km de distância ao sudoeste de Belém (PA). O grupo Marborges S.A. possui áreas com plantio de dendezais, áreas com vegetação natural e áreas sem vegetação em processo de renovação de plantios. Este estudo foi feito simulando os fluxos em áreas sem vegetação.

A presença da cobertura vegetal torna-se importante para manter as taxas de elevada infiltração encontradas nestes solos.

O clima em Mojú (PA) é tropical úmido ou superúmido, sem estação seca, sendo a temperatura média do mês mais quente superior a 18 °C, e o total das chuvas do mês mais seco é superior a 60 mm, com precipitações maiores de março a agosto (Andrade, 2017).

O solo da área é caracterizado como um Latossolo Amarelo distrófico, de textura média e relevo plano (Muniz, 2017). Os Latossolos Amarelos da região nordeste do Pará, Amazônia, são profundos ou muito profundos, bem drenados, ácidos a muito ácidos com textura argilosa, muito argilosa ou média. Esses Latossolos apresentam teores medianos de óxidos de ferro e teor de alumínio trocável frequentemente alto (Muniz, 2017).

Em estudo anterior foi feita a parametrização do modelo HYDRUS-1D, utilizando modelagem inversa com dados de uma série histórica de potencial matricial (leitura realizada com tensiômetros) avaliados diariamente por um período de 373 dias (Muniz, 2017).

Muniz (2017) disponibiliza em seu estudo os parâmetros do modelo de van Genuchten-Mualem (van Genuchten, 1980) para o Latossolo Amarelo, textura média, predominante na região, sendo esta a mesma área do presente estudo. No estudo de Muniz (2017) os parâmetros meteorológicos de entrada foram a precipitação e evapotranspiração diária de um período de 373 dias (período de 01/08/2009 a 08/08/2010). Para as condições de fronteira inferiores, considerou-se a condição de drenagem livre.

Na Tabela 1 apresentam-se os parâmetros hidráulicos (θ_r , θ_s , α , n , K_s , λ) do modelo unimodal de van Genuchten-Mualem (van Genuchten, 1980) obtidos por simulação inversa desenvolvida por Muniz (2017).

Tabela 1. Coeficientes da equação unimodal de van Genuchten-Mualem para o Latossolo Amarelo, textura

média - Mojú - Pará (Muniz,2017).

Parâmetros hidráulicos	Horizonte 01	Horizonte 02	Horizonte 03
θ_r (cm ³ cm ⁻³)	3,48E-05	3,767E-02	5,62E-04
θ_s (cm ³ cm ⁻³)	6,37E-01	3,75E-01	7,39E-01
α (cm ⁻¹)	9,189E-02	2,42E-02	3,02E-02
n	1,27E+00	1,54E+00	1,41E+00
K_s (cm dia ⁻¹)	9,75E+01	9,30E+01	1,07E+02
λ ou L	0,5	0,5	0,5

θ_r : Umidade volumétrica residual do solo; θ_s : umidade volumétrica na saturação do solo; K_s : condutividade hidráulica do solo saturado; α e n : parâmetros de ajuste da curva; L : - parâmetro de conectividade de poros normalmente adotado com o valor de 0,5 (Mualem, 1976).

Como condição de fronteira superior foram utilizados os parâmetros meteorológicos diários de precipitação e evaporação do período de 715 dias (período de 01/08/2009 a 16/07/2011).

No cálculo para evaporação potencial foram utilizados dados de radiação solar, velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar obtida de uma estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2021), localizada na cidade de Tomé-Açu - Pará (Estação INMET A213). Para o cálculo de evaporação, utilizou-se a equação de Penman-Monteith (Allen et al., 1998) e os resultados foram adicionados no HYDRUS-1D. Os dados de precipitação foram obtidos de pluviômetros instalados no local do monitoramento por Muniz (2017). Na modelagem realizada, foi considerado um cenário sem vegetação ("terra nua - bare soil") para a modelagem numérica dos fluxos no período estudado. Os dados das estimativas da evaporação e das recargas do aquífero acumulada e diária foram os componentes do balanço hídrico da zona não-saturada do solo, e foi desenvolvida uma simulação dos fluxos subterrâneos e da recarga via processo inverso.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Propriedades Hidráulicas do perfil de solo

Na Figura 1 pode-se observar o teor de água no solo e sua variação ao longo do tempo. O gráfico mostra que nos primeiros 20 cm, temos uma grande variação do teor de água no solo ao longo do perfil, isso ocorre pelas variações atmosféricas, como evaporação, tratando-se de um solo sem cobertura vegetal. Em seguida a água passa por uma camada de solo (20-40 cm) onde o volume de água (θ) é menor indicando menor retenção na matriz dessa camada de solo, seguindo para a camada de 40-100 cm o teor de

água (θ) aumenta mostrando que as partículas de solo retêm mais água nessa camada.

