



RELAÇÃO DA IMPERMEABILIZAÇÃO COM O USO E OCUPAÇÃO DA SUB-BACIA DO CÓRREGO MACHADO EM PALMAS-TO

Benhur de Souza Sanfelici **Demori**¹. Rose Mary Gondim **Mendonça**²

(1 – Universidade Federal do Tocantins, Graduado em Engenharia Ambiental, benhurdemori@gmail.com, 2 – Universidade Federal do Tocantins, Professora da Universidade Federal do Tocantins, rosemary@mail.uft.edu.br)

Resumo: O estudo utiliza a classificação da cobertura e uso do solo feito por meio manual e supervisionada pelo método da máxima verossimilhança com fotointerpretação para quantificar as áreas permeáveis e impermeáveis em uma sub-bacia hidrográfica do córrego Machado, no município de Palmas – TO. Apresenta também a relação da densidade habitacional no ano de 2010 com base nos dados de impermeabilização, determina o coeficiente de escoamento superficial e o número curva. Destaca-se que a área impermeabilizada é de 56,55% do total de 1,09km², com densidade média de 50,07 hab/ha, com um coeficiente de escoamento superficial médio de 0,64 e o número curva de 82,84 para o tempo de retorno de 50 anos a partir dos tempos de concentração 30 minutos. O resultado demonstra um cenário de uma região urbana com impermeabilidade média. A metodologia aplicada permite que dados de caracterização espacial possam ser empregados como subsidio em planos de drenagem, para a quantificação do coeficiente de escoamento superficial e número curva. O método de correlação entre a área impermeável e a densidade habitacional foi fraca.

Palavras-chave: classificação do uso do solo, coeficiente de escoamento superficial, drenagem urbana, densidade habitacional.

RELATIONSHIP BETWEEN THE SOIL WATERPROOFING RATE WITH THE OCCUPATION OF THE MUNICIPALITY OF PALMAS - TO

Abstract: The study uses the classification of land cover and soil usage made by manual and supervised by the maximum likelihood method with photointerpretation to quantify

Artigo recebido para publicação em 04 de Outubro de 2018

Artigo aprovado para publicação em 06 de Março de 2019



permeable and impermeable areas in a subbasin of the Machado stream, in the Palmas - TO municipality. Also presents the housing density of 2010 based on waterproofing data, determining the runoff coefficient and the curve number. The waterproofed area was indicated as 56,55% of 1,09km², with an average density of 50.07 hab/ha. The mean runoff coefficient was 0,64 and the curve number 82,84 for the time return of 50 years based on the concentration times of 30 minutes. The results show a scenario of a region with a mean impermeability. The method applied permits that the spatial characterization data can be employed as subsidy in urban drainage plans for a quantification of runoff coefficient and the curve number. The method showed a weak correlation between the impermeable area and the housing density.

Keywords: Machado stream, correlation of land use, runoff coefficient, urban drainage.

RELACIÓN DE LA IMPERMEABILIZACIÓN ENTRE EL USO Y LA OCUPACIÓN DE LA SUBCUENCA DEL RIACHUELO MACHADO EM PALMAS - TO

Resumen: El estudio utiliza la clasificación de la cobertura y el uso del suelo hecho en forma manual y supervisado por el método de la máxima verosimilitud con fotointerpretación para cuantificar las áreas permeables e impermeables de una sub-cuenca hidrográfica del riachuelo Machado, en el municipio de Palmas – TO. Muestra también la relación de la densidad residencial en el año 2010 con base en los datos de impermeabilización, determina el coeficiente de escorrentía superficial y el número curva. Se resalta que el área impermeabilizada es de 56,55% del total de 1,09km², con densidad promedio de 50,07 hab/ha, con un coeficiente de escorrentía superficial promedio de 0,64 y el número curva obtenido de 82,84 para el tiempo de retorno de 50 años a partir de los tiempos de concentración de 30 minutos. Los resultados demuestran un escenario de una región con impermeabilidad mediana. La metodología aplicada permite que los datos de caracterización espacial puedan ser empleados como auxilio en los planes de drenaje urbana, para la cuantificación del coeficiente de escorrentía superficial y el número curva. El método de correlación entre el área impermeable y la densidad residencial fue débil.

Palabras-llave: Clasificación de uso del suelo, coeficiente de escorrentía superficial, drenaje urbana, densidad residencial.



Introdução

O desenvolvimento urbano está correlacionado ao aumento da densidade populacional, consequentemente ao das construções, levando à impermeabilização do solo e acarretando elevado escoamento superficial (TUCCI, 2008, p. 98). Logo, a acelerada urbanização com a deficiência de planejamento interfere diretamente na drenagem urbana tendo consequências diretas nas áreas ocupadas (MOREIRA E OLIVEIRA, 2017, p. 7859).

O uso e ocupação do solo impacta nas características de uma microbacia, o que pode ser monitorado por técnicas de geoprocessamento e de sensoriamento remoto (MOREIRA et al., 2017, p. 4986). A densidade habitacional é o principal parâmetro utilizado para caracterizar uma futura ocupação numa região em função dos diferentes tipos de usos (CAMPANA E TUCCI, 1994, apud REIS et al., 2011, p. 1).

Muitos processos estão envolvidos a um dado evento de precipitação, destacando-se aqui a intensidade de chuva, infiltração e armazenamento e o escoamento superficial (PINHEIRO RODRIGUES et al., 2013, p. 142). A área impermeabilizada devido ao avanço populacional pode ser correlacionada com a drenagem urbana. Assim segundo Tucci (1995) são obtidos o coeficiente médio de escoamento e a vazão gerada em eventos chuvosos.

