

ESCOAMENTO SUPERFICIAL E RECARGA D'ÁGUA SUBTERRÂNEA EM DIFERENTES USOS DO SOLO NA MICROBACIA DO CÓRREGO DO QUEIXADA

Fabio Carvalho
Instituto Federal de Goiás
carvalhofabiogeo@gmail.com

Iraci Scopel
Universidade Federal de Goiás
iraciscopel@gmail.com

RESUMO

O diagnóstico do escoamento superficial e da recarga d'água subterrânea justifica-se pela necessidade de conhecimento da influência destes processos em microbacias hidrográficas, pois, o uso e ocupação da terra adequados são responsáveis pela manutenção da qualidade das vertentes. Este trabalho foi um estudo piloto que obteve dados dos componentes do sistema hidrológico da microbacia do córrego do Queixada (MHQ). A MHQ foi mapeada em seus aspectos de uso e ocupação do solo através de imagens de satélites dos anos de 2007/2008 (Google Earth) e por meio de uma fotografia aérea vertical pancromática do ano de 1965. Foram instalados pluviômetros em pontos pré-definidos na MHQ para a coleta de dados de precipitação pluvial. Os dados para os cálculos de evapotranspiração foram obtidos na Estação Meteorológica de Jataí do Instituto Nacional de Meteorologia. Evidenciou-se um maior escoamento superficial em áreas mais impermeabilizadas, onde ocorreram menores taxas relativas de recarga d'água subterrânea; A microbacia perdeu 73.963.427 m³ da capacidade armazenamento de água no uso da terra de 1965 em relação ao uso e ocupação da terra apresentado em 2007/2008; A preservação da Mata do Queixada deve ser mantida, a expansão urbana restrita e áreas rurais devem obedecer às determinações da legislação ambiental.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica; uso e ocupação da terra; fluxo hídrico.

RUNOFF AND WATER GROUNDWATER RECHARGE IN DIFFERENT LAND USES IN THE WATERSHED QUEIXADA

ABSTRACT

The diagnosis of surface runoff and groundwater recharge is justified by the need to know the influence of these processes in hydrographic basins, since the proper use and occupation of the land is responsible for maintaining the quality of the slopes. This work was a pilot study that obtained data of the components of the hydrological system of the watershed Queixada (MHQ). The MHQ was mapped in its aspects of land use and occupation through satellite imagery from the years 2007/2008 (Google Earth) and through a panchromatic vertical aerial photograph of the year 1965. Rain gauges were installed at pre-defined points in the MHQ for the collection of rainfall data. The data required for the from the Jataí Meteorological Station of the Instituto Nacional de Meteorologia. Greater surface runoff was observed in more impermeable areas, which was the city where occurred the lowest rates for recharging underground water, where there were lower relative rates of groundwater recharge. Results show that the microbasin lost 73,963,427 m³ of the water storage capacity in the 1965 land use in relation to the land use and occupation presented in 2007/2008. The preservation of the Forest Queixada must be maintained, the restricted urban expansion and rural areas must obey the determinations of the environmental legislation.

Keywords: Watershed; Use and occupation of land; Water flow.

INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas são referências em estudos geográficos e são comumente utilizadas em estratégias para planejamento territorial dos Estados, levando em consideração os seus limites, os aspectos físicos e de uso e ocupação do solo. Alterações no sistema geomorfológico das bacias hidrográficas geram consequências trágicas que podem ser sentidas em outros sistemas geomorfológicos, como o hídrico, afetando todo o funcionamento natural da bacia. As configurações naturais, os seus limites e os aspectos de uso e ocupação do solo das bacias hidrográficas são utilizados como parâmetros para o planejamento territorial dos Estados. Desse modo, as bacias hidrográficas são objetos de estudo dentro das pesquisas geomorfológicas e de inúmeras outras áreas (GUERRA, 2009).

O conhecimento dos elementos físicos presentes em bacias hidrográficas justifica por ser os mesmos a porção terrestre onde desenvolvem as atividades antrópicas. Práticas de planejamento ambiental, urbano e até regionais são necessárias para que as tomadas de decisões na utilização dos recursos naturais presentes nas bacias hidrográficas sejam melhor utilizadas (LANNA, 2001). Os diversos usos e a ocupação do solo em uma bacia hidrográfica alteram as configurações naturais do sistema hidrológico, com alterações no ciclo da água, acarretando problemas de inundações, erosões, deslizamentos e tragédias para a população, afetando todo o ecossistema (GUERRA, 2009).

O Estado de Goiás está todo inserido no bioma Cerrado, sendo encontradas diversas fitofisionomias neste bioma, hoje quase que por completo substituído por áreas urbanizadas, áreas de pastagens, de lavoura, dentre outros.

A região do Cerrado abriga nascentes de importantes bacias hidrográficas brasileiras. A localização dessas nascentes está atrelada entre outros fatores à existência de províncias hidrogeológicas e à vegetação. A água neste bioma encontra na vegetação um suporte para a infiltração e armazenamento em aquíferos, que alimentam os cursos d'água (GOIÁS, 2006).

Com o processo de desmatamento das vertentes ocorrem alterações no fluxo d'água na bacia, onde se induzirá o processo de escoamento superficial, dificultando a recarga d'água subterrânea. O grande avanço das áreas urbanas representa ameaças ao funcionamento do ciclo hidrológico, uma vez que nestas áreas a impermeabilização é quase que total, impossibilitando a recarga dos aquíferos e trazendo problemas como enxurradas, enchentes e causando a destruição do leito dos rios com o assoreamento. As áreas de vegetação de Cerrado nativas reduziram-se a uma pequena parte do original, encontradas principalmente em unidades de conservação da natureza.

O planejamento técnico-científico para o melhor uso do solo para as bacias hidrográficas preservará o ciclo da água em áreas de Cerrado, promovendo a manutenção de outros recursos naturais, como os solos e a água. A vegetação de regiões de nascentes, de encostas de morros e de vegetação ciliar devem ser preservadas ou restauradas. O uso para a agropecuária, indústrias e outras devem obedecer a lógica de planejamento ambiental, observando aspectos como declividade, tipo de solo, proximidade do lençol d'água, e respeitando a legislação ambiental sobre a emissão de efluentes.