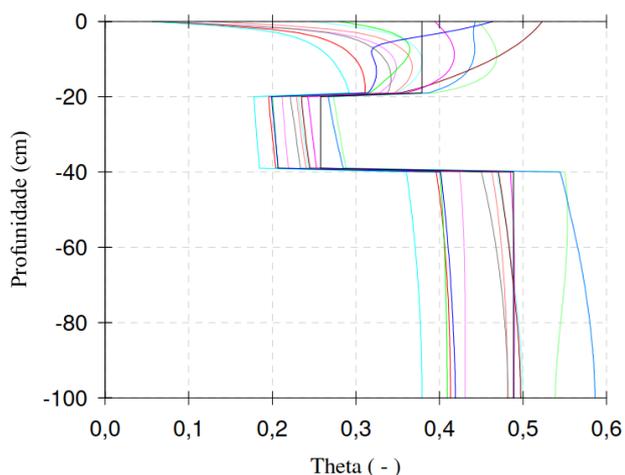


Figura 1. Variação do volume de água (θ) em profundidade do solo para o período de 01/08/2009 a 16/07/2011 para a cidade de Mojú - Pará.

Precipitação, Evaporação e Recarga da Água Subterrânea

Os dados da área de estudo em Mojú, PA, apresentam valores do total de precipitação de 6224 mm em 715 dias. No período de 01/08/2009 a 01/08/2010 (365 dias), foram registrados 3338 mm, e 2886 mm no período de 01/08/2010 a 16/07/2011 (350 dias). A evaporação acumulada no período foi de 2086 mm, mostrando que 33,5% da precipitação retornou à atmosfera, como apresentado na Figura 2.

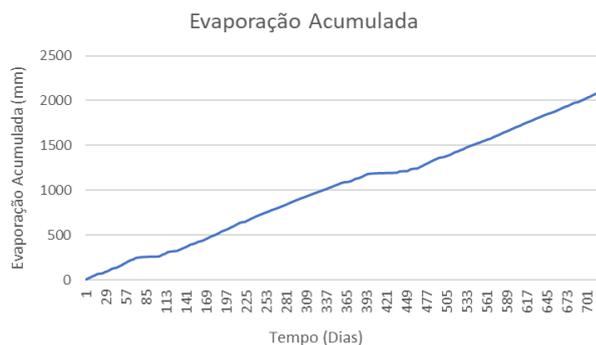


Figura 2. Evaporação acumulada para o período de 01/08/2009 a 16/07/2011 para a cidade de Mojú - Pará

Kunert et al. (2017) realizaram estudo na Amazônia Central, onde ocorreu 2303 mm de precipitação anual (100%), sendo 1360 mm (59%) foram devolvidos à atmosfera por evaporação e transpiração.

No cenário estudado de uma área sem vegetação, a ausência da taxa de transpiração pode ser notada ao verificar o valor de evaporação de 33,5%, comparada com 59% de evaporação e transpiração encontrada na Amazônia Central (Kunert et al., 2017).

A recarga do aquífero no período de 715 dias foi de 4195 mm (Figura 3). A precipitação total do

mesmo período foi de 6224 mm, quase totalizando dois anos, com uma média próxima de 3100 mm. Os municípios de Bujaru e Barcarena, próximos a área de estudo localizada em Mojú, apresentaram precipitação acumulada média anual de 4.186 mm e 3.307 mm respectivamente (Santos, 2017).

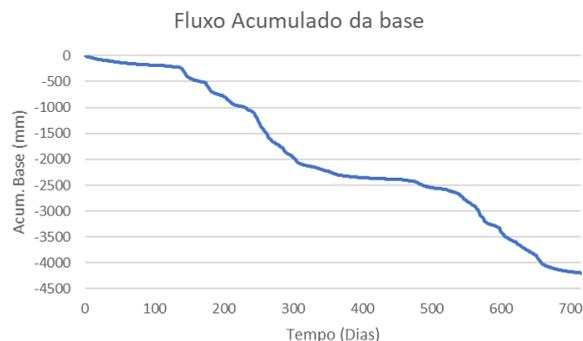


Figura 3. Simulação da recarga do aquífero em áreas de Latossolo Amarelo, em Mojú - PA.