O Plano Municipal de Drenagem Urbana de Palmas de 2014 cita que a região dos Jardins Aurenys I, II, III e IV, inseridos na sub-bacia do córrego Machado, tem apresentado um adensamento urbano. Este córrego sofre grandes influências como lançamento do efluente tratado da ETE Aurenys, lançamentos de águas pluviais oriundas do sistema de drenagem urbana e captação de água para utilização na irrigação de canteiros. Em virtude do exposto, o mesmo tem apresentado mudanças em seu comportamento de escoamento, particularmente em virtude do aumento da impermeabilização do solo.

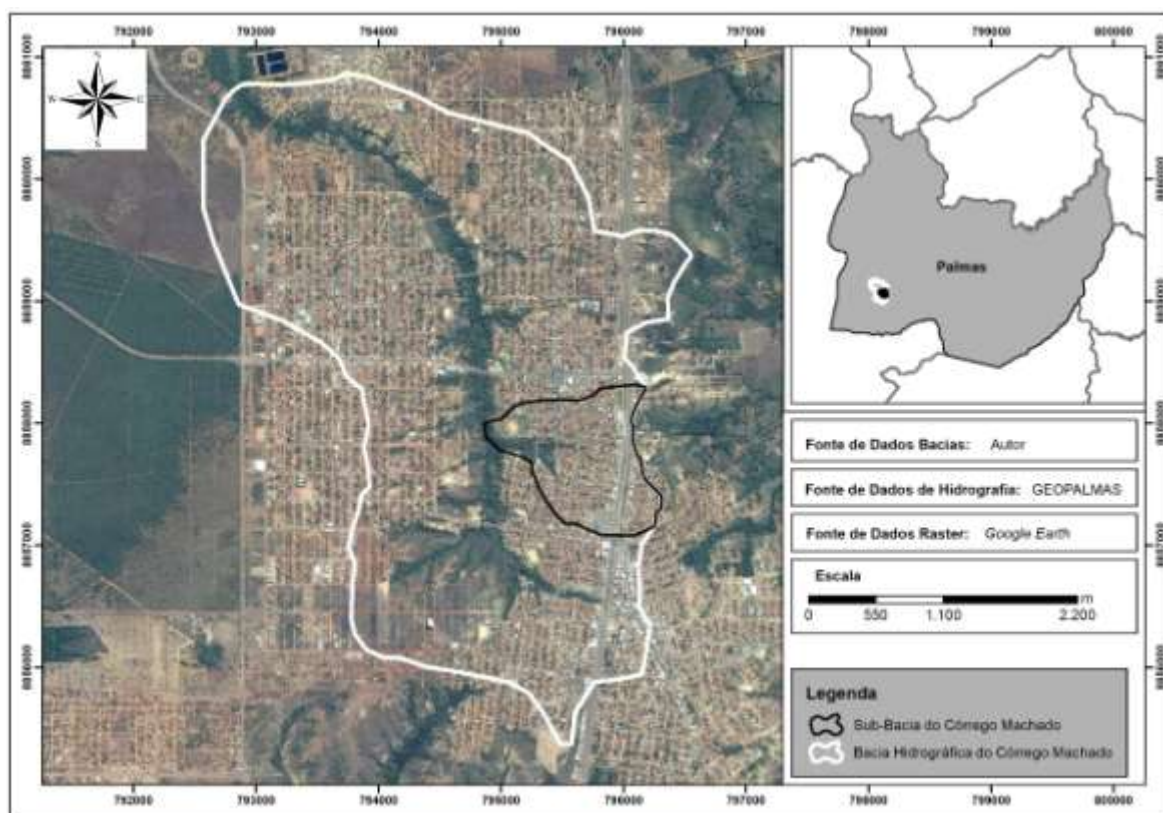
Pretende-se empregar metodologias para qualificar e estimar o uso e a ocupação em afluentes do córrego Machado, e sua consequente impermeabilização. E, além disso, analisar a influência da impermeabilização sobre o escoamento superficial na sub-bacia do Córrego Machado, localizado no Plano Diretor Sul, no perímetro urbano da cidade de Palmas.

Este local foi escolhido porque sofreu significativo aumento populacional na década de 2000-2010 devido à urbanização, espera-se que este estudo possa ser aplicado também para gestão das águas pluviais e saneamento de outros setores e municípios.

Materiais e métodos

A sub-bacia do córrego Machado (Figura 1) apresenta uma área de 14,21km² (PALMAS, 2014), nela foi selecionado um afluente (Figura 1) localizado entre as coordenadas 10°18'58,76"S e 48°18'26,21"O e 10°18'58,76"S e 48°18'26,21"O.

Figura 1– Mapa de localização da sub-bacia do córrego Machado local de estudo



Fonte: Google Earth, 2016.

O trabalho se iniciou com o levantamento no site “GEOPALMAS” sob a responsabilidade da Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano e Habitação – SEDUH e da base de dados disponibilizada no site da EMBRAPA. Por meio dessas fontes, foram compiladas as seguintes informações: censo das áreas urbanas do ano de 2010; dados no formato *shapefile* da hidrografia urbana; imagem *Google Earth* disponíveis para o ano de 2010; e modelos numéricos de terreno - imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*).

Para uma melhor visualização espacial da área, foram importadas imagens com altitude máxima de 1000 metros do banco de dados *software Google Earth* do ano de 2010,

escolhido em virtude da disponibilidade de dados censitários e das imagens do satélite, objetivando trabalhar-se com maior nível de detalhes. Adquiriu-se e georreferenciou-se cinco imagens da sub-bacia de um afluente do córrego Machado dispostas em mosaico.