Objetivou-se fazer o mapeamento do uso e ocupação do solo na Microbacia do Córrego do Queixada (MHQ) dos anos de 1965 e 2007, para determinação das recargas d'água subterrânea e escoamento superficial, bem como a identificação dos impactos provenientes de ações antrópicas na MHQ para proposição de medidas para qualidade e quantidade do fluxo hídrico na MHQ.

MATERIAL E MÉTODOS

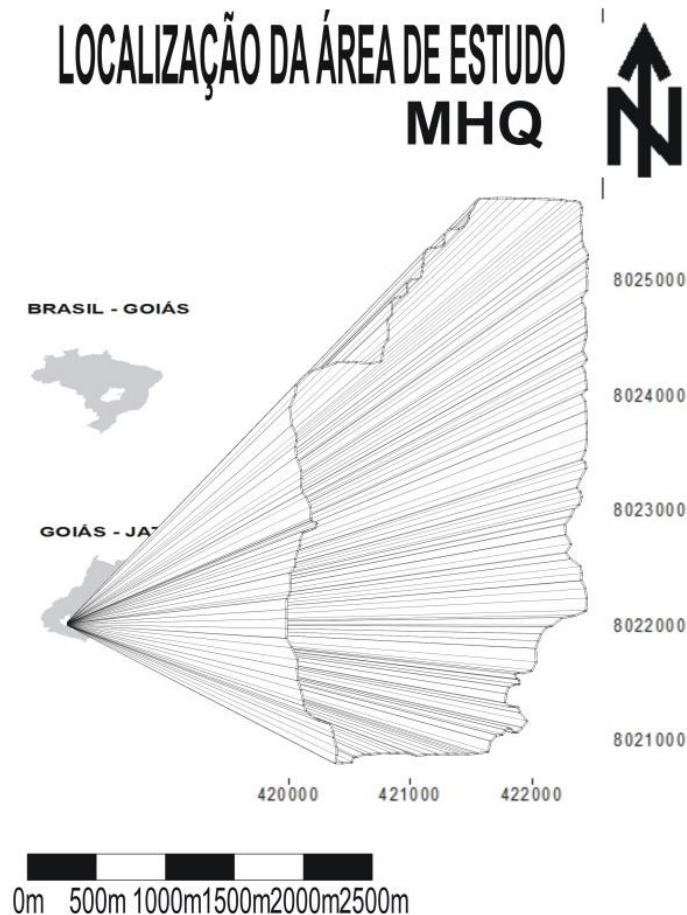
Localização e descrição geral da área de estudo

A Microbacia Hidrográfica do Córrego do Queixada (MHQ) faz parte da Bacia do rio do Claro, o qual é um dos afluentes do rio Paranaíba. A MHQ localiza-se próxima à área urbana de Jataí, município do Sudoeste de Goiás, à aproximadamente 5 km ao oeste do centro da cidade, estando mapeada na carta identificada pela quadrícula UTM-22, quadrante formado pelas 51° 45' 48" W, 17° 50' 01" S e 51° 43' 33" W, 17° 53' 49" S.

O clima desta região é classificado por Köppen como Tropical de Savana (Aw), com a presença de chuvas no verão e seca no inverno. A altitude mínima e máxima da área está entre 619 metros em sua foz e 868 metros em seu divisor de águas ao norte. A MHQ, geologicamente, pertence à Formação Serra Geral (Jksg), Grupo São Bento, caracterizada por derrames basálticos. A descrição

geomorfológica indica que a microbacia está inserida no Planalto Setentrional da Bacia do Paraná (RADAMBRASIL, 1983) (Figura 1).

Figura 1: Localização da Microbacia Hidrográfica do Córrego do Queixada



FONTE: Google Earth, 2012; SIEG, 2012.

O solo predominante na MHQ é o Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf), com horizonte A moderado e textura muito argilosa, conseqüentemente, refletindo na atuação dos fatores de formação do solo e dos processos pedológicos de intemperização (IBGE, 2015). Os solos da região de Cerrado são geralmente ácidos e pobres em nutrientes, como o cálcio, o magnésio, o fósforo, o enxofre e o zinco, porém, com abundância de alumínio, normalmente tóxico à maioria das culturas. Segundo Conti e Furlan (2003), a heterogeneidade das formações de Cerrados reflete nas propriedades dos solos. E de acordo com as diferentes condições geológicas, geomorfológicas e climáticas, os solos variam em textura, estrutura, perfil e profundidade.

A hidrogeologia pertence ao Sistema do Aquífero Guarani (SAG), representado pelos arenitos eólicos da Formação Botucatu e regionalmente configurado por aquíferos livres ou confinados, a camada confinante é representada pelos basaltos da Formação Serra Geral (GOIÁS, 2006.). O SAG ainda possui porosidades, provenientes da ação tectônica nas rochas da Formação Botucatu, formando fissuras e pelas características dos solos. A MHQ está sobre as formações do Sistema Aquífero Serra Geral - SASG (basalto) que por sua vez encontra-se sobre o Sistema Aquífero Guarani SAG (arenito) que se localiza sobre o Sistema Aquífero Aquidauna - SAAQ.

