

Análise temporal do uso e cobertura do solo de uma bacia hidrográfica urbana do município de Londrina/PR

Mein Mieko Chang

Mestre, UEL, Brasil
mein_chang@hotmail.com

Hemerson Donizete Pinheiro

Professor Doutor, UEL, Brasil
hemersonpinheiro@uel.br

RESUMO

Este trabalho analisou as mudanças no uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do Ribeirão Cambé (Londrina/PR), entre os anos de 1975 e 2015, e avaliou como tais transformações impactam no escoamento superficial. A classificação do uso e cobertura do solo utilizou-se de imagens gratuitas dos satélites LANDSAT (1-MMS, 5-TM e 8-OLI), obtidas no site do INPE/DGI. A classificação foi realizada através do programa SPRING, onde foram criados quatro temas de uso e cobertura do solo, foram elas: urbanizada, vegetação densa, vegetação rasteira e solo exposto. O valor de CN foi obtido a partir das tabelas de CN do SCS para bacias urbanas e suburbanas. A caracterização morfológica da bacia do Ribeirão Cambé indica baixa probabilidade de enchentes. Por meio das imagens de satélite, foi possível afirmar que ocorreram mudanças significativas no uso e cobertura do solo desta bacia, tendo a área urbanizada crescido 150% em 40 anos, sendo que as maiores taxas de crescimento aconteceram nas primeiras décadas analisadas, 42%, 33%, 18% e 11%, respectivamente. Conclui-se que as alterações no uso e cobertura do solo em bacias hidrográficas refletem no escoamento superficial, evidenciando a necessidade da discussão acerca do planejamento urbano e do controle de inundações.

PALAVRAS-CHAVE: Análise multitemporal; Uso e cobertura do solo; Urbanização; Sensoriamento remoto.

INTRODUÇÃO

Segundo o IBGE (2015), o censo demográfico apontou que cerca de 84% de toda a população brasileira vivia nas cidades em 2010, enquanto que em 1950 esse número era de 36%. Esse intenso crescimento da população urbana ocorreu, em muitos municípios, sem que houvesse um planejamento adequado, fazendo com que o processo de urbanização ocorresse de forma acelerada e desordenada, isto é, praticamente sem infraestrutura urbana.

Tal situação é reforçada pelos dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) de 1992 e 2014 para domicílios particulares permanentes urbanos no Brasil, o qual apresenta que em 1992 a população que vivia nas cidades era de 75,59%, onde 79,59% das residências possuíam rede de abastecimento de água, 45,50% rede coletora de esgoto e 61,95% coleta de lixo. Já em 2014, 85,06% da população era urbana, das quais 84,67% das residências abrangidas possuíam rede de água, 56,91% rede de esgoto e 79,30% coleta de lixo (SIDRA, 2016b; IBGE, 2016c).

O crescimento urbano altera o uso e ocupação do solo, logo, tais alterações influenciam no comportamento hidrológico das bacias envolvidas. As modificações na cobertura vegetal, sejam elas naturais ou artificiais, têm influência direta na produção de sedimentos e na qualidade da água, mas, principalmente, no aumento do volume e da velocidade do escoamento superficial. Esta, por sua vez, causa o aumento da magnitude e da frequência de inundações, bem como o transbordamento de rios e lagos, trazendo, portanto, prejuízos ao meio ambiente e transtornos à população.

Na cidade de Londrina/PR, especificamente na bacia do Ribeirão Cambé, as inundações urbanas estão acontecendo com maior frequência e intensidade, sejam devido a impermeabilização do solo, ao sistema de drenagem ineficiente ou ao assoreamento do Lago Igapó. Estes fatores ficam mais evidentes nos eventos de chuvas intensas, quando ocorrem os alagamentos e transbordamentos no Lago Igapó (I, II, III e IV).

A impermeabilização do solo, causada pelo desenvolvimento da malha urbana, altera a forma como passa a ocorrer o escoamento superficial das águas pluviais. O volume, que antes da urbanização ficava retido pela vegetação e infiltrava no solo, passa agora a escoar pelas áreas impermeáveis e por canais e condutos, que aumentam a capacidade de escoamento das águas

da chuva. Assim, essas águas atingem mais rapidamente os canais de macrodrenagem (naturais ou artificiais), podendo acarretar em inundações.

Para prevenir inundações podem ser adotadas medidas estruturais e não-estruturais. Cita-se, por exemplo, o plano diretor de drenagem urbana como uma medida não-estrutural altamente recomendável, tal como o zoneamento urbano.

