

Elaboração de um mapa de risco de inundações da bacia hidrográfica do córrego São Pedro, área urbana de Uberlândia-MG

Elaboration of a inundation risk map of the watershed of the stream São Pedro, urban area of Uberlândia-MG

Samuel Lacerda de Andrade

Bacharel em Geografia pela UFU
samuellacerda1710@hotmail.com

Vanderlei de Oliveira Ferreira

Professor Adjunto do Instituto de Geografia UFU
vanderlei@ig.ufu.br

Mariana Mendes Silva

Mestrando em Geografia pela UFU e Bolsista Capes
marianamendes_01@yahoo.com.br

Artigo recebido para revisão em 11/04/2013 e aceito para publicação em 09/06/2013

Resumo

O avanço da ocupação humana em áreas de risco de inundação causa impactos negativos para a economia e potencializa problemas sociais. A cidade de Uberlândia/MG vem sofrendo ao longo de décadas com episódios de inundações de proporções significativas. Um dos pontos da cidade que é comumente inundado é a Avenida Governador Rondon Pacheco, um dos principais corredores de trânsito da cidade, construído sobre o córrego São Pedro, cuja bacia hidrográfica apresenta ocupação predominantemente urbana. Além disso, índices morfométricos indicam que naturalmente a área tende à inundação em episódios concentrados de precipitação. A impermeabilização, principalmente nos setores com maior declividade e mais próximos à calha do córrego principal, acentua os picos de vazão, tornando os episódios de inundações mais frequentes e agressivos à estrutura urbana. O presente texto descreve as etapas de elaboração de um mapa de risco de inundação para a bacia do córrego São Pedro, mediante cruzamento de informações hipsométricas, de declividade e de uso e ocupação do solo. Tais variáveis receberam pesos diferenciados, conforme metodologia proposta por Saaty (1977), com adaptações. Um mapa de risco de inundação é uma importante ferramenta para o planejamento da ocupação urbana, podendo subsidiar ações preventivas e corretivas. Os resultados demonstram aspectos positivos do roteiro metodológico percorrido e podem ser úteis às estratégias de enfrentamento dos problemas.

Palavras-chave: Inundação; Morfometria; Mapa de risco; Bacias urbanas.

Abstract

The advancement of human occupation in areas of inundation risk cause negative impacts to the economy and potentiates social problems. The city of Uberlândia / MG has been suffering for along decades with episodes of inundations of significant proportions. One of the points city that is commonly inundated is the Governor Rondon Pacheco Avenue, a major transit corridors in the city, built on the São Pedro stream, whose watershed has predominantly urban occupation. Moreover, morphometric indices indicate that naturally the area tend to inundation in episodes concentrates of precipitation. The impermeabilization, especially in sectors with higher slope and closer to the main channel of the stream, accentuates the peaks of discharge, making the episodes of inundations more frequents and aggressives to urban structure. This work describes the steps of elaboration of a inundation risk map for the basin of São Pedro stream, crossing informations hypsometric, of slope

and of land use and occupation. Such variables received differentiated weights, according to the methodology proposed by Saaty (1977), with adaptations. A risk map of inundation is an important tool for planning the urban occupation, and may subsidize preventive and corrective actions. The results demonstrate positive aspects of methodological guide traversed and can be useful for coping strategies of the problems.

Keywords: Inundation; Morphometry; Risk Map; Urban Watersheds.

1. INTRODUÇÃO

A maioria das cidades brasileiras carece de estudos dedicados a subsidiar medidas de prevenção e/ou solução de problemas ligados à drenagem pluvial. O presente artigo propõe contribuir para o entendimento dos fatores envolvidos em episódios de inundações na bacia urbana do córrego São Pedro, em Uberlândia/MG, especialmente por meio da elaboração de um mapa de risco de inundação. Os pesos de cada variável considerada na análise de risco (hipsometria, declividade e uso e ocupação do solo) foram estabelecidos segundo adaptação de metodologia proposta por Saaty (1977).

A bacia do córrego São Pedro, na qual está inserida a Avenida Governador Rondon Pacheco, está localizada numa posição relativamente central na mancha urbana de Uberlândia. Apresenta uma área de 50,48 km² e é formada por três córregos, sendo principal o São Pedro, que recebe água dos córregos Jataí e Lagoinha, na margem esquerda (figura 1). A figura 2 localiza a bacia do córrego São Pedro no contexto do perímetro urbano de Uberlândia. A Avenida Rondon Pacheco possui uma extensão de 6,64 km, iniciando nos bairros

Custódio Pereira e Brasil e terminando nos bairros Tabajaras e Patrimônio.

A ocupação da bacia do córrego São Pedro foi relativamente rápida, tornando necessária a expansão das vias de circulação de trânsito. A solução encontrada foi a construção de novas avenidas, incluindo o fechamento de cursos d'água, dentre eles o córrego São Pedro, canalizado entre as décadas de 1960 e 1970 (RODRIGUES; SOARES, 2003). Atualmente a Avenida Rondon Pacheco é muito movimentada. Além de funcionar como importante corredor de trânsito, ela abriga agências bancárias, concessionárias de veículos, supermercados e muitos estabelecimentos voltados para o entretenimento, tais como salões de festas, quadras esportivas, sorveterias, churrascarias, choperias e bares (ANDRADE; FONSECA, 2008).