Descrição da Pesquisa

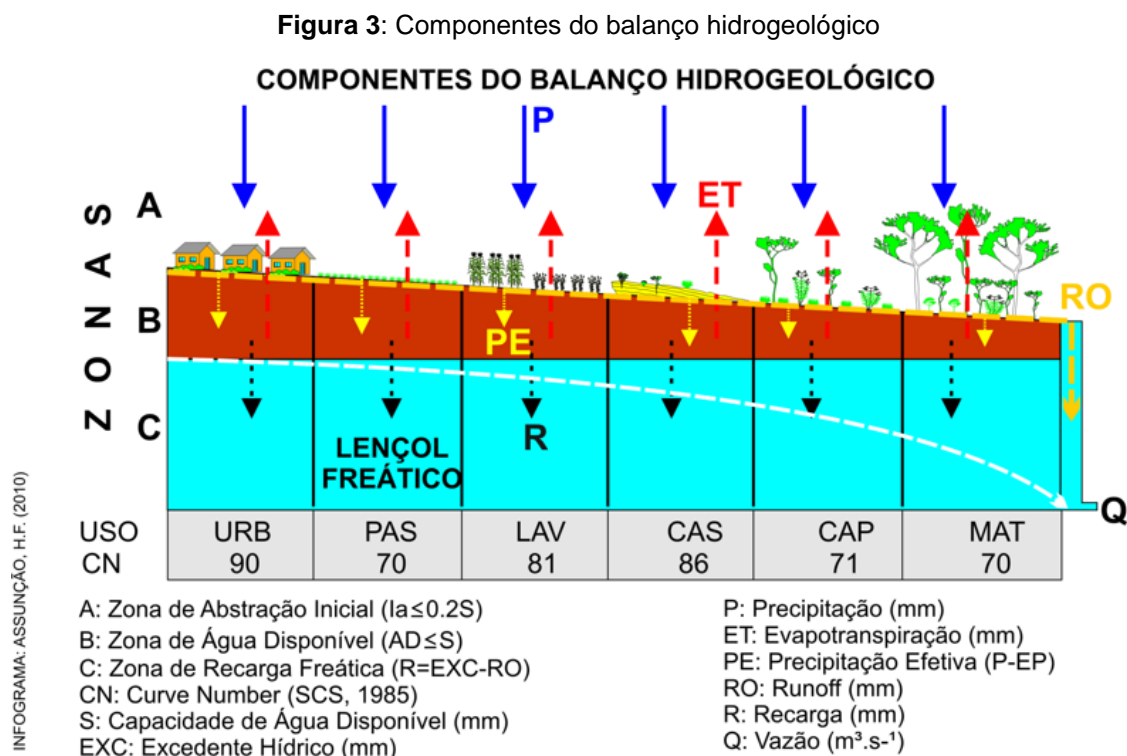
Os dados da precipitação total (P) foram obtidos a partir da instalação de pluviômetros totalizadores confeccionados com tubos de PVC (Figura 2). As coletas dos dados de precipitação foram realizadas de outubro de 2009 a março de 2011, cujas coordenadas geográficas e altitude de cada local encontra-se na Tabela 1.

Figura 2: Pluviômetro totalizador de cano de PVC**Tabela 1:** Localização dos pluviômetros totalizadores na microbacia do córrego do Queixada (Zona UTM-22)

Pluviômetros	Lat.	Long.	Alt. (m)
Centro Técnico Sucam	17° 51' 54" S	51° 43' 51" W	788
Riachuelo	17° 52' 55" S	51° 43' 39" W	766
Saneago	17° 20' 04" S	51° 52' 31" W	646
Pesque-Pague	17° 53' 02" S	51° 45' 02" W	675
Faz. Lucio	17° 53' 08" S	51° 45' 53" W	771
Mata ciliar*	17° 51' 55" S	51° 44' 29" W	733
Cerradão*	17° 51' 50" S	51° 44' 37" W	759
Cerrado*	17° 51' 43" S	51° 45' 00" W	780

* Estes pluviômetros totalizadores foram instalados em fitofisionomias do Cerrado (mata ciliar; cerradão; cerrado), localizando-se acima das copas das árvores através da instalação de um suporte para os recipientes acima do dossel que conectava-se ao solo através de uma mangueira, onde o volume de chuva era armazenado e coletado semanalmente, e são considerados no estudo.

Os dados dos pluviômetros totalizadores foram coletados diariamente. Os componentes do balanço hidrogeológico utilizados para esta pesquisa foram: precipitação total (P), evapotranspiração (ET), precipitação efetiva (PE), runoff (RO) – escoamento superficial, recarga (R) e vazão (Q) (Figura 3).



URB - urbano; PAS - pastagem; LAV - lavoura; CAS - cascalheira; CAP - capoeira; MAT – mata.

Fonte: Assunção (2011).

A Zona onde ocorre a AI (abstração inicial) corresponde à zona “A”, vegetações, edificações e demais usos presentes na microbacia. A zona “B” corresponde à água disponível e a precipitação efetiva (PE), que representa a água que alimenta as raízes das plantas e a recarga d'água subterrânea (R).

Na Figura 3 verificam-se os valores do curve number (CN) adotado para cada uso do solo para a determinação do escoamento superficial na MHQ. A recarga d'água subterrânea e o escoamento superficial foram determinados pelo método de Palmer (1965), que utiliza dados de precipitação (P), temperatura (T), evapotranspiração (ETP) e armazenamento de água no solo (S). Os dados de evapotranspiração foram calculados de acordo com Penman - Monteith (ALLEN et al., 1998; TUCCI e BELTRAME, 2009) a partir dos dados meteorológicos fornecidos pelo INMET (2010/2011). O volume de água armazenado pelo solo (S) foi obtido pela equação:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (1)$$

S = capacidade de armazenamento de água no solo;

CN = curve number (valor determinado conforme uso e ocupação do solo); (TUCCI, 2009).

A incógnita “S” corresponde ao armazenamento de água no solo e como mencionado o valor “CN” foi estabelecido de acordo com o uso e ocupação do solo (Figura 3). Através da fotografia aérea vertical pancromática que cobre a área da MHQ, escala nominal de 1:60.000 (USAF – Força Aérea dos

Estados Unidos) de 05 de maio de 1965 obteve-se acesso ao uso e ocupação do solo para que pudessem serem feitas analogias e inferências dos processos hidrológicos alterados na MHQ com base no uso do solo de 1965 e de 2007/2008. As análises dos dados do balanço hidrogeológico foram manipuladas por meio dos softwares Excel e Surfer. Os mapas de usos do solo de 2007/2008 foram confeccionados através de imagens do Google Earth.