As operações necessárias, empregando o programa (SIG) *ArcGIS* 10.1, foram realizadas sobre base de dados e as imagens referenciadas na Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) com Datum Horizontal SIRGAS 2000.

Na classificação de uso e ocupação do solo feito por meio das imagens baixadas e georreferenciadas, se encaminhou com as seguintes etapas: delimitação dos bairros extraída do banco de dados do GEOPALMAS; delimitação da sub-bacia; e classificação supervisionada com fotointerpretação pelo método da máxima verossimilhança conforme indicada por de Reis et al. (2011) e Rufino et al. (2015).

Delimitação da sub-bacia

A delimitação da sub-bacia hidrográfica partiu de dados numéricos, de relevo e altimetria advindos do banco de dados de imagens SRTM da EMBRAPA (FISTAROL et al., 2017). Foi adquirida a cena SC-22-Z-B.tif que englobava o município de Palmas-TO e a partir da mesma gerou-se a bacia hidrográfica, e foi extrapolada a rede de drenagem através da ferramenta *Hidrology*, por meio de seus algoritmos presentes no *Spatial Analyst* para análise hidrológica no *ArcGis* 10.1 (MOREIRA E OLIVEIRA, 2017, p. 7860). Para tanto, realizou-se o direcionamento do fluxo de drenagem para o exutório e sua conseqüente delimitação, em seguida foi feita a aquisição de parâmetros morfométricos como área, comprimento do talvegue principal da bacia (km) e declividade média do talvegue principal (m/m).

Classificação Supervisionada

Para a classificação supervisionada pelo método da *maximum likelihood classification* definiram-se as classes: Solo exposto; Vegetação; Área pública (água e ruas pavimentadas); Área Privada (telhados, edificações e cobertura de concreto) conforme preconizado por Branco et al. (2017) que indicam a necessidade do conhecimento prévio das classes de interesse.



No *software Arc Gis 10.1*, a partir da imagem georreferenciada, criou-se um *shapefile* no formato de ponto, em que foram identificadas as classes a servir de amostra para a supervisão (CRÓSTA, 1993, p. 104).

Em seguida, neste *shapefile* com o auxílio da ferramenta *Multivariate* foi gerado um arquivo que contém dados estatísticos utilizados como dados de entrada para classificação. Novamente, por meio da ferramenta *Multivariate*, ativou-se o comando *Maximum Likelihood* que correlacionou a imagem a ser classificada aos dados estatísticos. Após essa execução, o arquivo de saída é a imagem classificada (ESRI, 2011). A metodologia seguida para a determinação das áreas classificadas é semelhante a Reis et al. (2011) e Zanandrea et al. (2014).

Após a classificação supervisionada com fotointerpretação, foi utilizado o comando *eliminate* do *ArcGIS* com o objetivo de minimizar erros entre as classes conforme ESRI (2011), como os pequenos polígonos (resíduos) gerados pela classificação. Este comando fundiu polígonos com área menor que 1m² com polígonos que contêm maior área ou borda mais longa, conferiu-se visualmente e reclassificou-se de maneira manual os polígonos. Então, procedeu-se com o recorte e união dos polígonos pertencentes às classes semelhantes, tal mecanismo tem finalidade de se quantificar a área atribuída a cada classe, a ser empregada na determinação da área impermeável e densidade habitacional, na quantificação do coeficiente de escoamento superficial da região e no número curva da área de estudo.

Área impermeável e densidade habitacional

O percentual da área impermeável foi obtido conforme Equação 1 descrita por Reis et al. (2011).

$$A_i = A_\alpha + A_\beta; \quad (1)$$

Onde:

A_i - Área impermeável em porcentagem de cada bairro presente na bacia (%);

A_α - percentual de Área Pública: água, ruas pavimentadas e não pavimentadas (%);

A_β percentual de Área Privada: telhados, edificações, estacionamentos e cobertura de concreto (%).



A relação entre o percentual da área pública e a privada com a densidade habitacional dos setores/quadras da sub-bacia do córrego Machado gerou uma curva de tendência que foi plotada empregando o programa Excel (2013).

Método Racional e Número Curva

Adotou-se a quantificação e caracterização dos coeficientes do Método Racional, limitado a áreas menores de 5 km² (WILKEN, 1978) e o Método Número Curva para o comparativo entre o uso e ocupação do solo com o escoamento superficial.

Determinação do Coeficiente de Escoamento Superficial

Por meio de uma planilha eletrônica desenvolvida no *software* Excel (2013) foi possível calcular o C médio (MORAIS E SANTOS, 2017, p. 1300; TUCCI, 2000, p. 1), a partir da média ponderada entre a área preenchida por cada classe em cada setor/quadra, obtida na etapa anterior, e o C específico de cada classe compilado da literatura (Equação 2 e Tabela 1).

$$C = [(C_1 \cdot A_1 + C_2 \cdot A_2 + C_3 \cdot A_3 \dots C_i \cdot A_i) / (A_1 + A_2 + A_3 \dots A_i)] \quad (2)$$

Sendo:

C_i - Coeficiente de escoamento superficial de área específica;

A_i - Área relativa ao coeficiente C_i;

C - Coeficiente de escoamento superficial médio calculado.

Tabela 1 – Valores de C utilizados para o cálculo do C médio em cada quadra/setor.

Superfície	Coefficiente de <i>runoff</i> C
Áreas Públicas:	
Ruas Pavimentadas	0,83*
Áreas Privadas	
Edificações	0,70**
Telhado	0,85*
Cobertura de Concreto	0,88*
Vegetação:	
Gramíneas	0,13*
Árvores	0,20**
Solo exposto/compactado:	0,66***



*American Society of Civil Engineers - ASCE (1969); ** Prefeitura de São Paulo; *** Tucci (2000). Fonte: Modificado de Tomaz (2002).

