



Carta de Potencial dos meios físico e antrópico ao escoamento superficial para a bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina-MG

Ana Cláudia Pereira Carvalho ¹

Osni José Pejon ¹

Eduardo Goulart Collares ²

¹ Universidade de São Paulo - EESC/USP
Av. Trabalhador Sancarlense, Parque Arnold Schimidt
13566-590 - São Carlos-SP, Brasil
ana.carvalho01@usp.br
pejon@sc.usp.br

² Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG/ Campus Passos
Av. Juca Stockler nº: 1130, Bairro Belo Horizonte
37900-106 - Passos-MG, Brasil
collaresambiental@hotmail.com

Resumo. O escoamento superficial envolve o excesso de água, proveniente do acontecimento de uma precipitação intensa, que se desloca livremente pela superfície do terreno. No presente trabalho estão sendo apresentadas duas cartas de potencial ao escoamento superficial para a bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina, a qual abrange toda a área urbana do município de Passos-MG, que vem sofrendo com o problema das inundações. Uma das duas cartas envolve atributos relacionados ao meio físico (geologia, densidade de drenagem, materiais inconsolidados, declividade), ao passo que a outra acrescenta o plano de informação referente ao uso e ocupação do solo. Todo o processamento aconteceu em ambiente SIG, com a utilização do software ArcGIS10[®], adotando técnicas de geoprocessamento. Para a elaboração destes documentos interpretativos foi aplicada a metodologia de Pejon e Zuquette (1993) que baseia-se na atribuição de pesos para cada plano de informação, utilizando o método AHP. O resultado final deste processamento permitiu identificar as áreas com maior potencial ao escoamento superficial, fornecendo aporte aos gestores em suas tomadas de decisões com vistas a minimizar o problema das inundações, visto que estas podem ser agravadas com o crescimento da cidade e/ou pela ocupação de áreas a montante da área urbanizada.

Palavras-chave: geoprocessamento, geotecnologia, SIG, Processo de Análise Hierárquica (AHP).

Abstract. Runoff consists of excess of water from a heavy rainfall, which moves freely through the ground surface. In this study, two runoff potential charts were performed to the basin of Ribeirão Bocaina covering the urban area of the municipal of Passos-MG, which has suffered with flooding. The first one includes attributes related to the physical environment (geology, drainage density, unconsolidated materials, and slope), while the other also takes into account the information about land use. Geoprocessing took place in a GIS environment, using the ArcGIS10® software. Runoff potential charts were carried out based on the method proposed by Pejon and Zuquette (1993) which assigns weights to each attribute, using the AHP techniques. The result of this analysis showed the areas with highest potential of runoff and provides information to managers to support decision making allowing to reduce the flood problems already registered in urban area, which may worsen with city growing.

Key-words: geoprocessing, geotechnology, GIS, Analytical Hierarchy Process (AHP).

1. Introdução

Quando ocorre uma precipitação, toda a água que chega ao solo passa a ser infiltrada até o momento em que ocorre a saturação de sua superfície. Posteriormente, a água continua a infiltrar, e simultaneamente inicia-se o processo de escoamento superficial, de forma simplificada, é o deflúvio que excede do processo de infiltração (PEIXOTO, 2011).

Os fatores que atuam no escoamento superficial podem ser de natureza climática, com relação à precipitação, ou de natureza fisiográfica, interligados às características físicas de uma bacia hidrográfica. Dentre os fatores climáticos pode-se evidenciar a intensidade e a duração da precipitação, visto que quanto maior a intensidade, breve o solo chega a sua capacidade de infiltração, gerando um excesso de precipitação que escoará superficialmente. A duração da precipitação também é importante no escoamento, porque para precipitação com intensidade constante há maior oportunidade de escoamento quanto maior for a sua duração. Quanto os fatores fisiográficos, vale ressaltar a área e a forma da bacia, a permeabilidade e a capacidade de infiltração do solo e a topografia da bacia (LIMA JÚNIOR, 2014).

Conhecer os processos de escoamento superficial e de infiltração no terreno permite definir de maneira adequada o coeficiente de deflúvio, o qual constitui a razão entre o volume de água do escoamento superficial e o volume da água da precipitação (PEJON; ZUQUETTE, 1993). Para Pejon (1992), as informações sobre esses processos são de essencial importância na implantação de diversos tipos de obras de engenharia, como estradas, áreas urbanas, pequenas barragens, entre outras.

Pejon e Zuquette (1993) apresentam uma metodologia para obtenção da carta de potencial ao escoamento superficial, cujo procedimento envolve a atribuição de pesos para planos de informação relacionados ao meio físico, esta técnica corresponde à aplicação do método AHP (*Analytical Hierarchy Process*) definida por Saaty (1980) levando em consideração uma escala de valores hierárquicos. Os atributos básicos considerados pelos autores para a geração deste documento foram: declividade; pedologia; geologia; densidade de drenagem e permeabilidade do solo. No presente trabalho foram acrescentadas informações que retratam o meio antrópico que é caracterizado pelo uso e ocupação do solo, deste modo o documento aqui proposto é denominado de Carta de Potencial dos meios físico e antrópico ao escoamento superficial.