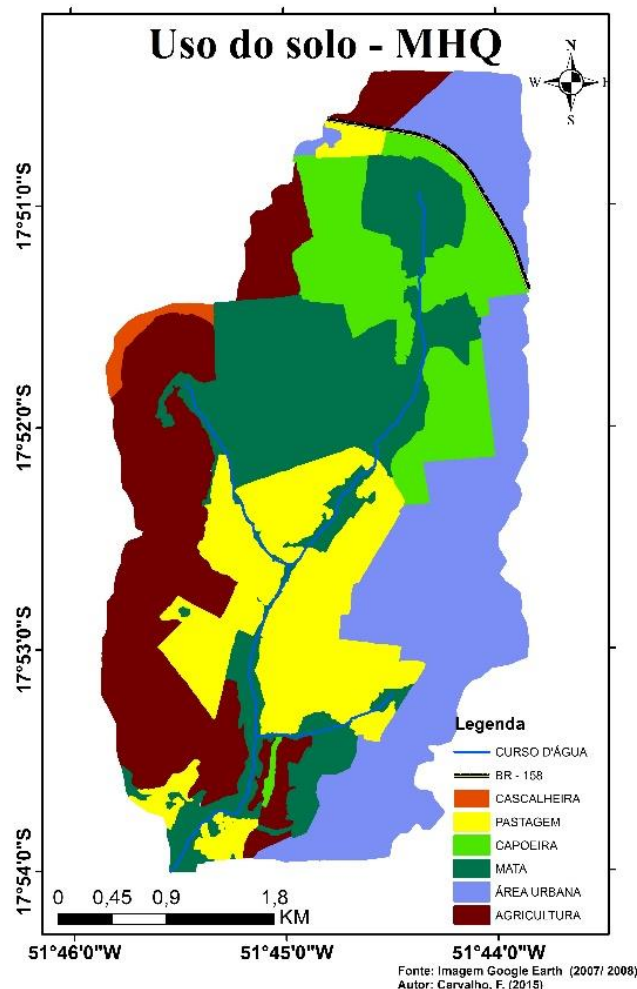
Os dados de precipitação pluvial utilizados para as simulações do escoamento superficial e recarga d'água do uso do solo de 1965 foram os mesmos obtidos de outubro de 2009 a março de 2011. Foram feitas inferências e analogias entre escoamento superficial e recarga d'água para o uso do solo de outubro de 1964, comparados com 2007/2008. Os resultados do escoamento superficial e recarga d'água subterrânea de 1965 e da atualidade distinguem-se em função do tipo do uso do solo nestes dois períodos distintos. Através dos resultados do diagnóstico do fluxo hidrológico e com base nas literaturas consultadas formularam-se propostas para o uso sustentável da MHQ.

As áreas de cada uso do solo e a precipitação média na MHQ serviram como parâmetro para a estimativa dos valores do escoamento superficial e recarga d'água subterrânea. Foram analisados, para cada uso do solo a partir da precipitação pluvial média coletada na microbacia, o deflúvio e a recarga d'água subterrânea.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A área total da microbacia é de 1.863,9 ha e os usos do solo mapeados no biênio 2007/2008 na microbacia hidrográfica do córrego do Queixada (MHQ) foram: área urbana, capoeira, mata, pastagem, cascalheira e agricultura (Figura 4).

Figura 4: Uso do solo da microbacia do córrego do Queixada - 2007/2008



A área de mata localiza-se predominantemente ao norte da MHQ, incluindo também as matas ciliares e uma outra importante área próxima a um afluente ao sul (córrego do Tatu) da MHQ, que somadas perfazem um montante de 516,5 ha, constituindo 27,7% do total da área.

O uso urbano, em constante expansão, apresenta-se como a segunda maior área da MHQ, com cerca de 470 ha (25,3%) e ocupa a porção oriental da microbacia. As áreas de lavoura representam quase que $\frac{1}{4}$ da área total, com 420 ha, localizando-se em quase toda área que se estende no sentido sudoeste-noroeste. Com quase 23% de área da microbacia, o uso lavoura traduz a economia da região que tem o agronegócio como uma das principais atividades (Figura 4).

Localizando-se no centro do mapa há áreas de pastagens com 245 ha, pouco mais que 13% (Figura 4). As áreas do uso capoeira localizam-se predominantemente ao norte da microbacia e margeiam as áreas de mata com 196,9 ha. Nestas áreas de capoeira encontram-se capim, evidenciando-se que outrora estas eram utilizadas como pastagens. No ano 1964 as áreas de capoeira eram utilizadas como pastagens e no biênio 2007/2008 foram consideradas áreas de vegetação em processo de regeneração (CARVALHO et al., 2011). Há uma área de cascalheira, com cerca de 13 ha (0,7%), com vestígios de atividades humanas na extração do recurso natural (Figura 5).

A média da precipitação pluviométrica para o período de 18 meses analisados, entre os pluviômetros coletados na MHQ foi de 2.859,6 mm. Considerando-se a média da precipitação na área da MHQ tem-se um volume de água que entra na área da bacia considerando todo o período de cerca $53,3 \times 10^6 \text{ m}^3$. Vale ressaltar que este volume de água que entra na microbacia na forma de precipitação pluviométrica (chuva) pode tomar vários destinos, podendo ser evapotranspirada para a atmosfera, provocar o escoamento sub e superficialmente ou infiltrar profundamente no solo (recarga d'água subterrânea). Os dados do deflúvio, recarga d'água subterrânea e área dos tipos de usos do solo na MHQ nos anos 2007/2008 constam na Tabela 2.

Tabela 2: Deflúvio, recarga d'água subterrânea e área dos tipos de usos do solo na MHQ (2007/2008)

USO	D (mm)	R (mm)	ÁREA (ha)
Urbano	1.166,7	648,5	471,4
Capoeira	409,0	1.041,9	196,9
Cascalheira	964,8	780,4	13,7
Lavoura	409,0	1.041,9	420,4
Mata	388,9	1.047,4	516,5
Pastagem	388,9	1.047,4	245,0
Total	3.727,3	5.607,5	1.863,9

D – deflúvio; R – Recarga d'água subterrânea.

As maiores recargas se deram nas áreas de mata, pastagem, capoeira e lavoura, atribuído a maior capacidade de infiltração se comparado à área urbana, que possui uma menor participação da recarga d'água subterrânea. A área urbana apresentou o maior escoamento superficial devido à impermeabilização do terreno, por possuir ruas asfaltadas e edificações, o que reduz as áreas onde ocorre o processo de infiltração.

Os volumes e os respectivos percentuais de precipitação total, do deflúvio e da recarga d'água subterrânea para todo período na MHQ são apresentados na Tabela 3.