Relacionamento de C com CN

Por meio da união e a aplicação da metodologia usada por Reis et al. (2011) e Estrabis (2014) que dividem o coeficiente de escoamento superficial em duas frações: permeável e impermeável aplicou-se a metodologia de Tucci (2000, p. 1-9) que relaciona o coeficiente de escoamento da superfície permeável diretamente com o número curva (CN) da fração permeável da superfície de drenagem tomando como base a equação do SCS (*Soil Conservation Service* - Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos da América) (1975). Empregando a Equação 3 (TUCCI, 2000, p. 1) obtém-se o coeficiente de escoamento superficial da área permeável da sub-bacia estudada.

$$C_p = \frac{C_1 * AP_1 + C_2 * AP_2 + \dots C_n * AP_n}{\sum AP} \quad (3)$$

Onde:

AP – Área permeável (km²);

C – Coeficiente de escoamento permeável (adimensional);

C_p – Coeficiente de escoamento superficial da área permeável (adimensional).

Foi calculado também o tempo de concentração e a intensidade de chuva da região de interesse com a finalidade de se obter a precipitação total (P) para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos (MOREIRA e OLIVEIRA, 2017, p. 7864). Nesta pesquisa a determinação do tempo de concentração (t_c) foi feita por duas metodologias: na primeira, adotou-se 30 minutos, devido ao limite de 10 a 30 minutos estabelecido por CETESB (1980), e a segunda foi por meio da Equação 4 conforme de Tucci (1995).

$$t_c = 57 * \left[\frac{L^3}{S.L.1000} \right]^{0,385} \quad (4)$$

Onde:

t_c - Tempo de concentração da chuva (min);

S - Comprimento do talvegue principal da bacia (km);

L - Declividade média do talvegue principal (m/m).



Com o tempo de concentração, calculou-se para os tempos de recorrência 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos, adotados por Palmas (2014), a intensidade de chuva de tormenta por meio da Equação 5 conforme Tucci (1995).

$$I = \left(\frac{749,97 * (T_r)^{0,104}}{(t_c + 9)^{0,702}} \right) \quad (5)$$

Onde:

T_r - Tempo de retorno (anos);

t_c - Tempo de concentração da chuva (h);

I - Intensidade de precipitação (mm/h).

Para a obtenção da altura pluviométrica (P) multiplica-se o tempo de concentração e a intensidade de precipitação, para cada tempo de recorrência, conforme a Equação 6 (TUCCI, 2000, p. 5).

$$P = I \cdot t_c \quad (6)$$

P - Altura pluviométrica total do evento (mm);

t_c - Tempo de concentração da chuva (h);

I - Intensidade de precipitação (mm/h).

Assim, se determinou o potencial máximo de retenção após começar o *runoff* (S), a partir da Equação 7 definida por Tucci (2000). Empregando a ferramenta *solver* do *software* Excel (2013), partindo do valor conhecido de C_p obtido na equação 3 e P da equação 6.

$$C_p = \frac{[(P - 0,2 \cdot S)^2]}{[(P + 0,8 \cdot S) \cdot P]} \quad (7)$$

Onde:

C_p - Coeficiente de escoamento da área permeável (adimensional);

S - Potencial máximo de retenção após começar o *runoff* (mm);

P - Altura pluviométrica total do evento (mm).

Após obter-se S, o mesmo foi utilizado Equação 8 e, assim, se determinou o CN para superfícies permeáveis (TUCCI, 2000, p. 5).

$$S = \left(\frac{25400}{CN} \right) - 254 \quad (8)$$

Sendo:

S - Potencial máximo de retenção após começar o *runoff* (mm);



CN - Número curva de *runoff* que depende do tipo de solo e da característica da superfície (adimensional).

Os resultados determinados do número curva para superfícies permeáveis foram comparados com valores descritos por Thomaz (2002) e com os valores do plano de drenagem de Palmas (2010).

Resultados e discussão

A sub-bacia estudada possui 109,07 ha ou 1,09 km² de área, o comprimento do talvegue principal da bacia é 609m e a declividade média do talvegue principal 0,0131m/m. A área obtida da sub-bacia permite a determinação do coeficiente de escoamento superficial pelo método racional segundo Willken (1978).