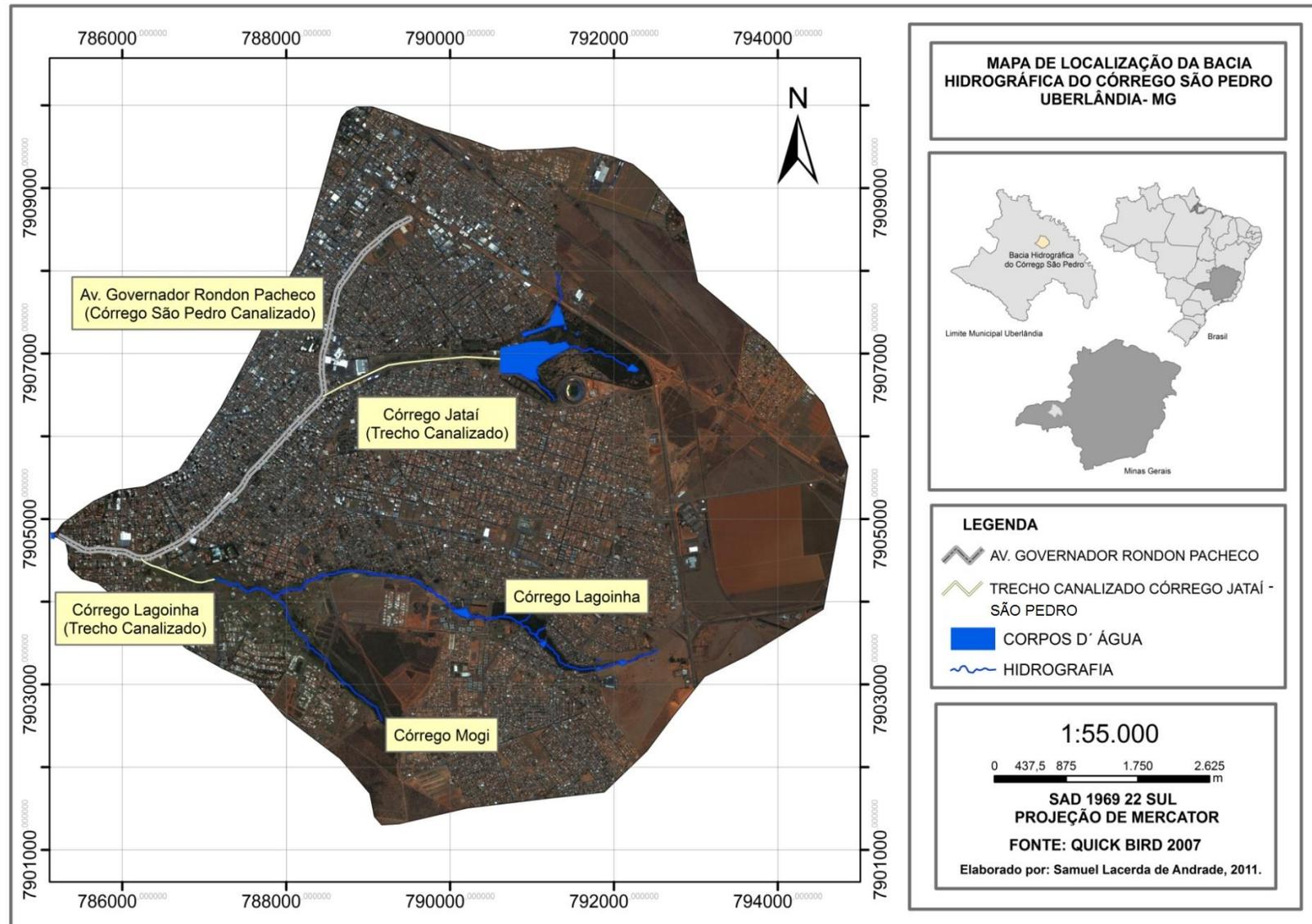


Figura 1: Mapa de localização da bacia hidrográfica do Córrego São Pedro – Uberlândia/MG (Elaborado por: ANDRADE, S. L. 2010)