Modelos hidrológicos são frequentemente utilizados como forma de suporte ao manejo de recursos hídricos e para a previsão de impactos decorrentes de mudanças do uso e da ocupação do solo. Esses modelos, geralmente, descrevem os processos hidrológicos de forma matemática e modulada, onde os parâmetros utilizados são ajustados com os dados da bacia (características morfológicas).

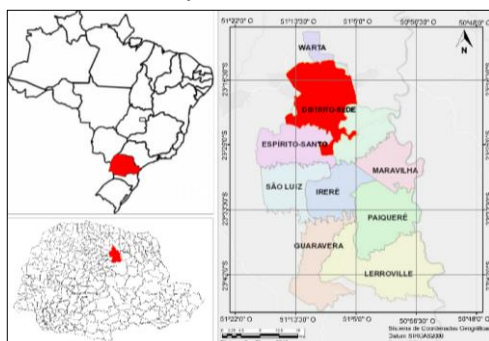
Assim sendo, esse trabalho visa avaliar a relação do crescimento de áreas urbanizadas com o aumento do volume escoado superficialmente na bacia hidrográfica do Ribeirão Cambé no município de Londrina/PR. Com o intuito de melhor avaliar tais mudanças no meio, foram também estudadas e analisadas as chuvas máximas diárias anuais da cidade, procurando verificar a veracidade da equação de chuvas intensas amplamente difundida em Londrina. Dada as últimas ocorrências de chuvas intensas na cidade que acarretaram no transbordamento do Lago Igapó, procurou-se averiguar as grandezas características (intensidade, duração e frequência) destas precipitações

Este artigo tem como objetivo a caracterizar morfologicamente a Bacia do Ribeirão Cambé, além de estimar o uso e cobertura do solo da Bacia do Ribeirão Cambé entre os anos de 1975 e 2015 através de imagens de satélite de forma a obter os valores da Curva Número (CN) para os anos analisados.

ÁREA DE ESTUDO

O município de Londrina está localizado na região Norte do Estado do Paraná (Latitude 23° 18' 37" Sul e Longitude 51° 09' 46" Oeste). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE/2015), a área do município é de 1.652,57 km². A Figura **Erro! Fonte de referência não encontrada.**1 apresenta a localização do município.

Figura 1. Localização do perímetro urbano do município de Londrina-PR.



Fonte: Autores.

Figura 2. Localização da Bacia do Ribeirão Cambé no município de Londrina/PR.



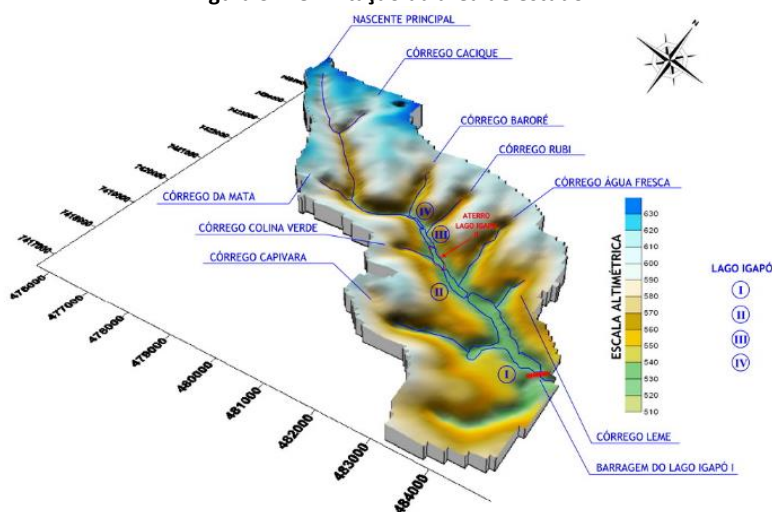
Fonte: Autores.

De acordo com Vizintim et al. (2015) a rede de drenagem de Londrina é densa e bem distribuída e é composta pelas seguintes bacias: Jacutinga, Lindóia, Cambé, Limoeiro, Cafezal e Três Bocas. Os córregos do município são todos de caráter perene e estão dispostos na direção e sentido oeste-leste, uma vez que tem como foz o Rio Tibagi (FARIA, 2005). De modo geral, a hidrografia de Londrina sofreu os impactos da intensa urbanização da cidade, que levaram a canalizações de alguns rios, além da antropização dos mananciais naturais. A Figura 2 representa a localização da bacia do Ribeirão Cambé no município de Londrina.