A área de cada tipo de uso do solo considerado reflete no volume que cada uso recebe de água proveniente das chuvas. As suas características, como o grau de impermeabilização e declividade definem os percentuais de chuvas que serão escoados superficialmente e/ou recarregados na área da bacia hidrográfica. Observa-se que a área de 25,3% do uso urbano, representa 49,5% do total precipitado que foi transformado em escoamento superficial (deflúvio), correspondendo a apenas 17,4% do total da recarga d'água subterrânea da MHQ.

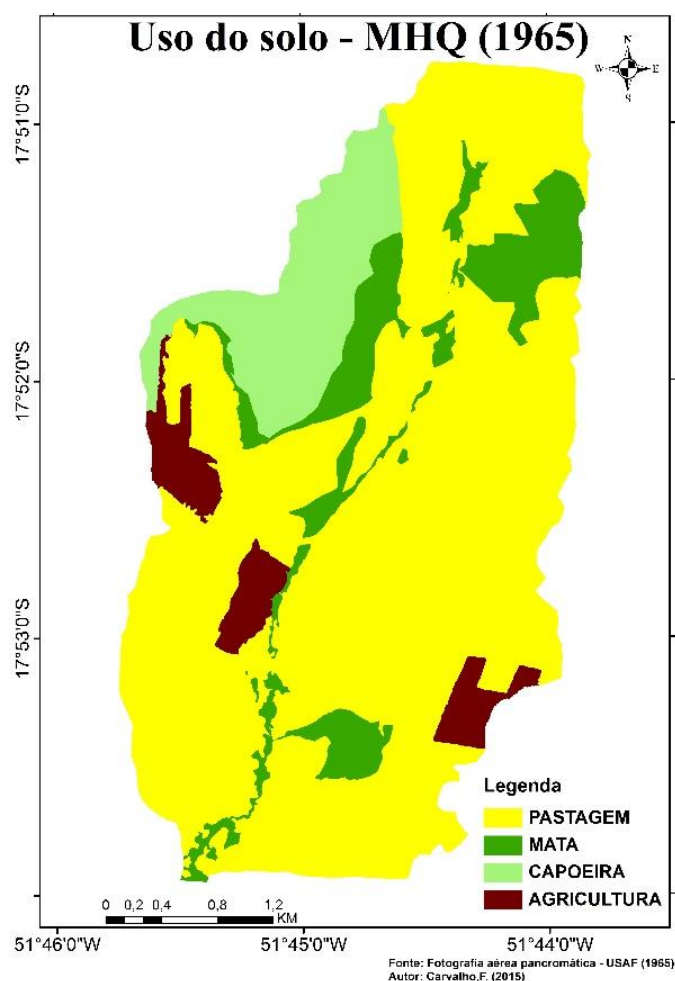
Tabela 3 - Contribuições em volume de água no período de novembro/2009 a março/2011 para as variáveis área, precipitação (P), deflúvio (D) e recarga d'água subterrânea (REC) nos usos considerados na microbacia do córrego do Queixada

USO	ÁREA (ha)	ÁREA (%)	P (m ³)	P (%)	D (m ³)	D (%)	REC (m ³)	REC (%)
URB	471,4	25,3	13.480.154	25,3	5.499.824	49,5	3.057.029	17,4
CAP	196,9	10,6	5.631.410	10,6	805.444	7,2	2.051.814	11,7
CASC	13,7	0,7	392.337	0,7	132.371	1,2	107.071	0,6
LAV	420,4	22,6	12.021.186	22,6	1.719.354	15,5	4.379.939	24,9
MAT	516,5	27,7	14.770.977	27,7	2.008.824	18,1	5.410.240	30,8
PAST	245,0	13,1	7.004.876	13,1	952.649	8,6	2.565.711	14,6
TOTAL	1.863,9	100	53.300.942	100	11.118.467	100	17.571.804	100

URB – urbano; CAP – Capoeira; CASC – Cascalheira; LAV – Lavoura; MAT – Mata; PAST – Pastagens; P – precipitação total; D – Deflúvio; REC – Recarga d'água subterrânea.

O escoamento superficial do uso mata (27,7% da área da MHQ) representa apenas 18% do total escoado superficialmente enquanto que o mesmo uso representa 30% da recarga d'água entre todos os usos na MHQ. A Figura 5 apresenta o uso do solo na MHQ para o ano 1965.

Figura 5: Uso do solo na microbacia do Queixada, ano 1965



Através da classificação do uso do solo verifica-se que 71,3% da área são constituídas por pastagens, evidenciando a economia principal da época, que era constituída de grandes áreas para a pecuária extensiva e a agricultura de subsistência (Figura 5).

O uso mata e vegetação ciliar, correspondem a 20,8% da área. As áreas agricultura e capoeira correspondem a uma pequena parcela do total. A área de capoeira era utilizada como pastagem para o gado dos fazendeiros da região nos anos 1960. Na Tabela 4 são apresentados os valores relativos e absolutos dos tipos de usos do solo para a MHQ no ano de 1965 e 2007/2008.

Tabela 4: Valores absolutos e relativos dos tipos de usos do solo na microbacia do Queixada no ano de 2007/2008 e 1965

Tipos de usos	Área 2007 (ha)	Área 2007 (%)	Área 1965 (ha)	Área 1965 (%)
Urbano	471,4	25,3	0	0
Capoeira	196,93	10,6	77,5	4,4
Mata	516,54	27,7	369,5	20,8
Pastagem	244,96	13,1	1.270,2	71,3
Cascalheira	13,72	0,7	0	0
Lavoura	420,38	22,6	63,5	3,6

Observa-se que em 1965 havia predomínio das áreas de pastagem, representando mais de 71% da área da MHQ e em 2007/2008 estes valores reduzem-se para pouco mais de 13%. Em 1965 não havia área urbana na MHQ e em 2007 há um percentual de 25,3% de área urbana que é crescente na atualidade (CARVALHO e SCOPEL, 2010). As áreas de lavoura aumentaram de 3,6% em 1965 para 22,6% em 2007/2008. Todas as alterações no uso do solo de 1965 até os anos 2007/2008 representam alterações significativas nos processos de escoamento superficial e recarga d'água subterrânea (Figura 4).