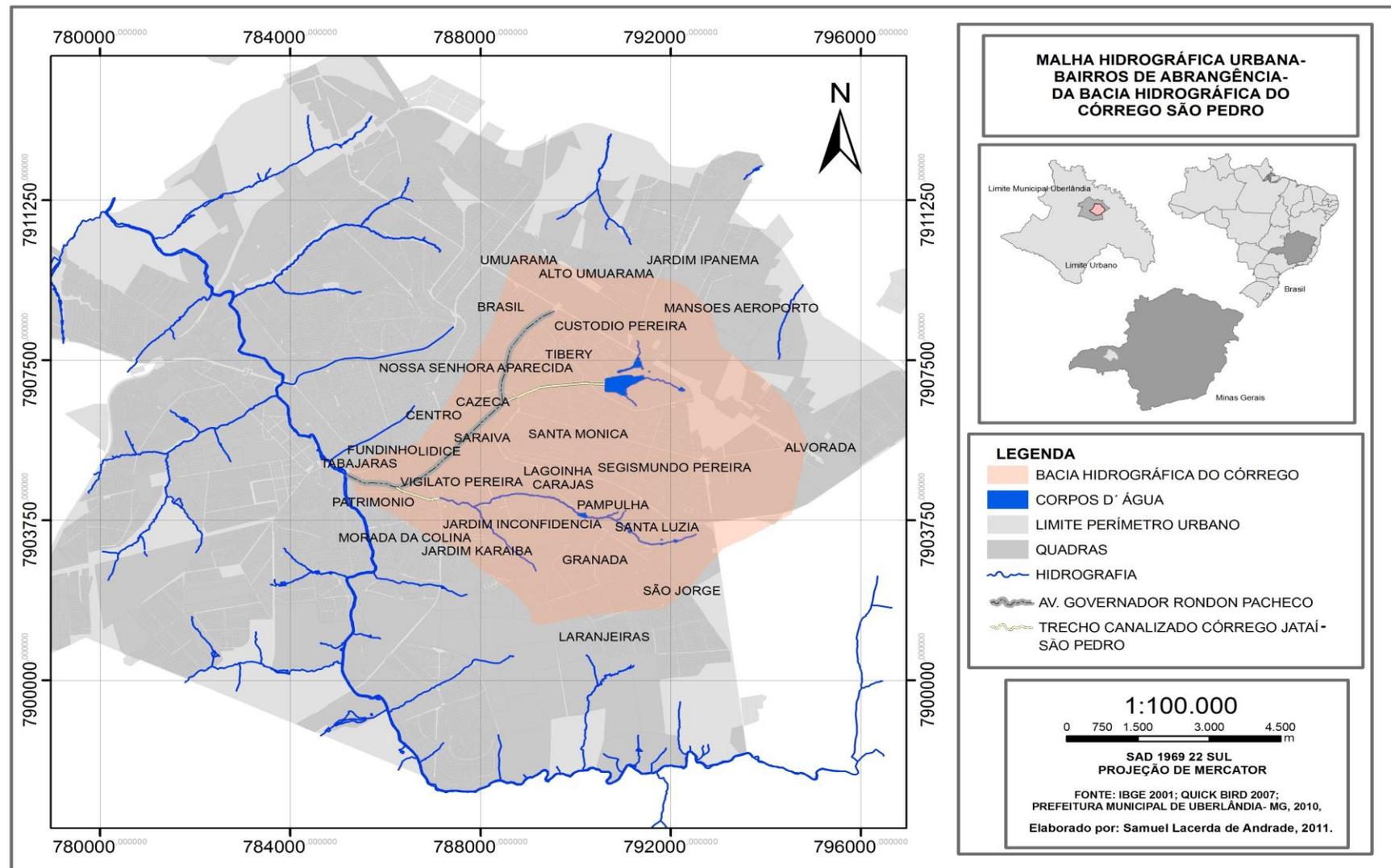


Figura 2: Mapa da rede de drenagem do perímetro urbano de Uberlândia, indicando os bairros situados na bacia do córrego São Pedro (Elaborado por: ANDRADE, S. L. 2011)

2. MORFOMETRIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO SÃO PEDRO

O estudo da morfometria de bacias hidrográficas envolve um número relativamente grande de variáveis, coeficientes e equações, algumas particularmente importantes para a pesquisa aqui relatada. A forma da bacia hidrográfica, por exemplo, é um indicador importante da maior ou menor tendência para ocorrência de enchentes (OLIVEIRA, 2010) porque influencia no tempo de concentração, ou seja, no tempo necessário para que as chuvas que caem na área da bacia contribuam para a vazão numa determinada seção de estudo.

Assim, considerando a importância da forma da bacia, decidiu-se mensurar o coeficiente de compacidade (K_c) ou índice de Gravelius e o índice de conformação ou fator de forma (K_f), a fim de se verificar a tendência natural da bacia hidrográfica do córrego São Pedro a sofrer inundações.

O K_c é calculado por meio de uma equação que relaciona o perímetro da bacia com o perímetro de um círculo formado com a mesma área. Quanto maior o afastamento de 1, maior é o alongamento da bacia, ou seja, quanto mais próximo de 1, mais a bacia ganha formato arredondado e se aproxima da probabilidade de inundação (ALVAREZ; GARCEZ, 2002). A bacia do córrego São Pedro apresenta $K_c=1,12$, índice que se aproxima muito da unidade, o que mostra uma forte tendência de inundação na bacia.

O K_f relaciona a forma da bacia com um retângulo. Se $K_f \leq 1$ a bacia é menos sujeita a enchentes. Isso acontece porque a bacia apresenta formato mais estreito e longo. Assim, a água dos tributários atinge o rio principal em maior número de pontos. Se $K_f \geq 1$, a bacia é mais vulnerável a enchentes (ALVAREZ; GARCEZ, 2002). A bacia do córrego São Pedro apresenta $K_f = 1,02$, denotando a probabilidade natural de inundação da bacia.

Segundo Alvarez e Garcez (2002, p.43), “as características topográficas, geológicas, geomorfológicas, pedológicas e térmicas, bem como o tipo de cobertura da bacia, desempenham papel essencial no seu comportamento hidrológico.” As características fisiográficas aqui adotadas dizem respeito à hipsometria, altitude e declividade. É importante lembrar que a diferença de altitude entre o exutório e a nascente do córrego São Pedro é de aproximadamente 170m (figura 3).

O modelo digital de elevação (MDE) foi gerado a partir de curvas nível de 10m de equidistância, cedidas pela Prefeitura Municipal de Uberlândia. O MDE permite uma boa compreensão do arranjo topográfico da bacia, chamando atenção para o encaixamento do córrego principal perto da sua foz (figura 4).

A figura 5 mostra que não existem grandes variações de declividade na bacia do córrego São Pedro. Mas, ela aumenta próximo ao exutório, gerando incremento na velocidade do escoamento exatamente quando o volume é também maior. Assim, somado à impermeabilização, a bacia apresenta características

fisiográficas que aumentam o potencial para a ocorrência de inundações.