2. Objetivo

O objetivo principal do trabalho é a elaboração da carta do potencial de escoamento superficial, na escala 1:50.000, para a bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina, na qual se insere a cidade de Passos-MG, como forma de subsidiar o planejamento da ocupação da região e minimizar os problemas de inundação que vem ocorrendo na área urbana.

3. Materiais e Métodos

3.1. Caracterização da área de estudo

A área de estudo é a bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina, uma das 34 sub-bacias que compõem a Bacia Hidrográfica do Médio Rio Grande (**Figura 1**). A bacia do Ribeirão Bocaina é localizada entre as coordenadas UTM 320000 - 345000mE e 7688000 - 7720000mN, com área de 457,9 km². Situa-se integralmente no município de Passos-MG, ocupando 34% de sua área total; a cidade possui uma população de 106.290 habitantes segundo o censo do IBGE referente ao ano de 2010.

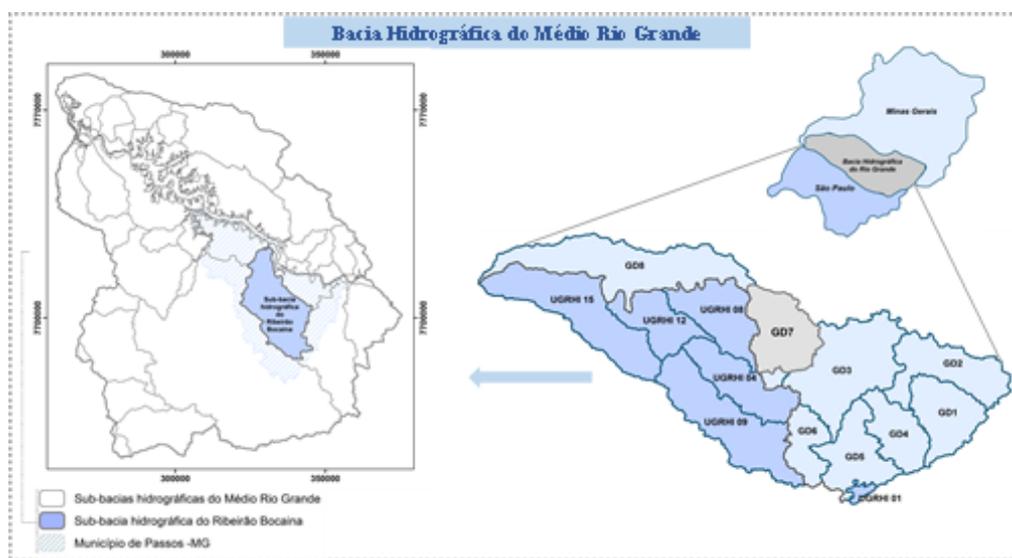


Figura 1. Localização da área de estudo.

De acordo com dados do IBGE (2016) a área de estudo é caracterizada pelos biomas Mata Atlântica e Cerrado. Segundo o mapeamento de uso e ocupação do solo realizado por Dias et al. (2013) a área é composta por pastagem, silvicultura, culturas permanente e anual; quanto às áreas de preservação natural a região abrange mata, capoeira e campo.

No contexto geológico, a região estudada apresenta como litologias predominantes o mica-xisto e o gnaise com intercalações de xisto pertencentes à formações do Grupo Araxá e gnaise com a presença secundária de migmatitos pertencentes ao Complexo Barbacena e Sequência Greenstone Morro de Ferro (COLLARES; GOMES, 2013).

3.2. Procedimentos Metodológicos

Neste trabalho foram utilizados dados básicos existentes, além da geração de novos planos de informação (Declividade e Densidade de Drenagem). Para a realização dos processamentos foi utilizado o software ArcGIS10[®]. Os dados pré-existentes utilizados foram: o Mapa de Materiais Inconsolidados (Magri et al., 2013), o Mapa Geológico (Collares e Gomes, 2013) e o Mapa de Uso e Ocupação (Dias et al., 2013), todos na escala de 1:50.000, sendo utilizados no formato vetorial e matricial.

Vale ressaltar que foram geradas duas cartas de potencial ao escoamento superficial, visto que uma contempla somente atributos do meio físico, enquanto que a outra considera também o Mapa de uso e ocupação do solo. A **Figura 2** apresenta as etapas metodológicas para

a elaboração da Carta de Potencial dos meios físico e antrópico ao escoamento superficial. A metodologia também pode ser aplicada na região do Pantanal, pois a área apresenta baixas declividades, o que é um fator condicionante aos processos de inundação. Segundo Souza; Lani e Sousa (2006) estes eventos acontecem nas direções de norte para sul e de leste para oeste, na extensão do rio Paraguai e seus afluentes, um dos motivos é o efeito da contribuição da água do subsolo e do escoamento superficial, com isso, a região do Pantanal pode ser inundada tanto por águas dos rios, que ultrapassam seus leitos, como pela consequência do aumento do nível da água subterrânea que ocorre em período de chuvas.