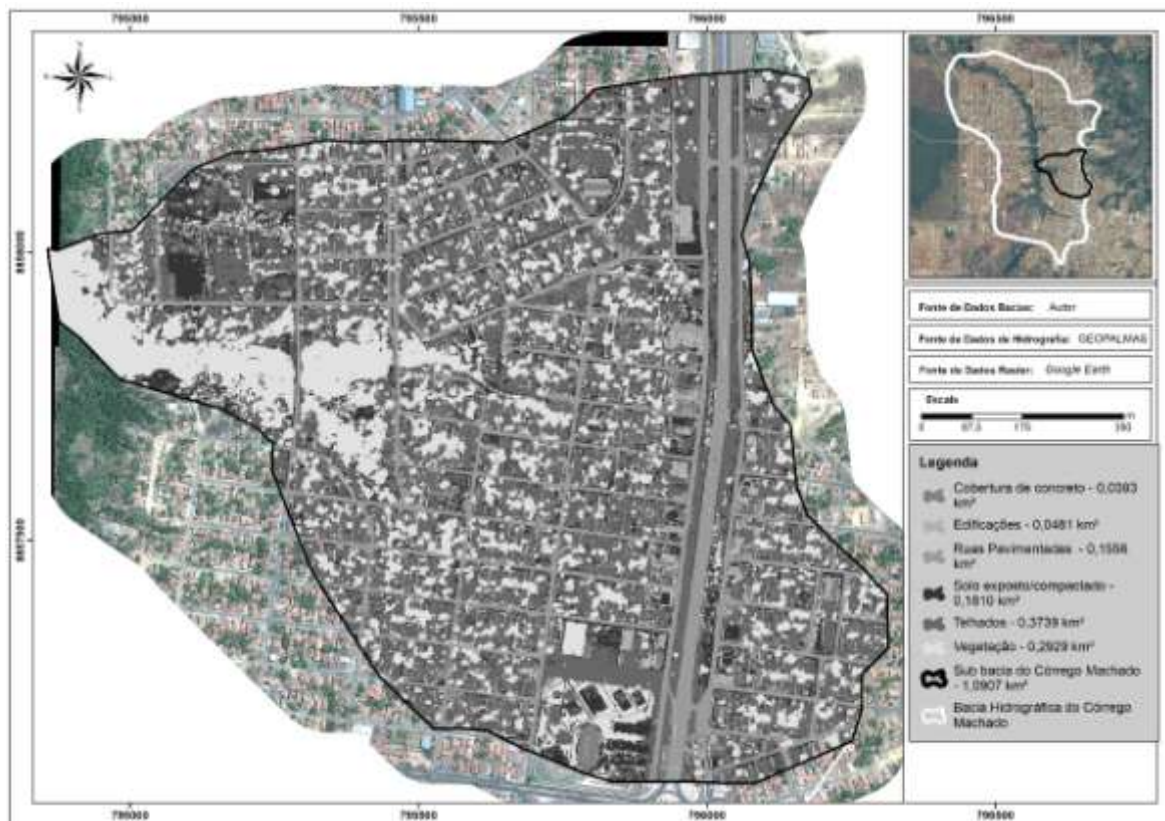
Na Figura 2 apresenta-se a classificação do uso e cobertura da terra obtida pelos métodos da máxima verossimilhança e manual delimitada na área da sub-bacia do córrego Machado.

Analisando as imagens, observa-se que a vegetação e o solo exposto se concentram próximos ao exutório da sub-bacia no córrego Machado em uma área de preservação permanente dentro das unidades de conservação do município (PALMAS, 2014, p. 28).

Destaca-se que nessa etapa existe uma confusão entre classes, como telhado e solo exposto, quando realizado pelo método da verossimilhança, por apresentarem pixel semelhante em virtude do *shapefile* de amostragem sendo tal fato também relatado por Reis et al. (2011).

Outro fator importante é a presença de sombras, representadas por pixels pretos, em trechos em que se predominavam telhados e árvores, os polígonos gerados nas regiões sombreadas foram assimilados por uma classe que não correspondia à feição correta em alguns trechos. Como, por exemplo: em regiões em que a classe correta seria “telhados” a sombra foi classificada como “vegetação”. Nos estudos de Reis et al. (2011) os mesmos relataram também a confusão de classes em região com a ocorrência de sombras, sendo feita a correção unindo polígonos próximos com características predominantes.

Figura 2 – Classificação Supervisionada com fotointerpretação da sub-bacia do córrego Machado.



Fonte – Autor.

Na Tabela 2 encontram-se descritas as classes mapeadas em quilômetros quadrados e em percentual e os coeficientes de escoamento médio obtidos. A fração impermeável da bacia de contribuição do Córrego Machado foi categorizada em área pública e a área privada, sendo que a primeira é dividida em ruas pavimentadas e a segunda em edificações, telhados e coberturas de concreto.

As classes predominantes, presentes na Tabela 2, são telhado, vegetação, solo exposto e ruas pavimentadas com 34,28%, 26,85%, 16,59% e 14,26%, respectivamente. Observa-se que a região onde se encontra maior impermeabilização se situa próxima a TO-050, com predominância da pavimentação asfáltica. Também ocorre com maior evidência a presença de edificações, como muro de concreto e calçadas, e a ocorrência da classe cobertura de concreto por se tratar de uma região comercial.



Tabela 2 – Dados em quilômetros quadrados (km²) e percentual das áreas classificadas, e valores dos Coeficientes de Escoamento Superficial obtidos.

Superfície	Área (km ²)	Percentual (%)	Coefficiente de runoff – C literatura	Coefficiente de runoff – C obtido
Áreas Públicas:				
Ruas Pavimentadas	0,16	14,26	0,83 (1)	0,13
Áreas Privadas:				
Edificações	0,05	4,41	0,70 (2)	0,03
Telhados	0,37	34,28	0,85 (1)	0,32
Cobertura de Concreto	0,04	3,60	0,88 (1)	0,03
Vegetação:				
Árvores/ Gramíneas	0,29	26,85	0,20 (2)	0,06
Solo exposto/compactado:	0,18	16,59	0,66 (3)	0,12
Total	1,09	100,00	109,07	

(1) - Segundo American Society of Civil Engineers - ASCE (1969) apud Tomaz (2002); (2) - Segundo os valores médios aos adotados pela Prefeitura de São Paulo apud Tomaz (2002); (3) – Valores de C segundo Tucci (2000) apud Tomaz (2002).

Na bacia de contribuição analisada, a área impermeável (Ai) corresponde a 0,62km² (56,55%), a área permeável (AP) é de 0,47km² (43,45%) para uma densidade habitacional média (Dh) 5.007 hab/km² ou 50,07 hab/ha.