Um aspecto positivo foi o aumento da área de mata do ano de 1965 para 2007 (Figura 4), reflexo da preservação das nascentes da MHQ e reduto de flora e fauna do Cerrado. Na área de mata da MHQ encontra-se em fase de implantação do Parque Ecológico Epaminondas Cunha (CARVALHO e SCOPEL, 2010). Atualmente, os vereadores da cidade propuseram a administração municipal a implantação do parque com o intuito de preservação das nascentes do córrego do Queixada, pois, há o avanço da área urbana em direção as áreas de mata da microbacia (CÂMARA MUNICIPAL DE JATAÍ, 2014).

O predomínio das áreas de pastagens em 1965 reflete a atividade econômica da região até os anos 1980/1990, que paulatinamente passa para atividades agropecuárias altamente tecnificadas e agropecuária exportadora. Há um crescimento das áreas de mata do ano de 1965 para 2007 e na atualidade nas áreas de mata da Microbacia do Queixada.

Estas alterações do uso do solo de 1965 para 2007 levou a alterações dos processos de escoamento superficial e recarga d'água subterrânea. A partir das análises da capacidade de armazenamento de água pelos usos do solo de 1965 e 2007/2008, verifica-se que a MHQ perdeu em relação ao ano de 1965 uma capacidade de armazenamento (CAD) hídrico de 73.963.427 m³, sendo que a CAD em 1965 é de 249.587.728 m³ e na atualidade é de 175.624.355 m³ (Figura 4; Figura 5).

Esta redução na capacidade de armazenamento de água se deve as alterações do uso e ocupação do solo. Um dos principais aspectos negativos da mudança do uso do solo foi o aparecimento do uso urbano que induz ao escoamento superficial e reduz a recarga d'água subterrânea. A expansão da área urbana sobre a MHQ em 2007/2008 representava 25% do total da área da bacia e isto implica na impermeabilização do solo o que induz ao escoamento superficial o que poder-se-á provocar erosão e impedindo ou dificultando a recarga das águas subterrâneas. Também, a impermeabilização pode provocar inundações e enchentes, impactando todo o ecossistema.

Práticas de gestão devem ser implementadas como a recarga artificial dos aquíferos e descontaminação dos aquíferos. Técnicas podem ser implantadas para compensar a redução da recarga d'água subterrânea provada pelo processo de impermeabilização, a exemplo como ocorrem em áreas urbanas. Pesquisa desenvolvida avaliou uma importante região de recarga natural do aquífero do Grupo Paranoá (DF), verificando os impactos da implantação de um condomínio que ocuparia uma área total de 6,9 km². Do total da área do condomínio, 3,8 km² seriam impermeabilizados através da implantação de ruas, calçamentos e telhados. De acordo com a pesquisa a implantação do condomínio poderia acarretar uma redução na recarga dos aquíferos como verifica-se na MHQ (CADAMURO; GUIMARÃES, 2005).

De acordo com Cadamuro e Guimarães (2005), considerando o consumo médio de água na região, a demanda seria maior do que o volume de recarga em condições naturais, levando a sobreexplotação dos aquíferos na região. Para reduzir os impactos da impermeabilização da superfície com a implantação do condomínio foram testadas duas técnicas de recarga artificial dos aquíferos com a utilização da água da precipitação pluvial. A primeira técnica consistiu na captação da água das calhas das residências e sua condução para recarga em caixas de infiltração no solo. Posteriormente, aplicou-se a recarga d'água subterrânea através de poço tubular profundo. A utilização das caixas de infiltração apresenta alta eficiência e baixo custo, o que se implantado no condomínio aumentaria significativamente a recarga d'água dos aquíferos, podendo transformar-se em uma importante ferramenta para a gestão dos recursos hídricos do local.

Poços tubulares profundos requerem cuidados na utilização devido a qualidade da água a ser injetado no tubo, pois, é diretamente colocada em contato com as águas subterrâneas, aumentando significativamente o risco de contaminação se comparadas as caixas de infiltração que possuem o solo como filtro. A gestão dos recursos hídricos deve ser direcionada as águas superficiais e subterrâneas evitando problemas de abastecimento. Os dados de recarga d'água subterrânea e de escoamento superficial levam a propor medidas para a sustentabilidade da MHQ. Os altos índices de escoamento superficial verificado na área urbana requerem medidas para que se tenha um aumento do volume de água da recarga d'água subterrânea e dos aquíferos. Este alto índice de escoamento superficial em épocas de chuvas torrenciais ocasiona enchentes, inundações, erosão e assoreamento dos cursos d'água. As águas do escoamento superficial de áreas urbanas que se direcionam para os cursos d'água representam grandes problemas ambientais e destes problemas, destaca-se a elevada concentração de poluentes químicos, físicos e biológicos que estas águas contêm, podendo veicular doenças (GOIÁS, 2006).

Resíduos da agricultura podem contaminar os solos, como por exemplo, a concentração de sais no solo quando se aplica vinhaça ao longo dos anos, o que pode prejudicar animais e plantas. No entanto, as áreas de florestas naturais em bacias hidrográficas reduzem as perdas de nutrientes ocasionadas pelo escoamento superficial, pois, as plantas absorvem os nutrientes do solo, aumentam a capacidade de infiltração e reduzem a formação do escoamento superficial (SILVA et al., 2007). Portanto, na MHQ deve-se observar a legislação no que concerne a emissão de efluentes para todos os usos, incluindo as áreas de agropecuárias, pois, representam a maior área na MHQ, preservando a qualidade e a quantidade dos recursos hídricos.

As áreas urbanas representam problemas ambientais para as bacias hidrográficas em geral, pois, são frequentes o uso de fossas sépticas e sumidouros para a destinação dos efluentes domésticos, efluentes industriais e comerciais que representam outra parte da fonte dos impactos ambientais urbanos. O Plano Diretor da cidade de Jataí - GO do ano de 2007 define os parâmetros para o desenvolvimento urbano, orientando as atividades públicas e particulares através de políticas de planejamento urbano associando desenvolvimento econômico e social.