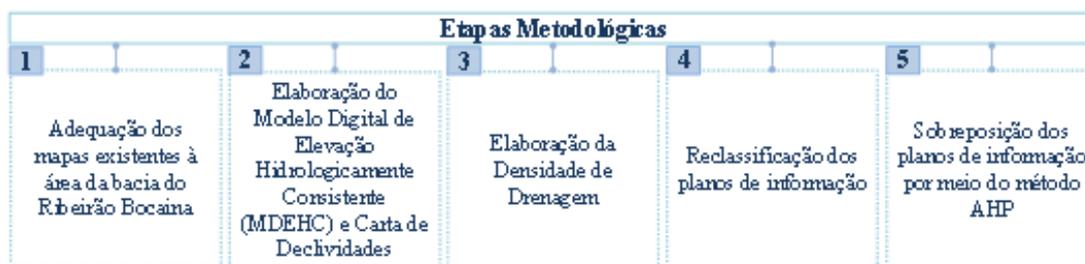


Figura 2. Etapas metodológicas do trabalho.

3.2.1. Adequação dos mapas existentes à área da bacia do Ribeirão Bocaina

Nesta etapa foi necessário adequar os produtos já existentes, elaborados na escala de 1:50.000, visto que estes documentos abrangem a área total da Bacia Hidrográfica do Médio Rio Grande. Diante disto para obter informações somente da área de estudo, foi utilizada a ferramenta *Clip* do software ArcGIS10®.

3.2.2. Elaboração do Modelo Digital de Elevação Hidrológicamente Consistente (MDEHC) e Carta de Declividade

Por meio da interpolação das curvas de nível, rede de drenagem e pontos cotados, na escala 1:50.000, informações estas extraídas dos dados do Projeto Grande Minas (Collares et al., 2013) com auxílio da ferramenta *Topo to raster* do software ArcGIS10®, foi elaborado o Modelo Digital de Elevação Hidrológicamente Consistente, com pixel de saída de 10 m.

Com base neste modelo, foi gerada a Carta de Declividades utilizando as ferramentas do software ArcGIS10® localizadas no *ArcToolBox (Spatial Analyst Tools - Surface - Slope)*.

3.2.3. Elaboração da Carta de Densidade de Drenagem

A densidade de canais de drenagem é considerada uma informação essencial para a definição do potencial de escoamento superficial, pois é proporcional à velocidade com que a água precipitada irá atingir os canais permanentes de escoamento da bacia (DIAS, 2013).

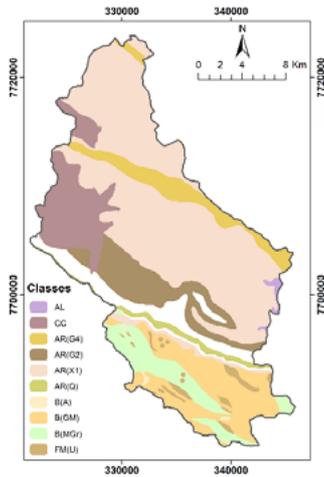
Para a elaboração deste atributo foi utilizada a ferramenta *Kernel Density* do software ArcGIS10®. De acordo com ESRI (2016), esta ferramenta tem a função de calcular uma área de grandeza por unidade de ponto ou polilinha utilizando recursos da função do *Kernel* para ajustar uma superfície suavemente cônica para cada ponto ou polilinha.

Como dado de entrada para a realização do processamento foi utilizada a rede de drenagem em formato vetorial (*shapefile*). De acordo com Dias (2013), o raio estabelecido foi 1128, e o tamanho do pixel de saída foi 10.

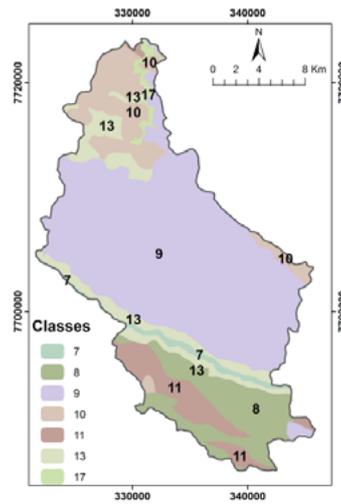
3.2.4. Transformação de arquivos vetoriais para matriciais

Esta etapa consistiu em transformar os planos de informação do formato *shapefile* em arquivos matriciais (**Figura 3**), sendo assim, foi possível inserir os pesos nos atributos utilizados. A descrição das classes representadas nos mapas está apresentada na **Tabela 2**, juntamente com os pesos atribuídos para cada classe, de acordo com a escala de valores definida por Saaty (1980) (**Tabela 1**).