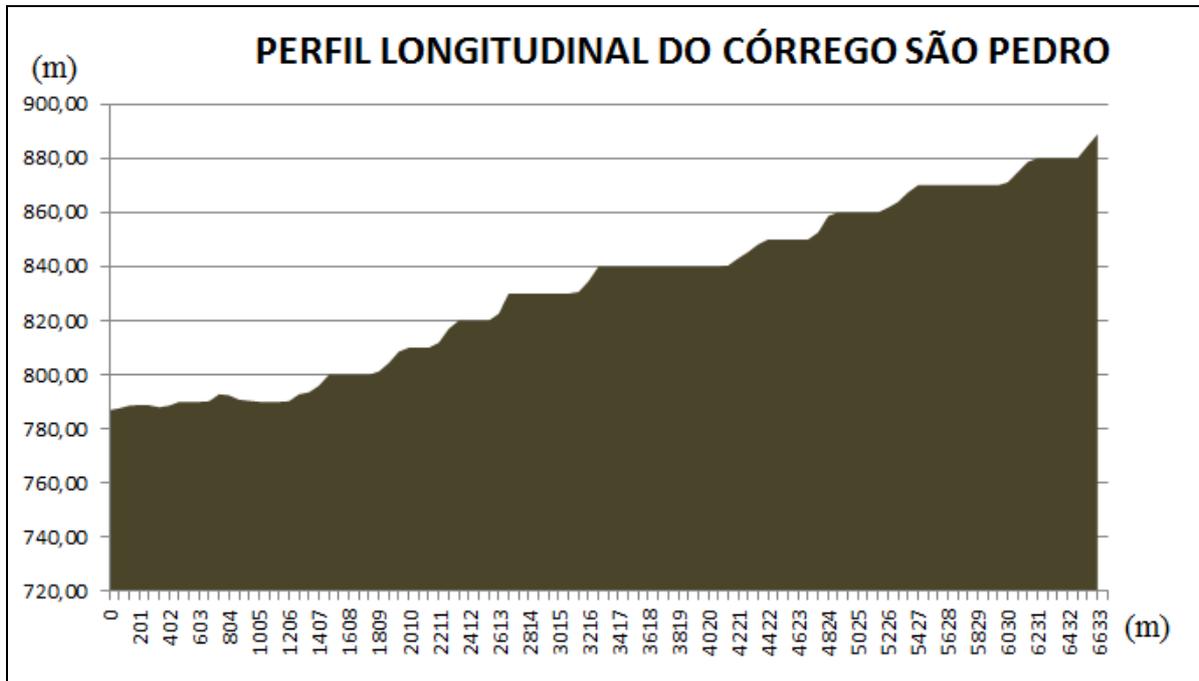


Figura 3: Perfil longitudinal do córrego São Pedro, em Uberlândia/MG (elaborado por: ANDRADE, S. L. 2011)

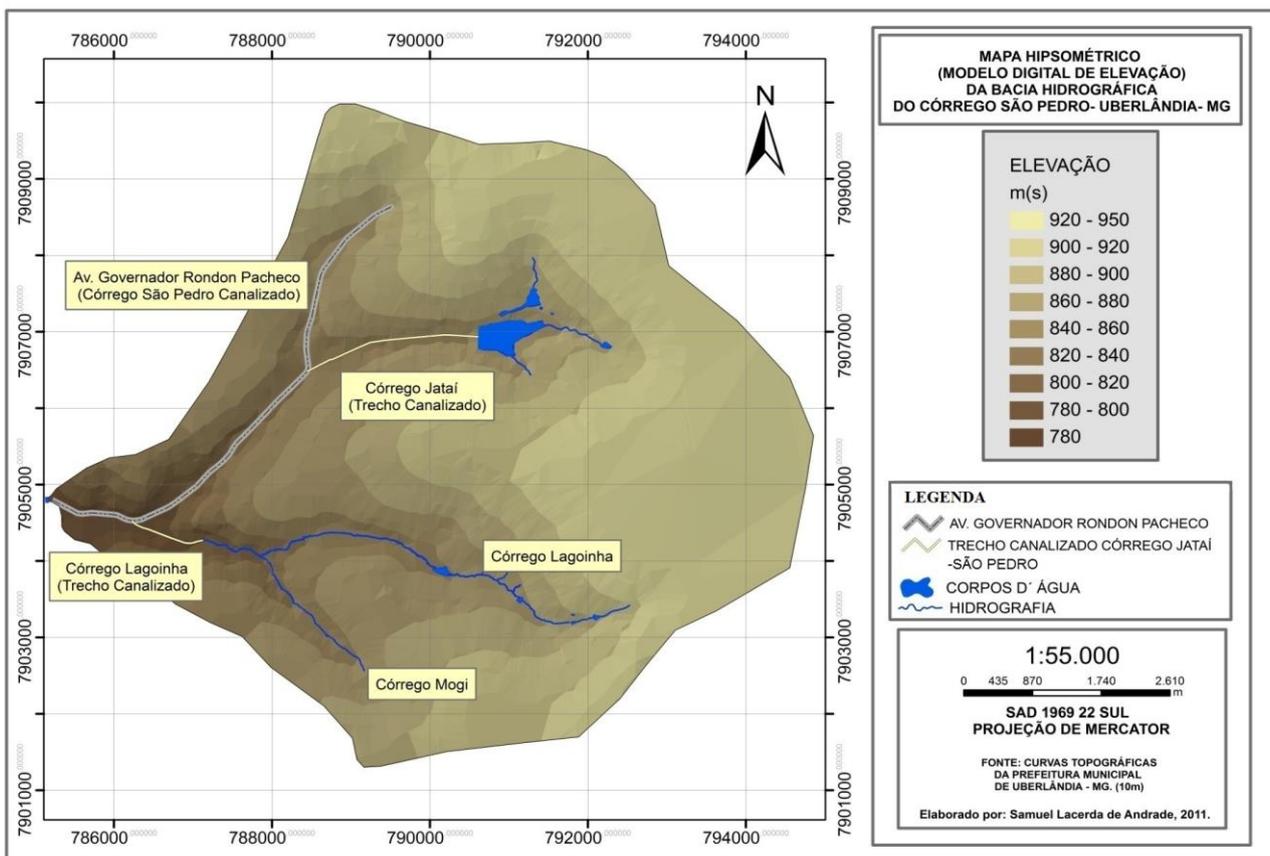


Figura 4: Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do córrego São Pedro (Elaborado a partir de curvas de nível cedidas pela Prefeitura Municipal de Uberlândia- MG)