O Zoneamento Urbano da cidade de Jataí prevê a Zona de Interesse Ambiental, mas esta área vem sendo ameaçada por interesses econômicos e necessita da atuação do poder público de forma a gerenciar o seu uso e ocupação. A preservação das matas e da vegetação ciliar, o uso e ocupação adequados são importantes na manutenção da salubridade e da qualidade ambiental. É urgente a construção de redes de esgotos de conectem a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), para que os efluentes possam ser tratados antes de serem depositados na natureza. Os bairros que formam a área urbana da MHQ interferem no ciclo da água, quantidade e qualidade da microbacia, com elevado escoamento superficial e algumas de suas consequências como a intensificação dos processos erosivos e o assoreamento dos cursos d'água.

Atualmente, os novos bairros construídos próximos da Mata do Queixada ameaçam a criação do Parque Ecológico, pois, a distância entre área urbana e a borda da Mata do Queixada é cerca de

quinhetos metros, ameaçando a preservação e criação de uma unidade de conservação (parque ecológico). Estes bairros implantados na vertente leste da bacia do córrego do Queixada, além de interferir no ciclo, qualidade e quantidade da água na bacia, não possuem rede de esgoto interligada com a ETE de Jataí, sendo todo o esgoto doméstico destinado a fossas sépticas e sumidouros (CARVALHO e GÖRGEN, 2005). Este esgoto poderá contaminar as águas do lençol freático, o que acarretará má qualidade na água da microbacia.

Todos os bairros da MHQ são servidos por redes de esgoto conectadas a estações de tratamento de esgoto e as áreas comerciais e industriais estão em rigor com a legislação. Neste sentido, também, de acordo com a legislação, devem ser respeitados os limites das matas ciliares da MHQ adotando-se métodos de fiscalização e cumprimento da legislação ambiental (CARVALHO e SCOPEL, 2010).

Há necessidade de criação do Parque Ecológico Epaminondas Cunha sendo uma área de preservação permanente que será transformada em uma unidade de conservação, dando continuidade à expansão da Mata do Queixada por sobre a área da microbacia. A Ementa da Instituição do Parque Ecológico Epaminondas Cunha aprovada por “unanimidade em votação única” pela Câmara Municipal de Vereadores em março de 2009 qualifica a área de mata (**Figura 4**) como de “preservação ambiental” e o poder público do município a declara de “interesse ecológico”, com a finalidade de manutenção dos ecossistemas e recursos naturais que ainda testemunham, no entanto, ainda não foi criado oficialmente o parque ecológico.

A criação de reserva ecológica representa avanços nas mudanças de paradigmas sociais e representaria avanços no sentido de melhorar a salubridade da MHQ, estimulando o bem-estar da sociedade e fortalecimento da economia do ecoturismo. Essas ações de preservação das características naturais da MHQ podem ser iniciadas com programas de educação ambiental para os proprietários de terra e da comunidade em geral, através da associação do poder público com instituições de ensino e pesquisa científica.

O consumo da água subterrânea deve ser controlado e a utilização de agrotóxicos nas áreas agrícolas deve ser consciente em relação aos poluentes. É preciso mecanismo que não deixem que o fluxo de água proveniente da área urbana provoque erosões e inundações em áreas à jusante da microbacia. Necessita-se de estudos que avaliem a contaminação recebida pela microbacia provenientes das atividades antrópicas nas áreas rurais e urbanas.

O uso de defensivos agrícolas deve ser consciente e se possível evitado para a preservação da água, necessária a manutenção do ecossistema natural da MHQ. A BR-158 (Figura 4) representa um problema à recarga subterrânea de água e manutenção das nascentes de água, pois, o fluxo rodoviário gera compactação do solo sob a pista, dificultando a fluxo de água subterrânea de áreas ao norte da rodoviária para áreas ao sul da rodovia, levando-se em consideração que a MHQ possui aumento do gradiente altimétrico no sentido sul-norte (foz-nascentes), considerando que o divisor de águas norte da MHQ situa-se ao norte (acima) da BR-158.

Com o crescente processo de urbanização da MHQ (Figura 4), sua capacidade de armazenamento poder-se-á reduzir com o aumento dos processos de escoamento superficial e os consequentes aumentos dos processos de erosão, assoreamento, enchentes e inundações. Verifica-se que as maiores recargas d'água na MHQ deram-se nas áreas de mata e de pastagem, com 1.047,4 mm de chuva destinados ao abastecimento de água subterrânea. Em seguida, as maiores recargas foram detectadas em áreas de capoeira e de lavoura com 1.041,9 mm cada. As menores recargas d'água subterrânea na MHQ apresentaram-se nas áreas de cascalheira (780,4 mm) e, na área urbanizada (648,5 mm).

Os maiores deflúvios foram encontrados na área urbanizada com 1.166,7 mm e na área de cascalho, 964,8 mm. A área urbana foi onde apresentou o maior escoamento superficial devido à impermeabilização do terreno, por possuir ruas asfaltadas e demais edificações, o que reduz as áreas onde possa ocorrer o processo de infiltração de água, como em áreas de mata, lavoura ou pastagem. As menores taxas de deflúvio registraram-se nas áreas de mata e pastagem (388,9 mm cada uma) e onde, apresenta as maiores recargas d'água subterrânea, sendo este fato atribuído a maior capacidade de infiltração em áreas de mata se comparado à área urbana, que possui uma menor participação na recarga d'água subterrânea.

O avanço da área urbana na MHQ alterou o sistema hidrológico, provocando impactos consideráveis no escoamento superficial e recarga d'água subterrânea. Assim, em 2007/2008 houve um aumento percentual do escoamento superficial de 6,5 em relação aos usos classificados em 1965. Já em

relação à recarga d'água subterrânea houve uma redução menor, de 1,8%, uma vez que o aumento da área de mata compensou, em parte, a expansão da área urbana.

Da mesma forma como os processos de escoamento superficial e recarga d'água subterrânea são alterados, os processos, como a evapotranspiração, também são alterados. O elevado coeficiente de impermeabilização do solo urbano aumenta os picos de vazão no período chuvoso, com propensões a enchentes e inundações e, em épocas estiagem, a vazão média tende a reduzir-se. Por outro lado, verifica-se que o abastecimento das águas subterrâneas foi prejudicado se comparado os dados do ano de 1965 para o ano de 2007, comprometendo o funcionamento hidrológico.