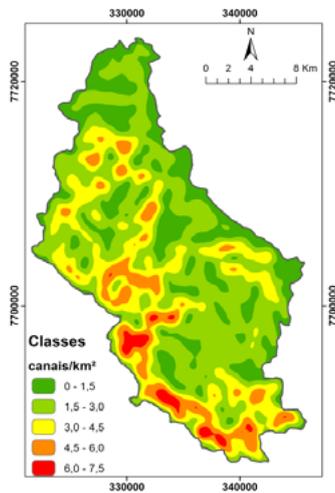
Geologia



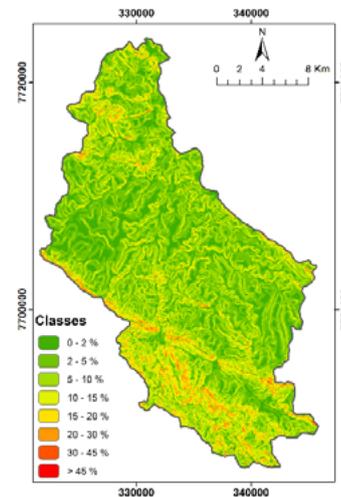
Materiais Inconsolidados



Carta de Densidade de Drenagem



Carta de Declividades



Uso e Ocupação do Solo

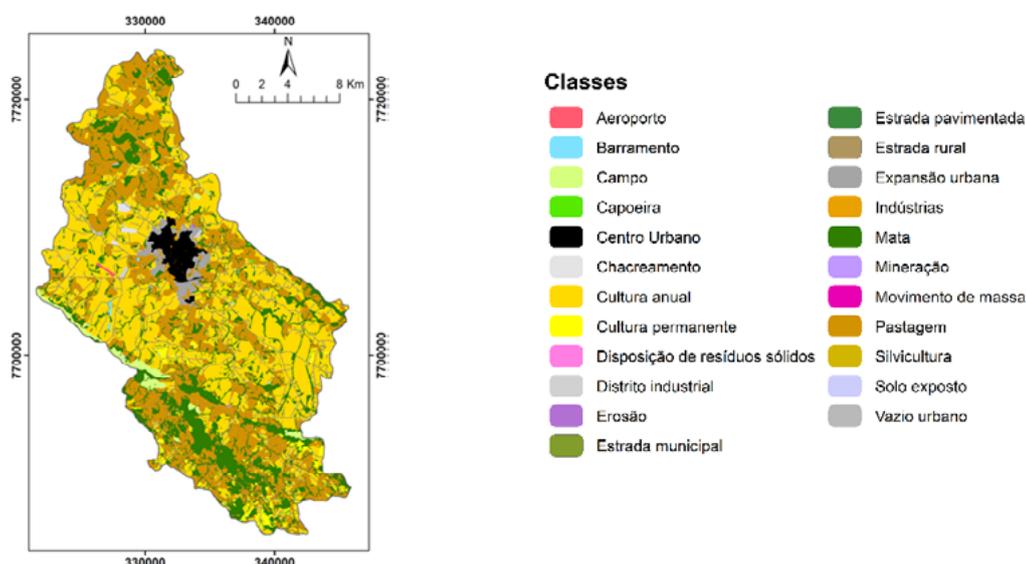


Figura 3. Planos de informação dos meios físico e antrópico utilizados para a elaboração das Cartas de Potencial ao escoamento superficial.

3.2.5. Sobreposição dos planos de informação considerando os pesos obtidos pelo método AHP

O procedimento realizado nesta etapa utiliza a metodologia estabelecida por Pejon e Zuquette (1993) que se baseia no método AHP (*Analytical Hierarchy Process*). Esta técnica consiste na sobreposição de atributos do meio físico e o uso e ocupação do solo, os quais recebem pesos por meio de uma análise hierárquica paritária, definida por Saaty (1980) (**Tabela 1**).

Os procedimentos deste método envolveram a comparação par a par das classes de cada atributo e dos próprios planos de informação em matrizes, atribuindo pesos com base na escala de valores de Saaty (1980), de maneira a refletir a importância de cada classe em relação a outra quanto ao processo de escoamento superficial. Vale ressaltar que a adoção dos pesos foi definida considerando as características da área de estudo e por meio de pesquisas bibliográficas.

Tabela 1. Escala de valores definida por Saaty (1980).

Escala de Valores			
Valores	Importância	Valores	Importância
1/9	Extremamente menos importante	3	Moderadamente mais importante
1/7	Muito menos fortemente importante	5	Fortemente mais importante
1/5	Fortemente menos importante	7	Muito mais fortemente importante
1/3	Moderadamente menos importante	9	Extremamente mais importante
1	Igualmente importante	2, 4, 6 e 8	Valores intermediários

Logo depois da atribuição de pesos, foram estabelecidos os auto-vetores para cada classe dos atributos, bem como para os planos de informação. Para obtê-los, as matrizes de comparação par a par foram normalizadas, ou seja, foi realizada uma divisão de cada elemento pela soma dos elementos da coluna a que se referem. Posteriormente foi realizada uma média aritmética de cada linha da matriz normalizada, resultando nos auto-vetores.