Sendo este valor obtido muito superior ao relatado ao município em que ela se insere que é de 102,90 hab/km² conforme IBGE (2010). A densidade habitacional obtida é quatro vezes superior a determinada por Coriolano (2011), 12 hab/ha, para o Plano Diretor de Palmas.

Os dados de densidade habitacional e percentual de impermeabilização encontram-se na Tabela 3 e na Figura 3, e na Figura 4 são visualizados os polígonos de área empregados nos cálculos.

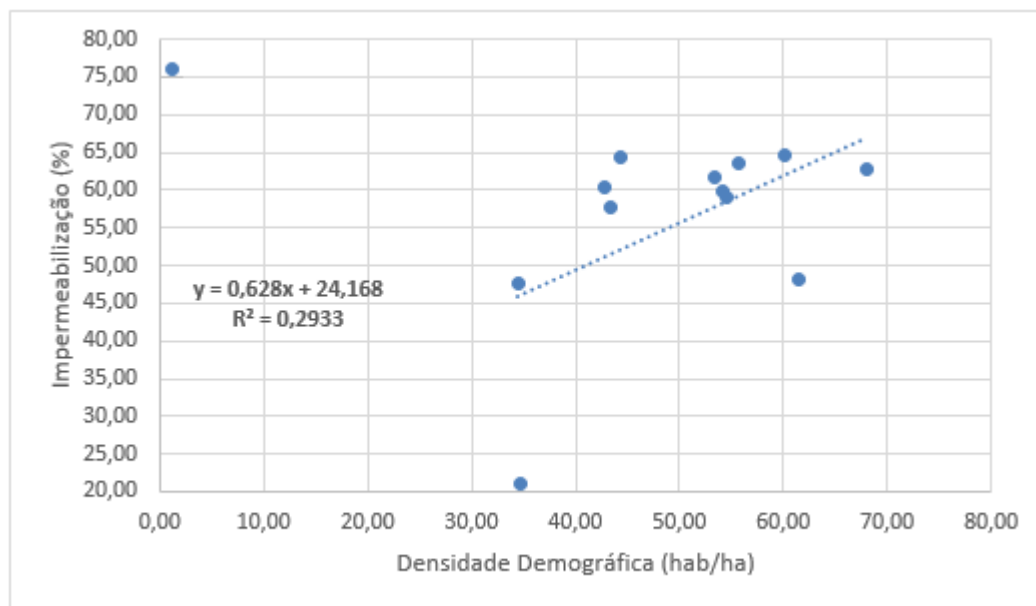
O dado de número 10 (Figura 3) apresenta densidade habitacional de 1,55hab/ha e taxa de impermeabilização com 75,46% é considerado atípico, por abranger a rodovia e sua faixa de domínio, e apresentar dados censitários de uma área rural e não urbana, portanto foi retirado para a geração da linha de tendência.

Tabela 3 – Dados de densidade habitacional e das áreas impermeáveis em %.

Polígono	Densidade Habitacional (hab/ha)	Impermeabilização (%)
1	21,17	34,76
2	60,39	42,76
3	57,72	43,30
4	63,54	55,74
5	64,46	44,28
6	62,71	68,00
7	48,22	61,43
8	61,68	53,29
9	47,72	34,42
10*	75,46	1,55
11	64,51	60,10
12	59,90	54,07
13	59,06	54,62

*Dado retirado para a geração do gráfico presente na figura 3.

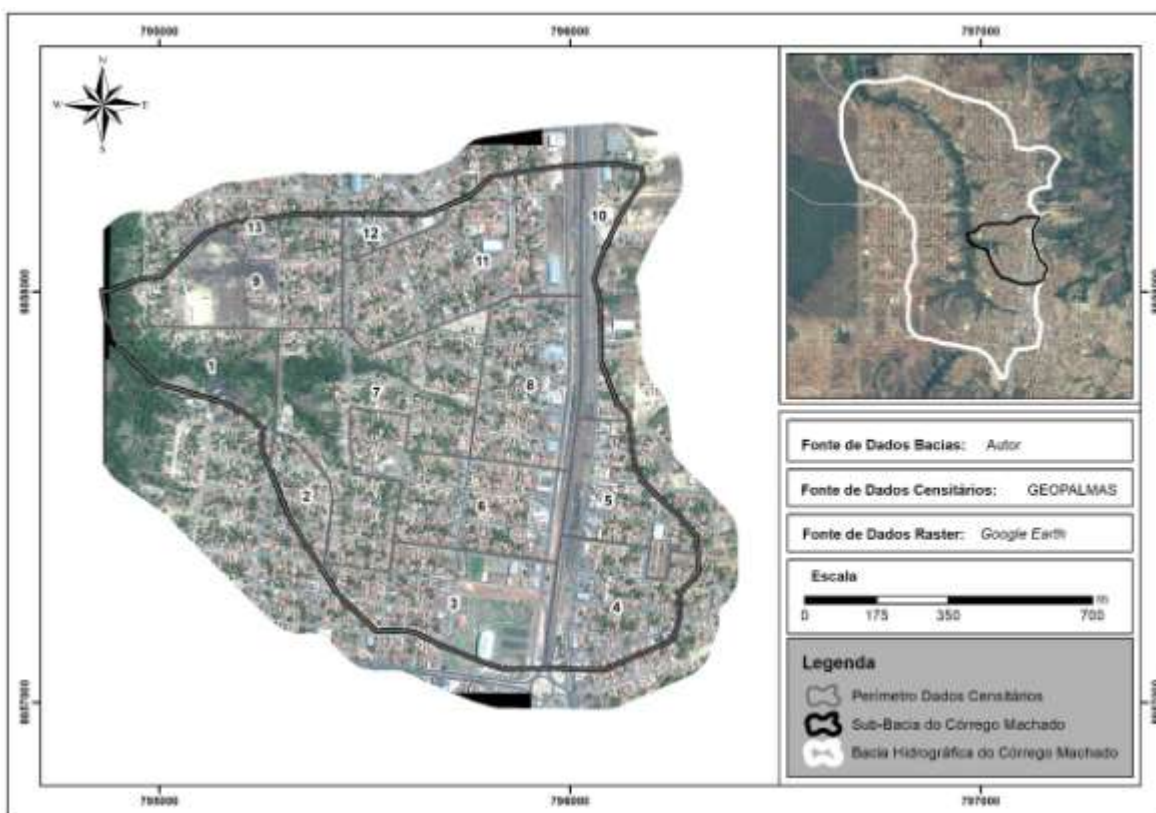
Figura 3 - Linha de tendência entre a densidade habitacional e a impermeabilidade.