A regeneração das áreas de mata na MHQ do ano de 1965 para 2007 proporcionará maior qualidade ambiental e regularização do fluxo hídrico da MHQ. Necessário, também, o controle das águas pluviais e dos efluentes oriundas do uso urbano, esta que se não bem drenada poderá provocar desequilíbrios ambientais, como erosões, inundações e assoreamento dos cursos d'água e contaminação, química, física e biológica. A preservação da Mata do Córrego do Queixada deve ser mantida com a criação de uma unidade de conservação da natureza, a qual poderia ser denominada "Parque Ecológico das Nascentes da Mata do Córrego do Queixada", com finalidades de preservação e educação ambiental.

O avanço da área urbana comprometerá os processos benéficos à natureza de escoamento superficial e recarga d'água subterrânea. O uso de agrotóxicos na MHQ deve ser precedido de estudos que visem minimizar os impactos ao ecossistema e as edificações presentes na MHQ devem ser avaliadas para o favorecimento da recarga d'água subterrânea e um adequado processo de escoamento superficial das águas. Este fato é de suma importância, pois as nascentes principais do córrego do Queixada encontram-se em áreas que estão ocorrendo avanço do uso urbano, lembrando que o Código Florestal brasileiro determina que estas áreas sejam de preservação permanente (APP's).

CONCLUSÕES

- Evidenciou-se um maior escoamento superficial em áreas mais impermeabilizadas, onde ocorreram menores taxas relativas de recarga d'água subterrânea;
- A microbacia perdeu 73.963.427 m³ da capacidade armazenamento de água no uso do solo de 1965 em relação ao uso e ocupação do solo apresentado em 2007/2008;
- A preservação da Mata do Queixada deve ser mantida, a expansão urbana restrita e áreas rurais devem obedecer às determinações da legislação ambiental.

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de doutorado ao longo da licença para a pós-graduação. Ao Instituto Federal de Goiás pelo apoio na realização desta pesquisa. A Universidade Federal de Uberlândia e ao Prof. Dr. Silvio Carlos Rodrigues pelas orientações na Pós-Graduação em Geografia. A todos que tenham contribuído para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. **FAO Irrigation and Drainage Paper**, 1998. Nº 56. 15 p.
- CADAMURO, A. L. M., & GUIMARÃES, C. J. E. (2005). Recarga artificial de aquíferos fraturados no Distrito Federal: uma ferramenta para a gestão dos recursos hídricos. **Revista Brasileira de Geociências**, 35, p.89–98. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.20053518998>
- CÂMARA MUNICIPAL DE JATAÍ. de. Mauro Filho propõe criação de parque ecológico. 2014. Disponível em: <<http://www.camarajatai.go.gov.br/portal/Vereadores/mauro-bento-filho/noticias-mauro-bento-filho/mauro-filho-propoe-criacao-de-parque-ecologico>>. Acesso em: 13 nov. 2017.

CARVALHO, F; GÖRGEN, L. **Os processos de tratamento de efluentes líquidos e análise da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Jataí - GO**. Jataí: Universidade Federal de Goiás – Campus Jataí (CAJ-UFG), 2005. Monografia de graduação.

CARVALHO, F; SCOPEL, I. Reflexões sobre a expansão urbana em Jataí - GO e a necessidade de criação do Parque Ecológico das Nascentes da Mata do Córrego do Queixada. In: XVI ENCONTRO NACIONAL DE GEÓGRAFOS. 16, 2010, ANAIS ..., Porto Alegre: UFRGS, 2010. p.1-12.

CARVALHO, F; SCOPEL, I; ASSUNÇÃO, H.F. da. **Fluxos hídricos na microbacia do córrego do Queixada no município de Jataí (GO)**. Jataí: Universidade Federal de Goiás – Campus Jataí (CAJ-UFG), 2011. Dissertação de Mestrado.

CONTI, J.B.; FURLAN, S.A. Geoecologia: O clima, os solos e a biota. In: Ross, J.L.S (Org.) **Geografia do Brasil**. 5. ed. rev. e ampl. São Paulo: Edusp, 2003. 549 p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Pedologia**. (3ed.). Rio de Janeiro, 2015. 430 p.

SILVA, M. S. da, GRIEBELER, N. P., BORGES, L. C. (2007). Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2007, 11(1), p.108–114. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000100014>

SISTEMA ESTADUAL DE GEOINFORMAÇÃO GOIÁS (ESTADO). **Hidrogeologia do Estado de Goiás**. Secretaria de Indústria e Comércio: Superintendência de Geologia e Mineração 2006. Disponível em: <<http://www.sieg.go.gov.br>>. Acesso em: 18 maio 2011.

GUERRA, A. J. T. Encostas e a questão ambiental. In: CUNHA, S. B. da; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **A questão ambiental: diferentes abordagens**. 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. 248 p.

LANNA, A. E. Gestão dos recursos hídricos. In: TUCCI, C. E. M; SILVEIRA, A. L. L. da. et al. (Orgs.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS: ABRH, 2009. 943 p.

PALMER, W. C. **Meteorological Drought**. U.S. Weather Bureau, Res. Pap. n. 45. 1965. 58 p.

PROJETO RADAMBRASIL. **Folha SE. 22 Goiânia**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. RADAMBRASIL. - (Levantamento de recursos naturais; v. 31) Rio de Janeiro: RADAMBRASIL, 1983. 764 p.

TUCCI, C. E. M. Escoamento superficial. In: TUCCI, C.E.M; SILVEIRA, A.L.L da et al. (Orgs.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed.-Porto Alegre: Editora da UFRGS: ABRH, 2009. 943 p.

TUCCI, C. E. M.; BELTRAME, L. F. S. Evaporação e evapotranspiração. In: TUCCI, C. E. M.; Silveira, A. L. L. da et al. (Orgs.) **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 4. Ed.— Porto Alegre: Editora da UFRGS: ABRH, 2009. 943 p.

Recebido em: 03/07/2017

Aceito para publicação em: 21/11/2017