Para cada um dos planos de informação (arquivo matricial) foi adicionada na tabela de atributos uma coluna específica do tipo *double* nomeada de “Peso” onde foram inseridos os auto-vetores para cada uma das classes (**Tabela 2**).

Tabela 2. Pesos para cada classe dos planos de informação utilizados para a elaboração das cartas de potencial ao escoamento superficial.

Plano de informação	Classes	Peso
Geologia	AL - Coberturas Aluvionares (latossolo vermelho e vermelho amarelo)	0,0483
	CC - Coberturas Cenozóicas Indiferenciadas (latossolo vermelho e vermelho amarelo)	0,0483
	AR(Q) - Quartzito com intercalações de mica-xisto	0,0483
	CC - Coberturas Cenozóicas Indiferenciadas (argissolos vermelhos amarelos)	0,0657
	AR(XI) - Xisto com intercalações de quartzito, gnaiss e lentes de mármore	0,0913
	B(A) - Anfibolito e gnaiss dioríticos	0,0913
	B(MG) - Migmatitos e granitóides gnáissificados, graníticos e gnáiss dioríticos, localmente com lentes dioríticas, anfibolíticas e ultramáficas	0,0913
	AR(G2) - Gnaiss e com intercalações de xisto, quartzito, anfibolito	0,1289
	B(GM) - Gnaiss e migmatitos com intercalações de anfibolito ultramáficas e metassedimentos	0,1289
	AR(G4) - Gnaiss migmatítico	0,1289
FM(U) - Rochas ultramáficas com intercalações de gnaiss e metassedimentos	0,1289	
Densidade de drenagem (canais por km ²)	0 - 1,50	0,0523
	1,50 - 3,0	0,1046
	3,0 - 4,50	0,1546
	4,50 - 6,0	0,2984
	6,0 - 7,50	0,3902
Declividade	0 - 2 %	0,0347
	2 - 5 %	0,0694
	5 - 10 %	0,1090
	10 - 20 %	0,1721
	20 - 30 %	0,2636
> 30 %	0,3513	

Tabela 2. Pesos para cada classe dos planos de informação utilizados para a elaboração das cartas de potencial ao escoamento superficial (Continuação).

Plano de informação	Classes	Peso
Materiais inconsolidados	Unidade 7 - Apresenta uma camada de solo laterítico composta por areia com pouca argila, com espessura inferior a meio metro. Sotoposto a este material, são os quartzitos dos Grupos Canastra e Araxá associados a relevos compostos por serras e escarpas.	0,0259
	Unidade 8 - Prevalece o horizonte de saprolito formado por um silte arenoso. A este horizonte está sobreposto o solo laterítico com textura argilo-arenosa e espessura não superior a dois metros. Incide em relevos de morros e morrotes sustentados por gnaiss e rochas ultramáficas do Complexo de Barbacena.	0,0362
	Unidade 9 - O horizonte de solo laterítico possui espessura entre 1 e 15 metros e é formado por uma areia argilosa. Sotoposto a este horizonte, apresenta-se o solo saprolítico constituído por uma argila areno-siltosa e, por fim, o horizonte de saprolito (silte arenoso). Acontece em relevos colinosos, sustentados por gnaiss e xistos com intercalações ocasionais de quartzito do Grupo Araxá.	0,0704
	Unidade 10 - O horizonte de solo laterítico tem textura argilo-silto-arenosa, e espessura inferior a 10 metros, apresenta-se sobreposto ao saprolítico areno-siltoso, com espessura máxima de 7 metros, seguido pelo saprolito, composto por um silte arenoso. Com associação a platôs, morrotes e nas regiões de morros que apresentam declividades inferiores a 15%, esta unidade exibe como substrato rochoso gnaiss e xistos com intercalações ocasionais de quartzito do Grupo Araxá.	0,1023
	Unidade 11 - Há predomínio do horizonte de solo saprolítico com espessura entre 0,5 e 4 metros, e textura areno-siltosa, sotoposto ao solo saprolito composto por silte arenoso. Sobreposto ao solo saprolítico, ocorre o horizonte de solo laterítico silto-argiloso com espessura inferior a 2 metros. Esta unidade acontece em morros com declividades superiores que 15%, associados a gnaiss do Grupo Araxá e Complexo Barbacena.	0,1896
	Unidade 13 - Predominam os horizontes de solo saprolítico (silto-argiloso), com espessura entre 1 e 3 metros, e saprolito (siltoso), com espessura inferior a 6 metros, sobrepostos a xistos com intercalações ocasionais de quartzito. Sobreposto a estes horizontes, ocorre o solo laterítico (silte argiloso), com espessura inferior a 2 metros. Esta unidade está relacionada a declividades menores que 30% em relevos de serras e escarpas e, em morros e morrotes com declividades maiores que 15%.	0,2274
	Unidade 17 - Condiza depósitos aluvionares das áreas de inundação adjacentes ao Rio Grande, e de áreas adjacentes a outros canais de drenagem da área de estudo. A textura destes materiais é bastante variável, consequente dos processos de deposição fluvial.	0,3481
Uso e ocupação do solo	Barramento	0,0294
	Mata e Silvicultura	0,0323
	Campo, Capoeira, Pastagem	0,0504
	Cultura Anual, Cultura Permanente	0,0978
	Disposição de Resíduos Sólidos, Erosão, Estradas (Municipal, Pavimentada e Rural) e Mineração	0,1629
	Vazio Urbano, Chacreamento, Expansão Urbana	0,3086
Aeroporto, Centro urbano, Distrito industrial e Indústrias	0,3186	