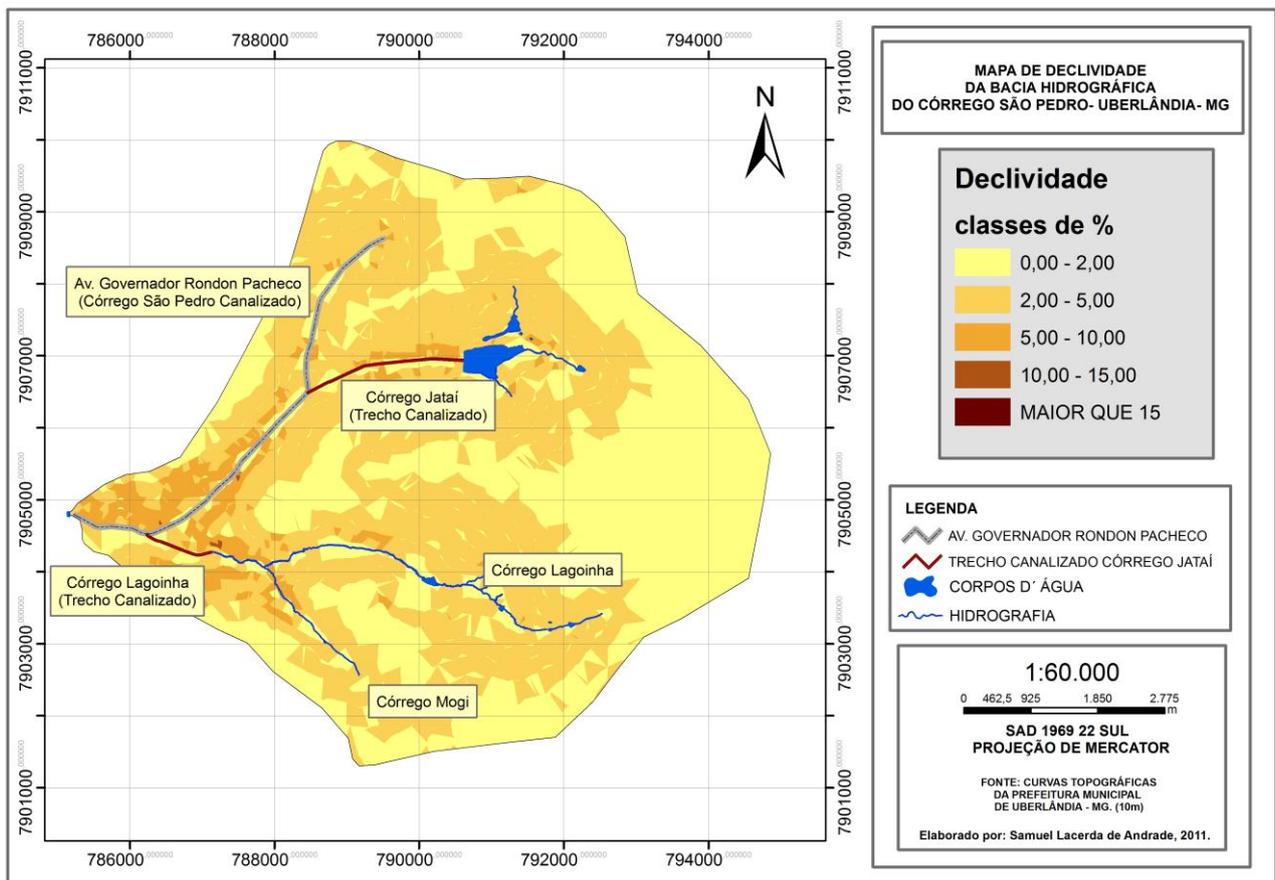


Figura 5: Mapa de declividade da bacia do córrego São Pedro (Elaborado por: ANDRADE, S. L. 2011)

3. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E NÍVEIS DE IMPERMEABILIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO SÃO PEDRO

As enchentes são potencialmente ampliadas pela urbanização especialmente devido à impermeabilização dos solos. Deste modo a identificação das formas de ocupação do solo da bacia e sua mensuração é tarefa importante.

A identificação das categorias de uso e ocupação do solo neste trabalho seguiu a metodologia de Tucci (2000), que permite a identificação e qualificação das áreas quanto à impermeabilização. Foram classificadas cinco categorias: área urbana consolidada, área urbana inconsolidada, condomínios horizontais,

cultivo/vegetação rasteira e vegetação densa (quadro 1).

Optou-se por enquadrar os níveis de impermeabilização propostos por Tucci (2000) numa escala de pesos de 0 a 10. Quanto maior o potencial de impermeabilização, maior o peso atribuído.

A categoria “Área urbana consolidada” abrange principalmente a área central da mancha urbana de Uberlândia (figura 6), com presença de edificações de características variadas e uma rede de serviços extensa. Considerou-se em uma escala de 0 a 10 em relação aos níveis de impermeabilização, peso 9 para esta categoria.

Quadro 1: Categorias de uso e ocupação do solo e níveis de impermeabilização

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	NÍVEL DE IMPERMEABILIZAÇÃO
Área urbana consolidada	Alto
Área urbana em consolidação	Médio
Condomínios horizontais	Baixo
Cultivo/Vegetação rasteira	Muito baixo
Vegetação densa	Nulo

Fonte: Tucci (2010)



Figura 6: Área urbana consolidada (Fonte: Imagens QuickBird 2007)

Na categoria “Área urbana inconsolidada” foram considerados os bairros que estão ao redor da região central, que são muito populosos, com casas e prédios de pequeno e médio porte” (figura 7). A área apresenta

terrenos vagos e algumas praças e áreas verdes. A metodologia de Tucci (2000) classifica áreas com tais características como de médio nível de impermeabilização. Atribuiu-se nota 7 a essa categoria.