Observa-se que a linha de tendência, obtida a partir dos dados censitários e a área impermeável, apresenta um coeficiente de determinação $R^2 = 0,2933$ considerado baixo e um coeficiente de correlação de $R = 0,5416$ fraco segundo Devore (2006). O coeficiente de determinação determinado foi bem inferior ao relatado por Reis et al. (2011), de $R^2 = 0,4969$, para a sub-bacia do arroio Cadena, Santa Maria – RS.

Sugere-se que o ocorrido seja devido aos dados censitários adquiridos junto à plataforma GEOPALMAS serem divididos em setores censitários que não levam em conta totalmente o perímetro das quadras individuais, lotes residenciais/comerciais e/ou bairros circunvizinhos (Figura 4).

Figura 4 - Perímetro dados censitários internos a sub-bacia de estudo.



Na tabela 2 foi obtido o valor de 0,64 para o coeficiente de escoamento superficial (C) da sub-bacia do córrego Machado por meio da Equação 1. Esse valor de coeficiente de escoamento superficial C médio da sub-bacia é semelhante ao Estrabis (2011) para uma sub-bacia de um bairro no município de Campo Grande – MS, e se correlaciona a valores referentes à feição de solo exposto (TOMAZ, 2002, p. 142) ou se enquadra em região com a presença de edificações não muito densas conforme Wilken (1978).

Na área de estudo a fração permeável (C_p) do escoamento superficial se categoriza em duas: vegetação que é composta pela quantificação das áreas ocupadas pelas gramíneas e árvores, e o solo que é dado pela superfície exposta e/ou compactada (Tabela 4).



Tabela 4 – Dados das Áreas Permeáveis em km² e ha.

Superfície	Área (km ²)	Área (ha)	Percentual (%)	Coefficiente de escoamento – permeável - C _p
Vegetação: (Árvores/ Gramíneas)	0,29	29,29	61,81	0,05
Solo exposto/compactado	0,18	18,10	38,19	0,11
Área Permeável	0,47	47,39	100%	0,16

O valor encontrado da fração permeável da área é de 0,16 e se enquadraram na classe descrita por Wilken (1978) para locais com predominância de matas com partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados, campos de esportes sem pavimentação. Conclui-se que se trata de uma região que facilita a infiltração da precipitação, em virtude do bom grau de preservação da Área de Preservação Permanente que margeia o córrego.

O tempo de concentração calculado foi de 14,44 minutos de acordo com altura, comprimento do corpo hídrico e declividade da bacia, e este está dentro do intervalo de 10 a 30 minutos em que CETESB (1980) recomenda para projetos de drenagem urbana de pequenas bacias.

Ao comparar o número curva (CN) para os diferentes tempos de retorno, observa-se uma tendência de sua diminuição com o aumento do tempo da chuva de projeto, outro ponto é que quanto menor o tempo de concentração da bacia, maior será o CN. Para a bacia em estudo o maior CN foi de 93,22 para o tempo de concentração de 14,44 min e tempo de retorno de 2 anos enquanto que o menor foi de 69,96 para tempo de concentração de 60 min e tempo de retorno de 100 anos.

Observa-se que para o T_c de 14,44 minutos o número curva encontra-se acima do valor médio obtido por Palmas (2014) utilizado no Plano de Drenagem da bacia do córrego Machado. Além disso, constatou-se que o número curva médio de 81,07 para o córrego Machado (PALMAS, 2014, p. 21) encontra-se pouco abaixo do determinado 82,84 para o tempo de duração de chuva de tormenta de 30 minutos e tempo de retorno de 50 anos.

Considerações Finais

- O método utilizado necessita de adequações com relação à matriz dos dados censitários, pois não foi possível estabelecer relação entre a densidade populacional e a área impermeável da sub-bacia estudada.



- O coeficiente de escoamento superficial de 0,64 para a sub-bacia se enquadra dentro de uma região urbanizada com baixa densidade e a presença de áreas arborizadas.
- O valor encontrado de coeficiente de escoamento superficial da fração permeável comprova um bom grau de conservação da Área de Preservação Permanente (APP) que margeia o córrego.
- Neste estudo o tempo de concentração obtido de 14,44 minutos apresenta número curva elevado, concluindo-se que o terreno urbanizado na chuva de projeto já estaria saturado, sobrecarregando o sistema de drenagem em operação.
- Outra consideração é que, após observar o valor obtido do número curva (CN) para os diferentes tempos de duração de chuva (T_c), nota-se que com o passar do tempo o escoamento superficial não permanece constante, logo a duração da chuva de projeto deve ser estabelecida com cuidado.
- Este estudo auxilia nos projetos de drenagem urbana, por meio da classificação do uso e ocupação do solo fornecendo dados para o manejo de águas pluviais urbanas.