Para a sobreposição foi necessário à utilização da ferramenta *Weighted Sum* que realiza a multiplicação da importância relativa de cada classe dos planos de informação (arquivos em formato matricial) pelo peso específico considerado no plano de informação. Deste modo, posteriormente à multiplicação, ocorreu à soma de cada um dos arquivos matriciais de entrada para a elaboração de um arquivo matricial de saída. As **Tabelas 3 e 4** apresentam as matrizes AHP com os pesos adotados para cada plano de informação.

Tabela 3. Matriz AHP de atribuição de pesos para cada plano de informação utilizado para a elaboração da Carta de Potencial do meio físico ao escoamento superficial.

	<i>Geologia</i>	<i>Densidade de drenagem</i>	<i>Materiais inconsolidados</i>	<i>Declividade</i>	<i>R (razão de consistência)</i>
<i>Geologia</i>	1	2/3	1/2	1/4	0,0020
<i>Densidade de drenagem</i>	1,50	1	5/6	1/3	0,20%
<i>Materiais inconsolidados</i>	2,00	1,20	1	1/2	
<i>Declividade</i>	4,00	3,00	2,00	1	
SOMA	8,50	5,87	4,33	2,08	
<i>Matriz Normalizada</i>					<i>Auto Vetor</i>
<i>Geologia</i>	0,1176	0,1136	0,1154	0,1200	0,1167
<i>Densidade de drenagem</i>	0,1765	0,1705	0,1923	0,1600	0,1748
<i>Materiais inconsolidados</i>	0,2353	0,2045	0,2308	0,2400	0,2277
<i>Declividade</i>	0,4706	0,5114	0,4615	0,4800	0,4809

Tabela 4. Matriz AHP de atribuição de pesos para cada plano de informação utilizado para a elaboração da Carta de Potencial dos meios físico e antrópico ao escoamento superficial.

	<i>Geologia</i>	<i>Densidade de drenagem</i>	<i>Materiais inconsolidados</i>	<i>Uso e ocupação</i>	<i>Declividade</i>	<i>R (razão de consistência)</i>
<i>Geologia</i>	1	2/3	1/2	1/3	1/4	0,0012
<i>Densidade de drenagem</i>	1,50	1	5/6	1/2	1/3	0,12%
<i>Materiais inconsolidados</i>	2,00	1,20	1	2/3	1/2	
<i>Uso e ocupação</i>	3,00	2,00	1,50	1	2/3	
<i>Declividade</i>	4,00	3,00	2,00	1,50	1	
SOMA	11,50	7,87	5,83	4,00	2,75	
<i>Matriz Normalizada</i>						<i>Auto Vetor</i>
<i>Geologia</i>	0,0870	0,0847	0,0857	0,0833	0,0909	0,0863
<i>Densidade de drenagem</i>	0,1304	0,1271	0,1429	0,1250	0,1212	0,1293
<i>Materiais inconsolidados</i>	0,1739	0,1525	0,1714	0,1667	0,1818	0,1693
<i>Uso e ocupação</i>	0,2609	0,2542	0,2571	0,2500	0,2424	0,2529
<i>Declividade</i>	0,3478	0,3814	0,3429	0,3750	0,3636	0,3621

4. Resultados e Discussão

As Cartas de Potencial ao escoamento superficial foram geradas com base em uma soma ponderada de pesos para cada plano de informação utilizado. O resultado deste procedimento caracteriza o escoamento superficial na bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina de forma qualitativa, assim, quanto menor for o valor de cada pixel, conseqüentemente, menor é a velocidade do escoamento superficial e maior será a infiltração (**Figura 4**). Para a classificação das cartas foi utilizado o método *Natural Breaks* que visa buscar diferenças estatisticamente relevantes entre os pares adjacentes aos dados, assim, baseia-se em agrupamentos naturais inerentes aos dados (ESRI, 2016).