Figura 7: Área urbana inconsolidada (Fonte: Imagens QuickBird 2007)

Na categoria “Condomínios Horizontais” foram considerados os bairros periféricos da bacia (figura 8). Em virtude do rápido crescimento urbano e da especulação imobiliária, estas áreas possuem muitos espaços vagos, terrenos baldios e loteamentos, apresentando, portanto, um nível de impermeabilização relativamente baixo. Atribuiu-se Nota 5 para tais áreas.



Figura 8: Condomínios horizontais. Fonte: Imagens QuickBird 2007

A quarta categoria diz respeito às áreas com predominância de cultivo de culturas anuais ou permanentes e vegetação rasteira (figura 9). Este tipo de uso é encontrado na cabeceira da bacia do córrego São Pedro, em áreas com baixa declividade e solos muito permeáveis, o que permite maior infiltração da precipitação no solo. Foi atribuído peso 3 a essa categoria.

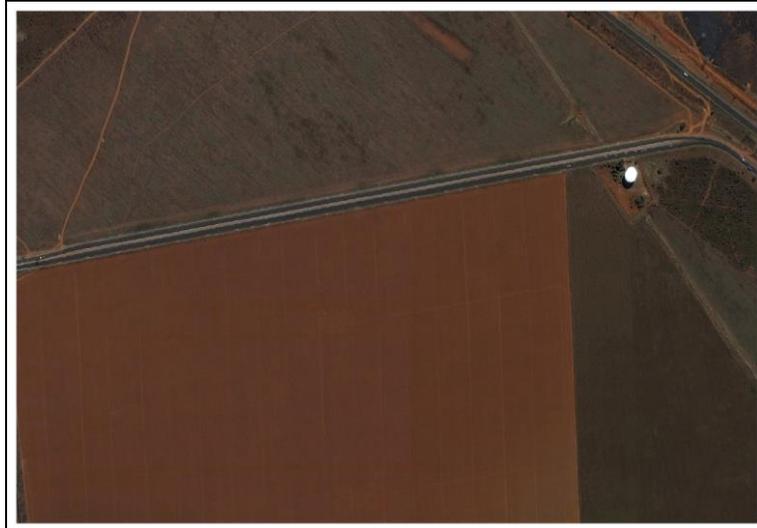


Figura 9: Cultivo/vegetação rasteira. Fonte: Imagens QuickBird 2007.

Possuindo ocupação predominantemente urbana, vegetação em estado nativo é praticamente inexistente na bacia do córrego São Pedro. Áreas como as que aparecem na figura 10 são restritas e provavelmente apresentam altas taxas de infiltração. São caracterizadas por resquícios de vegetação de cerrado e faixas marginais de proteção de cursos d'água e nascentes. A essa categoria foi atribuído peso 1 quanto à impermeabilização.

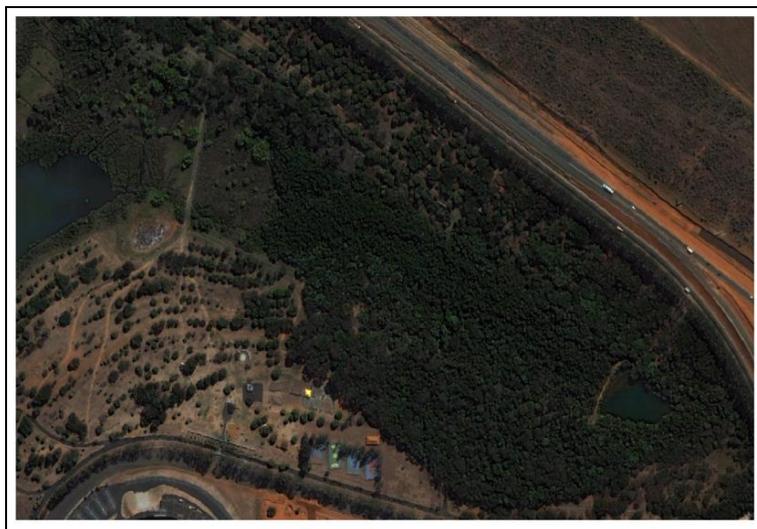


Figura 10: Áreas com fragmentos significativos de vegetação natural (Fonte: Imagens QuickBird 2007)

A figura 11 mostra a predominância de áreas impermeabilizadas na bacia hidrográfica do córrego São Pedro. As categorias “Área Urbana Consolidada”, “Área Urbana Inconsolidada” e “Condomínios Horizontais” representam 66% da área total da bacia. Entende-se que o intenso uso e ocupação do solo na bacia, em

virtude da urbanização, é um dos principais causadores das inundações na av. Rondon Pacheco. Verifica-se, ainda, a presença de uma área relativamente extensa com características mais permeáveis na cabeceira da bacia. Os números referentes à ocupação, em hectares, podem ser visualizados no quadro 2.