Na sequência, apresentam-se os resultados diários da recarga de aquífero, precipitação e evaporação.

As taxas de precipitação mais intensas foram nos dias 143, 176, 241, 248, 252, 285, 451, 567 e 573 com valores variando entre 84 a 130 mm por dia (Figura 4). Seguindo as taxas de precipitação, os dias mais intensos de recarga do aquífero ocorrem nos dias 144, 177, 249, 253, 286, 568 e 574, subsequentes às taxas intensas de precipitação (Figura 5). Os dias citados estão nos meses de novembro a maio, que apresentaram maior intensidade de chuvas.

Na evaporação potencial (Figura 6) podemos observar que nos dias após as altas taxas de precipitação, as taxas de evaporação se mantêm altas entre os dias 144-149, com taxas de 4,2 a 4,7 mm/dia, nos dias 241-250, taxas de 2,6 a 3,9 mm/dia e nos dias 567-573, temos taxas de 3,6 a 4,2 mm/dia.

A recarga dos aquíferos sofre variações de acordo com as diferentes taxas de precipitação e evaporação durante o ano, como consequência temos períodos com maiores volumes de água infiltrada que eventualmente alcançaram a zona saturada do perfil de solo. Os fluxos de recarga variaram entre 30 e 46 mm/dia nos períodos de maior precipitação, enquanto boa parte do ano não ultrapassa 10 mm/dia.

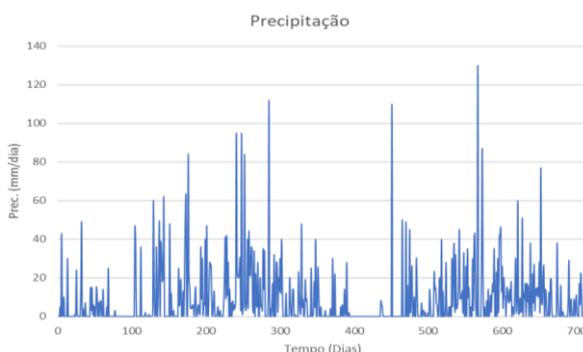


Figura 4. Precipitação diária para o período de 01/08/2009 a

16/07/2011 para a cidade de Mojú - Pará.

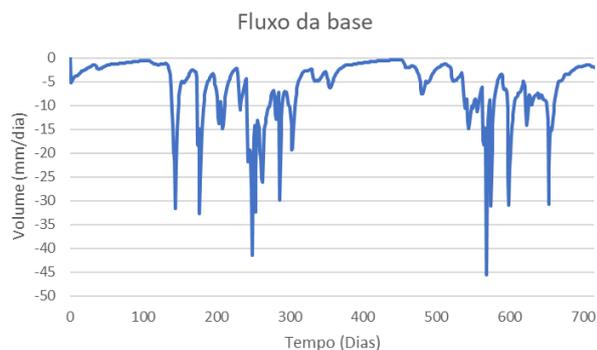


Figura 5. Recarga do aquífero simulada em Latossolo Amarelo, sem vegetação em Mojú - PA.

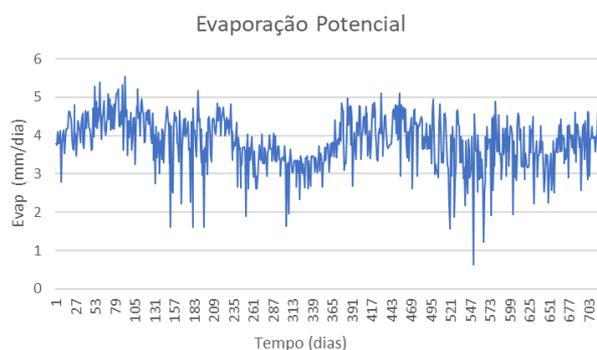


Figura 6. Evaporação Potencial do período de 01/08/2009 a 16/07/2011 para a cidade de Mojú - Pará.

CONCLUSÕES

No período do estudo, a recarga do aquífero foi estimada em 4195 mm. Tendo uma variação entre 30 mm/dia e 46 mm/dia.

A recarga apresentou valores elevados, pois o cenário considerado era sem vegetação, apenas com perdas de água por evaporação. Em áreas vegetadas naturais e plantadas se espera um menor fluxo para os aquíferos.