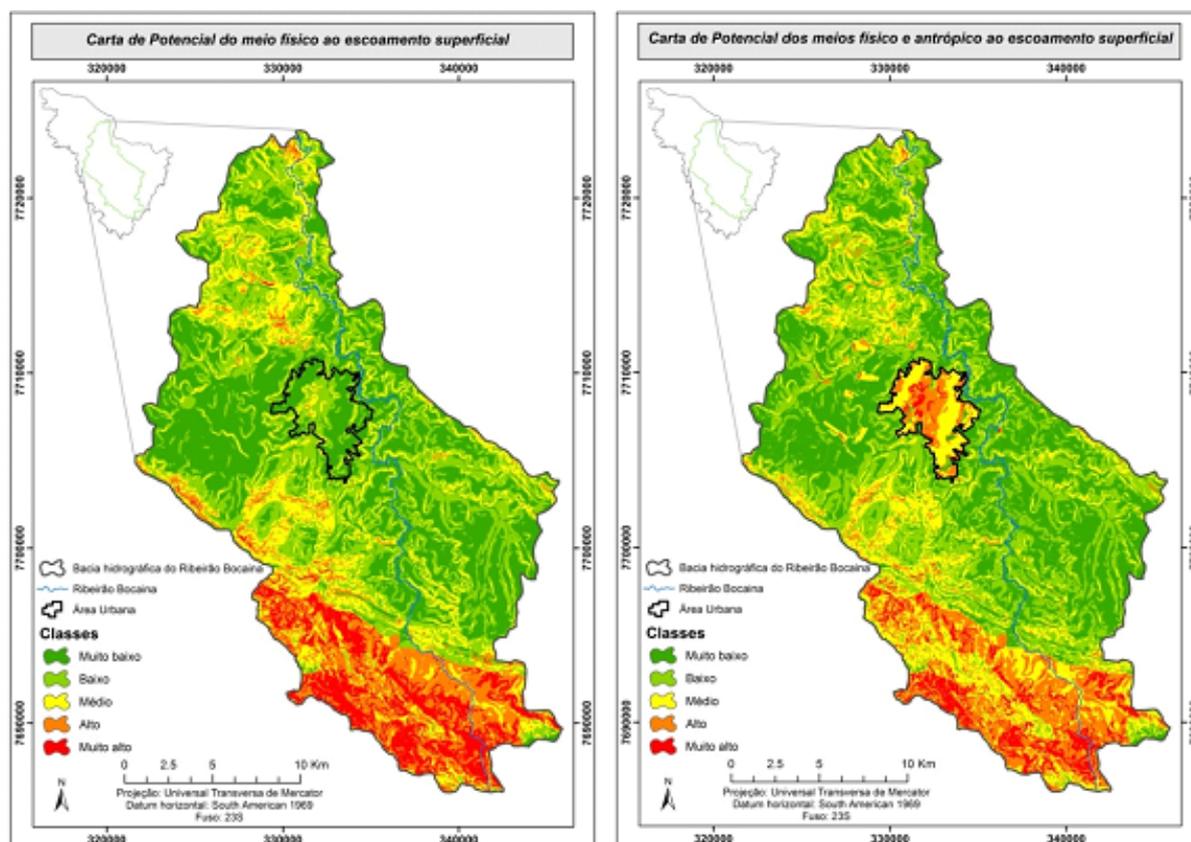


Figura 4. Carta de Potencial dos meios físico e antrópico ao escoamento superficial da bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina.

A Carta de Potencial dos meios físico e antrópico apresenta claramente a influência de uma área impermeabilizada no processo de escoamento superficial, perceptível onde está destacada a área urbana do município de Passos-MG. Sem a adição do uso e ocupação o local onde está situada a área urbana é classificado como muito baixo a baixo potencial, com pequena ocorrência da classe médio e alto potencial, já quando se considera o meio antrópico ficam evidenciadas as classes de médio a um potencial muito alto ao escoamento superficial.

No espaço urbano, a saturação de edificações e pavimentações alteram significativamente tanto a superfície topográfica, como a dinâmica hidrológica (GURNELL; LEE; SOUCH, 2007). Devido ao processo de urbanização, a impermeabilização do solo pode acontecer de maneira total ou parcial, assim, não possibilita a infiltração da água da chuva de forma eficiente, resultando no acréscimo de volume e o aumento da velocidade do escoamento superficial, que se agrupam nos arruamentos e galerias de águas pluviais (ARNOLD; GIBBONS, 1996).

Por outro lado, na cabeceira da bacia, em que as altas declividades tendem a aumentar o potencial de escoamento superficial, a consideração do uso do terreno, principalmente devido à presença de vegetação, promoveu uma diminuição nos potenciais alto e muito alto. Assim sendo, apesar da influência em áreas localizadas, não houve modificações significativas nos percentuais das diversas classes de escoamento na bacia como um todo (**Tabela 5**). Esta tabela apresenta as áreas e o percentual de áreas em cada classe, distribuídas na bacia hidrográfica, considerando tanto os atributos do meio físico como do meio antrópico.

Tabela 5. Áreas e percentual de áreas de cada classe da carta de potencial dos meios físico e antrópico ao escoamento superficial da bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina.