Quadro 2: Área das categorias de uso e ocupação do solo da bacia do córrego São Pedro e respectivos pesos atribuídos quanto ao potencial de impermeabilização

CATEGORIAS	HECTARE	PESO QUANTO A IMPERMEABILIZAÇÃO
Área urbana consolidada	694.49	9
Área urbana inconsolidada	2177.67	8
Condomínios horizontais	458.33	7
Cultivo/ Vegetação rasteira	1281.34	3
Vegetação densa	410.4	1

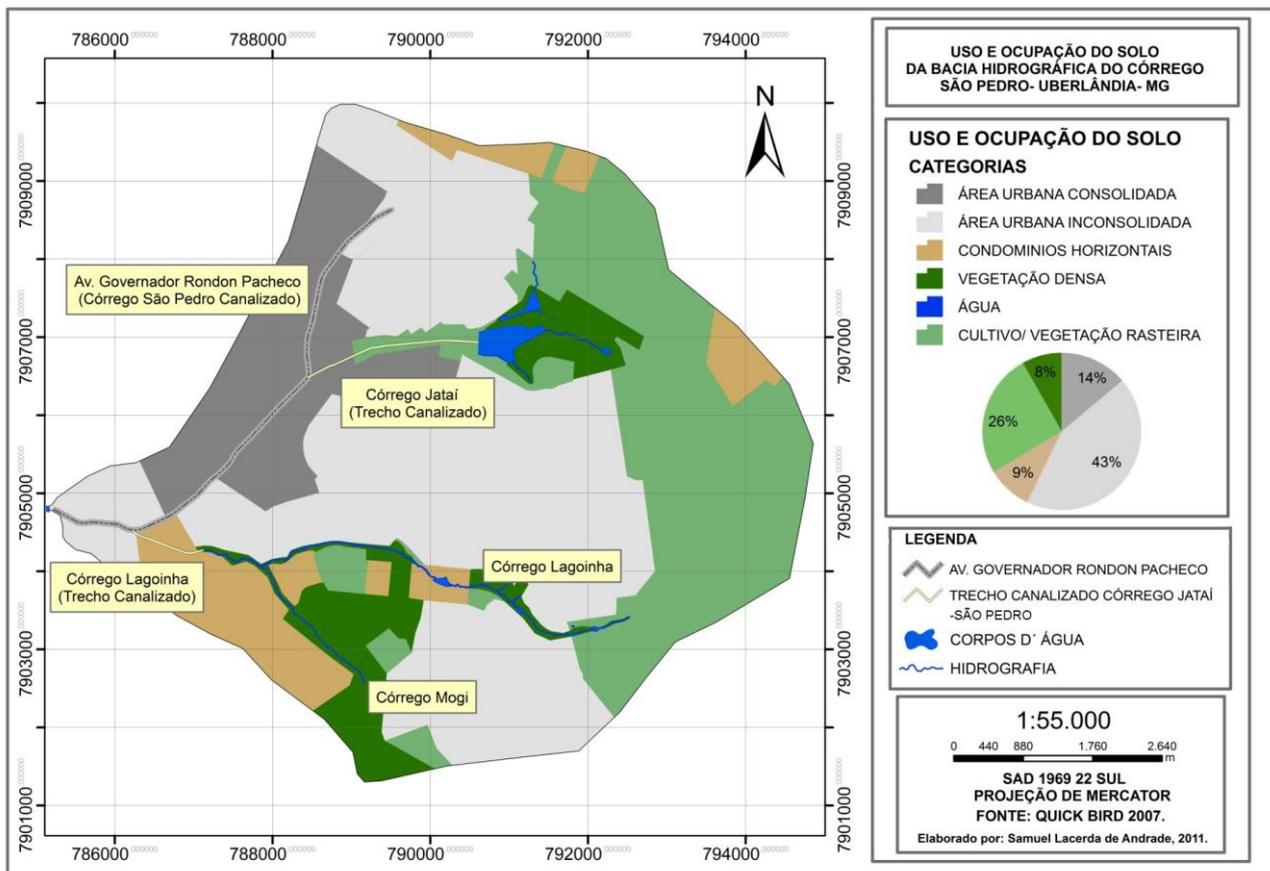


Figura 11: Mapa de uso e ocupação do solo da bacia do córrego São Pedro (Elaborado por: ANDRADE, S. L. 2011)

4. APLICAÇÃO DO MÉTODO DE DECISÃO MULTICRITERIAL

Segundo Cerri (1999), para que haja uma situação de risco é necessário que haja possibilidade de ocorrência de um determinado evento, e que tal ocorrência possa resultar em perdas e danos. Considerando a recorrência dos episódios de enchentes e os danos causados na bacia do córrego São Pedro, a elaboração de um mapa de risco de inundação torna-se importante, podendo contribuir para um eficiente planejamento da ocupação no perímetro da bacia hidrográfica, além de aplicações na elaboração de planos de ação imediata para socorrer a população.

Recorreu-se à metodologia AHP (Analytic Hierarchy Proces), reproduzida por Saaty (1977), para determinar pesos estatísticos para as variáveis selecionadas e representadas nos mapas temáticos. São elas: hipsometria, declividade e uso e ocupação do solo. Deste modo foi organizado o quadro 3, de forma que as variáveis possam ser comparadas entre si. O peso dado pelo observador para julgar a importância de um elemento sobre o outro segue o quadro de matriz de nível hierárquico (quadro 4). Após o julgamento dos elementos temos a matriz de comparação (quadro 5).