No futuro, este trabalho se expandirá para uma simulação de recarga de aquífero com cenário de plantação de palma de óleo, estimando também a evapotranspiração e os fluxos de íons de ferro em áreas sem vegetação e áreas com palma de óleo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos pelo apoio na coleta e análise dos dados, à equipe da Marborges, à disponibilidade dos estudos desenvolvidos pelo Dr. Rodrigo Sondermann Muniz e a equipe da Embrapa Solos.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. Rome, Italy, 1998.

ANDRADE, V.M.S., CORDEIRO, I.M.C.C., SCHWARTZ, G., RANGEL VASCONCELOS, L.G.T., OLIVEIRA, F.A. Considerações sobre clima e aspectos edafoclimáticos da mesorregião nordeste paraense. In: CORDEIRO, I.M.C.C., RANGEL VASCONCELOS, L.G.T., SCHWARTZ, G., OLIVEIRA, F.A. (Org.), Nordeste paraense: panorama geral e uso sustentável das florestas secundárias. 1. ed. Edufra, Belém, pp. 59-96. 2017.

FILHO, J. M. Ocorrência das Águas Subterrâneas In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. 3. ed., rev. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM; LABHIIH, 2008. 812 p. 2008.

GONÇALVES, M. C. RAMOS, T. B., SIMÚNEK, J., NEVES, M. J., MARTINS, J. C., PIRES, F. P., LEITÃO, P. Modelação da dinâmica da água e dos sais num Aluviosolo regado com águas de diferente qualidade: ensaio de validação do modelo HYDRUS-1D com observações em monólitos. Revista de Ciências Agrárias, 2017. v.30, n.2.

INMET. «Banco de dados meteorológicos». Consultado em 13 de fevereiro de 2022.

KUNERT, N., APARECIDO, L. M. T., WOLFF, S., HIGUCHI, N., DOS SANTOS, J., DE ARAUJO, A. C., TRUMBORE, S. A revised hydrological model for the Central Amazon: The importance of emergent canopy trees in the forest water budget. Agricultural and Forest Meteorology, 2017. v. 239, pp. 47-57.

MACHADO, A. L. S.; PACHECO, J. B. Serviços Eossistêmicos e o Ciclo Hidrológico da Bacia Hidrográfica Amazônica. Geonorte, 2010. v. 1, p. 71-89, 2010.

MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. Water Resource Research. 1976. v.12 (3), pp. 513-522.

MUNIZ, R.S. Alterações do Fluxo Hídrico e seus Efeitos na Dinâmica do Ferro e na Estrutura de um Latossolo Amarelo na Amazônia. Tese de Doutorado em Engenharia Civil. Rio de Janeiro: COPPE-UFRJ. 2017. 142 p.

RAIDLA, V., KERN, Z., PÄRN, J., BABRE, A., ERG, K., IVASK, J., KALVĀNS, A., KOHĀN, B., LELGUS, M., MARTMA, T., MOKRIK, R., POPOVS, K., & VAIKMĀE, R. A $\delta^{18}\text{O}$ isoscape for the shallow groundwater in the Baltic Artesian Basin. Journal of Hydrology, v. 542, 254-267, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.09.004>

REBOUÇAS, A. C. Águas Subterrâneas. In: REBOUÇAS, A. C; BRAGA, B; TUNDISI, J.G. (Orgs). Águas doces no Brasil: Capital ecológico, uso

e conservação. 3. ed. São Paulo: Escrituras editora, 2006.

SANTOS, H.G., JACOMINE, P.K.T., ANJOS, L.H.C., OLIVEIRA, V.A., LUMBRERAS, J.F., COELHO, M.R., ALMEIDA, J.A., CUNHA, T.J.F., OLIVEIRA, J.B. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3ª ed. revisada e ampliada. Brasília, DF: Embrapa, 353p. 2013.

SANTOS, M. R. S. A precipitação climática na mesorregião metropolitana de Belém e suas implicações socioambientais. Pós-Graduação em Ciências Ambientais. Dissertação. UFPA 152 pág. 2017.

SENNA, M.C.A., COSTA, M.H., DAVIDSON, E.A., NOBRE, C.A. Modeling the impact of net primary production dynamics on post-disturbance Amazon savannization. Anais da Academia Brasileira de Ciências (Impresso), v. 86, pp. 621-632. 2014.

ŠIMŮNEK, J.; ŠEJNA, M.; SAITO, M. H.; SAKAI, M.; VAN GENUCHTEN, M. T. The HYDRUS-1D Software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated Media. Version 4.08. Riverside, USA: University of California, Department of Environmental Sciences, 2009. 332p.

van GENUCHTEN, M.TH. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Society of America Journal, v.44, pp. 892 - 898. 1980.