Classes	Meio físico		Meios físico e antrópico	
	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%
Muito baixo	146,7	32	145,4	31,7
Baixo	144,3	31,5	147,7	32,3
Médio	76,7	16,7	87,2	19,1
Alto	56	12,2	57,7	12,6
Muito alto	34,2	7,5	19,9	4,3
Área total da bacia hidrográfica = 457,9 km ²				

5. Conclusões

Este trabalho apresentou como objetivo elaborar a Carta de Potencial ao escoamento superficial para uma bacia hidrográfica, que contempla toda a área urbana da cidade de Passos-MG, utilizando atributos relacionados ao meio físico, bem como o antrópico, por meio da ponderação de pesos atribuídos aos planos de informação adotados, segundo metodologia definida por Pejon e Zuquette (1993). Deste modo, foram elaboradas duas cartas, uma que compreende somente planos de informação do meio físico, e outra que utiliza além das informações do meio físico, o uso e ocupação do solo. Com a adição do uso e ocupação pode-se perceber nitidamente que a influência deste atributo é considerável em áreas específicas, mas não alterou significativamente os potenciais de escoamento da área como um todo. No entanto, na área urbana e proximidades observou-se aumento importante do potencial de escoamento, o que pode vir a provocar inundações em partes da cidade.

Conclui-se que a aplicação desta metodologia permitiu verificar a potencialidade da área quanto a este processo, evidenciando quais os locais que demandam maiores cuidados quanto à sua ocupação, de forma a evitar o aumento do escoamento superficial e o agravamento dos problemas de inundação que a cidade já vem enfrentando. Os procedimentos metodológicos utilizados neste trabalho podem ser aplicados também na região do Pantanal, pois a área apresenta características fisiográficas que favorecem a ocorrência de inundação.

6. Referências

- ARNOLD, C. L. Jr; GIBBONS, C. J. Impervious Surface Coverage: the emergence of a key environmental indicator. **Journal Of The American Planning Association**, Chicago, v. 62, n. 2, p.243-258, jan./dez. 1996.
- COLLARES, E. G; GOMES, D. M. Geologia. In: COLLARES, E. G. **Zoneamento Ambiental das Sub-bacias Hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande: Aspectos dos Meios Físico e Biótico**. Passos: Edifesp, 2013. Cap. 6. p. 154-164.
- COLLARES, A. C. Z. B. Aspectos metodológicos: Hidrografia e caracterização morfométrica. In: COLLARES, Eduardo Goulart. **Zoneamento Ambiental das Sub-bacias Hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande: Aspectos metodológicos**. Passos: Edifesp, 2013. p. 151-162.
- DIAS, C. C. et al. Diagnóstico do uso e ocupação do solo. In: COLLARES, E. G. **Zoneamento Ambiental das Sub-bacias Hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande: Aspectos Socioeconômicos e de Uso e Ocupação do Solo**. Passos: Edifesp, 2013. Cap. 3. p. 138-153.
- DIAS, C. C. **Avaliação geoambiental da região do Médio Rio Grande**. 2013. 1 v. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geotecnologia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.
- ESRI. **How Kernel Density works**. 2016. Disponível em: <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-kernel-density-works.htm#ESRI_SECTION1_B6405A4584AA4250BE7CB071928B60F1>. Acesso em: 23 jun. 2016.

ESRI. **Data classification methods**: Natural breaks (Jenks). 2016. Disponível em: <<http://pro.arcgis.com/en/pro-app/help/mapping/symbols-and-styles/data-classification-methods.htm>>. Acesso em: 26 jun. 2016.

GURNELL, A.; LEE, M.; SOUCH, C. Urban Rivers: Hydrology, Geomorphology, Ecology and Opportunities for Change Geography Compass v. 1/5, p. 1118-1137, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Biomass**. 2016. Disponível em: <<http://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#mapa349>>. Acesso em: 26 jun. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **População 2010**. 2016. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=3147907>>. Acesso em: 30 jun. 2016.

LIMA JÚNIOR, J. C. de. **Estudo do desempenho de barreiras de geotêxtil para contenção de sedimentos carregados pelo escoamento superficial**. 2014. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Guaratinguetá, 2014.

MAGRI, R. A. F. et al. Materiais Inconsolidados. In: COLLARES, E. G. **Zoneamento Ambiental das sub-bacias hidrográficas dos afluentes mineiros do Médio Rio Grande**: Aspectos dos Meios Físico e Biótico. Passos: Edifesp, 2013. p. 171-187.

PEIXOTO, V. C. **Análise paramétrica e dimensionamento de poços de infiltração para fins de drenagem urbana**. 2011. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

PEJON, O. J. **Mapeamento Geotécnico da Folha de Piracicaba - SP (Escala 1:100.000)**: Estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação dos atributos. 1992. 224 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.

PEJON, O. J.; ZUQUETTE, L. V. Carta de potencial de escoamento superficial da folha de Piracicaba/SP. **Revista de Geociências**, São Paulo, v. 12, n. 2, p. 1015-1023, 1993.

SAATY, T. L., 1980. **The Analytic Hierarchy Process**. McGraw-Hill, New York.

SOUZA, C. A.; LANI, J L; SOUSA, J B. Origem e evolução do Pantanal Mato-grossense. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 6., 2006, Goiânia. **Anais...** . Goiânia: 2006. p. 1 - 11.