Quadro 3: Organização dos elementos a serem julgados

	USO E OCUPAÇÃO	DECLIVIDADE	HIPSOMÉTRICO
Uso e ocupação	Uso e Ocupação/Uso e Ocupação	Declividade/Uso e Ocupação	Hipsométrico/Uso e Ocupação
Declividade	Uso e Ocupação/Declividade	Declividade/Declividade	Hipsométrico/Declividade
Hipsométrico	Uso e Ocupação/Hipsométrico	Declividade/Hipsométrico	Hipsométrico/Hipsométrico

Quadro 4: Matriz de Nível hierárquico de Saaty, (1977)

VALORES	IMPORTÂNCIA MÚTUA
1/9	Extremamente menos importante que
1/7	Muito fortemente menos importante que
1/5	Fortemente menos importante que
1/3	Moderadamente menos importante que
1	Igualmente Importante a
3	Moderadamente mais importante que
5	Fortemente mais importante que
7	Muito fortemente mais importante que
9	Extremamente mais importante que

Quadro 5: Montagem da Matriz de Comparação (1º passo)

	USO E OCUPAÇÃO	DECLIVIDADE	HIPSOMÉTRICO
Uso e ocupação	1	1/9	1/5
Declividade	3	1	1/9
Hipsométrico	5	3	1
SOMA	9	4,1	1,5

A interpretação do quadro 5 é feita da seguinte forma: Toma-se por exemplo a comparação entre Declividade (coluna 2) e Uso e ocupação do solo (linha1). A declividade possui 1/9 de importância em relação ao fator uso e ocupação do solo. Interpretando de acordo com o quadro 4, o fator declividade mostra-se *Extremamente menos importante que* o fator uso e ocupação do solo, e assim por diante. Para chegar ao resultado final da

matriz de comparação Saaty (1977) explica que o resultado da soma da hierarquização deve ser utilizado para dividir cada item analisado (quadro 6).

Por fim, são obtidas as médias simples por linhas, gerando os pesos para a elaboração do mapa de risco (quadro 8).

Quadro 6: Montagem da matriz de comparação (2º passo)

	USO E OCUPAÇÃO	DECLIVIDADE	HIPSOMÉTRICO
Uso e ocupação	1/9	0,1/4,1	0,2/ 1,5
Declividade	3/9	1/ 4,3	0,3/ 1,5
Hipsométrico	5/9	3/ 4,3	1/ 1,5

Quadro 7: Resultado da divisão dos fatores pela soma/Montagem da Matriz de Comparação (3º passo-final)

	USO E OCUPAÇÃO	DECLIVIDADE	HIPSOMÉTRICO
Uso e ocupação	0,111111111	0,069767442	0,133333333
Declividade	0,333333333	0,23255814	0,2
Hipsométrico	0,555555556	0,697674419	0,666666667

Quadro 8: Pesos médios para elaboração do mapa de risco de inundação

FATOR	PESO
Uso e Ocupação	0,1047
Declividade	0,2552
Hipsométrico	0,6399

A hierarquização das variáveis analisadas oferece, portanto, a importância das mesmas para na análise fisiográfica do meio quanto ao risco de inundação. Na metodologia proposta por Saaty (1977) faz-se uso de uma equação para verificar se os pesos das variáveis obtidos não estão superestimados uns em relação aos outros. Na pesquisa aqui relatada optou-se por não utilizar essa equação pelos seguintes motivos:

- Nos pontos mais altos da bacia hidrográfica ocorre infiltração significativa devido à morfologia aplainada, à considerável cobertura vegetal e elevada permeabilidade dos solos. Portanto, essas características são determinantes para não ocorrência de inundações na porção da bacia hidrográfica com altimetria mais elevada;
- A bacia hidrográfica naturalmente tende à inundação (índices morfométricos), tornando menos provável a concepção de que o único fator de inundação seria a impermeabilização do solo;
- O fato de haver somente três variáveis consideradas, e todas elas podendo ser verificadas em campo, diminui drasticamente a chance de erro na determinação dos pesos.

5. MAPA DE RISCO DE INUNDAÇÃO

O mapa de risco de inundação foi dividido em cinco categorias, classificando as áreas em níveis de probabilidade de risco. As categorias consideradas foram: baixíssimo risco, baixo risco, médio risco, alto risco e altíssimo risco.

A figura 12 mostra que as áreas com maior densidade de ocupação, que na verdade não

deveriam ser ocupadas, apresentam alto-altíssimo risco de inundação. Representam as várzeas dos córregos, que obviamente tendem a inundação em episódios chuvosos concentrados. Tucci & Bertoni (2003) afirma que as enchentes ocorrem quando a precipitação é intensa e a quantidade de água que chega simultaneamente ao rio é superior à sua capacidade de drenagem, resultando em inundações das áreas ribeirinhas. A vasta área impermeabilizada da bacia acentua o escoamento superficial, fazendo com que haja picos de vazão em um espaço reduzido de tempo. Deste modo, percebe-se a gravidade do problema da ocupação urbana já consolidada e de difícil remanejo ou ações que possam minimizar os processos de escoamento.

lógico adotado e indicam a importância das informações morfométricas e de uso e ocupação do solo quanto à definição de riscos de inundações em bacias urbanas.

REFERÊNCIAS

ALVAREZ, L. N; GARCEZ, G. A. **Hidrologia**. 2ª edição revista atualizada. São Paulo: Edgar Blücher LTDA. 2002. 291 p.

ANDRADE, L. M; FONSECA, P, L. M. A transformação nos uso dos espaços públicos em Uberlândia. In: **Revista Horizonte Científico**, v.1, n. 9 2008,p. <Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/horizontecientifico/article/viewFile/4111/3060>>

CERRI, L.E. S. Riscos Geológicos Urbanos. In: CAMPOS, H e CHASSOT, A (org.). **Ciências da Terra e Meio Ambiente: Diálogos para (inter) ações no Planeta**. São Leopoldo (RS): Unisinos, 1999.

RODRIGUES, M. J; SOARES, B. R. Os planos urbanos de Uberlândia (1907/1980): considerações iniciais. In: **I simpósio regional de geografia perspectivas para o cerrado no século XXI**. Uberlândia, 2003.

TUCCI, C. E. M. Coeficiente de Escoamento e Vazão Máxima de Bacias Urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 5, n. 1, p. 61- 68, 2000.

TUCCI, C.E.M., BERTONI, J.C. (orgs.). **Apostila de Inundações Urbanas da América Latina**. Porto Alegre, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.