•

Referencias

- BRANCO, V. T. A. et al. As alterações no uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Arroio Bocarra, Rio Grande do Sul, entre 2003 e 2014. In: Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto –SBSR, 2017, **Anais...** Santos: INPE, 2017. p. 7804-7811. ISBN: 978-85-17-00088-1.
- CAMPANA, N. & TUCCI, C.E.M. Estimativa de área impermeável de macrobacias urbanas. **RBE - Caderno de Recursos Hídricos**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p. 79-94, dez. 1994.
- CETESB. **Drenagem urbana: Manual de Projeto**. 2^a. ed. São Paulo : Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – DAEE/CETESB. 1980.
- CORIOLOANO, G. P. Palmas: entre o planejamento e a exclusão. **Minha Cidade**, São Paulo, ano 11, n. 122.03, Vitruvius, set. 2010
<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/minhacidade/11.122/3587>. Acesso em 25 de novembro de 2016.
- CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: IG/UNICAMP, 1993.



- DEVORE, J. L. **Probabilidade e estatística: para engenharia e ciências**. 6ª. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2006.
- ESRI 2011. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Instituto de Pesquisa de Sistemas Ambientais.
- ESTRABIS, N. V.; TELES, A.P.S.; CAVAZZANA, G.H.. Influência da impermeabilização do solo sobre o escoamento superficial em um bairro de Campo Grande – MS. In: Anais 5º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 2014, **Anais...** Campo Grande : Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2014. p. 564 – 574.
- GOOGLE EARTH IMAGES. Google Earth Pro. Disponível em <https://www.google.com/earth/> . Acesso em: 21 de dezembro de 2018.
- GEOPALMAS. Sistema de Informações Geográficas de Palmas. Disponível em: <http://geo.palmas.to.gov.br/>. Acesso em: 16 de novembro de 2016.
- MIRANDA, E. E. de; (Coord.). Brasil em Relevo. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 16 de novembro de 2016.
- FISTAROL, P. H. B.; BRANDOLFF, R.S.; SANTOS, J.Y.G. Análise das alterações ocorridas no uso e ocupação do solo da Bacia do Rio de Ondas, Estado da Bahia. In: Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto –SBSR, 2017. **Anais...** Santos: INPE, 2017. p. 3439-3446. ISBN: 978-85-17-00088-1.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2010. Disponível em: <http://censo2010.ibge.gov.br> . Acesso em: 25 de novembro de 2016.
- MORAIS, T.; SANTOS, R. L. A impermeabilização do solo no entorno da Lagoa da Pindoba – Feira de Santana (BA), 2017. In: Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto –SBSR. **Anais...** Santos: INPE, 2017. p. 1298-1305. ISBN: 978-85-17-00088-1.
- MOREIRA, M. H. et al. Análise do uso e ocupação do solo da microbacia do Ribeirão Cachoeira em Brazabrantes – GO, 2017. In: Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto –SBSR. **Anais...** Santos: INPE, 2017. p. 4985-4992. ISBN: 978-85-17-00088-1.
- MOREIRA, L. P.; OLIVEIRA, A. G. Uso de geoprocessamento para análise da influência da urbanização no escoamento superficial da bacia hidrográfica do Rio das Pedras, Salvador-BA,



2017. In: Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto –SBSR. **Anais...** Santos: INPE, 2017. p. 7859-7866. ISBN: 978-85-17-00088-1.
- NOVO, E. M. I. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 4ª. ed, rev. São Paulo : Edgard Blucher, 1992.
- PALMAS. Prefeitura Municipal de Palmas. Anexo III ao Decreto nº. 700, de 15 de janeiro de 2014 **Plano Municipal de Saneamento Básico- Volume III: Drenagem Urbana**. 2014. Palmas,TO, 15 jan 2014, Suplemento, p. 64.
- PINHEIRO RODRIGUES, E. A. et al. Aplicação do SIG na análise do padrão espacial do modelo SCS em diferentes escalas. **Geoambiente On-line**, n. 19, p. 01 – 17, jan. 2013. ISSN 1679-9860.
- REIS, J. T.; FILHO, W. P. DA SILVEIRA, A. L. Estimativa entre Densidade Habitacional e Áreas Impermeáveis na Região Urbana da Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Cadena em Santa Maria, RS. **Ciência e Natura**, [S.l.], p. 145-160, jun 2011. ISSN 2179-460X. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/9983>>. Acesso em 18 dezembro de 2018.
- RUFINO, I. A. A. et al. Estimativas de taxas de impermeabilização do solo nas bacias urbanas do município de Campina Grande-PB utilizando sensoriamento remoto, 2015. In: Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR/ INPE. Anais... João Pessoa : SBSR/INPE, 2015, p. 6505 – 6510.
- TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1995.
- TUCCI, C.E.M. **Coefficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, São Paulo, v. 5, n. 1, p. 61-68, jan./mar. 2000.
- TUCCI, C.E.M. **Águas urbanas**. Estudos avançados, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 97-112, jan. 2008.
- TOMAZ, P. A. Capítulo 2 – Método Racional. In: _____. **Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos**. 2002. Disponível em <http://pliniotomaz.com.br/livros-digitais/>. Acesso em 29/04/2016.
- WILKEN, P. S. **Engenharia de drenagem superficial**. São Paulo : Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. 1978.

ZANADREA, F. et al. Avaliação do efeito da dinâmica da expansão urbana na vazão máxima de uma bacia urbana, 2015. In: Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Anais... Brasília: **Anais...** ABRH, 2015. p. 1-8, novembro, 2015.