O Ribeirão Cambé nasce em um platô de 600m de altitude (Latitude 23°17'06,5" S e Longitude 51°14'00,0" O), no trevo das estradas Londrina/Cambé – São Paulo/Curitiba, em um percurso de 21,5 quilômetros (sentido noroeste-sudeste) de relevo homogêneo, até desaguar no Ribeirão Três Bocas. A região da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cambé apresenta uma variação de altitude de 400 a 630 metros em forma de degraus, sendo dividida em três estratos: Superior, Médio e Inferior (TAGIMA e TERABE, 2005).

Ainda, segundo Tagima e Terabe (2005), o estrato superior do Ribeirão Cambé possui extensão de 11 quilômetros, isoípsas variando entre 630 e 520m e área de aproximadamente 3.900 hectares. O estrato superior começa em Cambé e abrange parte do núcleo urbano de Londrina, constituindo os quatro lagos que formam o Lago Igapó, conforme a Figura 3.

Figura 3. Delimitação da área de estudo.



Fonte: SANTANA, CAVALARO E DE ANGELIS, 2012. (Valores de curvas de nível obtidos através da carta topográfica Sf.22-Y-D-III-4, folha Londrina. Elaborado por DALBÓ & CAINZOS, 2011.)

O Ribeirão Cambé tem em sua totalidade 25 afluentes, dois estão entre a nascente e o Lago IV, seis estão na extensão do complexo do Lago Igapó (I, II, III e IV) e após a barragem do Lago Igapó I, recebe mais 17 afluentes.

As classes de solos predominantes em Londrina são, de acordo com classificação feita por Barros et al. (2015), Latossolo Vermelho Eutroférico, Distroférico e Aluminoférico; Nitossolo Vermelho Eutroférico e Distroférico; Chernossolos e Litossolos.

MATERIAL E MÉTODO

Inicialmente foi realizada a delimitação hidrográfica da bacia e o levantamento de dados das características morfológicas, tais como: área de drenagem, perímetro, extensão do curso principal, declividade da bacia e cotas altimétricas.

Na segunda etapa foi realizada uma estimativa multitemporal do uso e cobertura do solo para os 40 anos analisados (1975 a 2015) através de imagens de satélite, com a quantificação percentual das áreas para cada tema estabelecido (água, urbanização, vegetação densa, vegetação rasteira e solo exposto). A etapa seguinte consistiu na definição do coeficiente Curva Número (CN), do modelo do SCS, para as diferentes condições de uso e cobertura do solo, onde foram obtidos com base em tabela gerada através de média ponderada.

Os valores dos parâmetros analisados para a caracterização geomorfológica da bacia foram obtidos com base na delimitação da bacia hidrográfica e do mapa temático da hidrografia do município de Londrina (PR). O limite da bacia hidrográfica do Ribeirão Cambé foi realizado com auxílio das cartas topográficas da Diretoria de Serviço Geográfico do Departamento de Engenharia e Comunicações do Ministério do Exército (DSG). A carta que serviu para fazer o recorte do limite da bacia para análise encontra-se na folha SF.22-Y-DIII-4 MI-2758/4 (ITCG, 2016). Para a aquisição dos dados da bacia foi utilizado o programa AutoCAD do Autodesk.

No estudo foi empregada uma sucessão temporal de imagens dos satélites LANDSAT relativos a quarenta anos, de 1975 a 2015, com intervalos de 10 em 10 anos, com o intuito de estimar a área ocupada por distintos usos do solo. Para a classificação do uso e cobertura do solo foi utilizado o programa SPRING 5.3. Para o desenvolvimento desta etapa adotou-se a seguinte sequência: (1) seleção das imagens de satélites (1975-2015); (2) georeferenciamento das imagens; (3) geração de máscaras; (4) composição colorida (RGB); (5) Classificação do uso e ocupação do solo; (6) retroanálise e (7) obtenção do mapa de uso e cobertura do solo (1975 a 2015).

Os dados vetoriais e matriciais importados para o SPRING foram o de limite da bacia hidrográfica e da planta contendo os lotes da cidade de Londrina/PR, que era georreferenciada em CAD, tal que essa foi utilizada para georreferenciar a imagem de satélite.

As imagens dos sensores multiespectrais LANDSAT foram obtidas gratuitamente no site de Catálogo de Imagens da Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DGI/INPE, 2016). Procurou-se utilizar imagens dos mesmos períodos do ano, mas o cuidado principal foi com a presença de nuvens, a fim de evitá-las. A Tabela 1 apresenta os satélites utilizados, as datas de passagem e as bandas multiespectrais utilizadas.

Tabela 1. Imagens de satélite utilizadas.

Data		Satélite (sensor)	Órbita/ponto	Bandas
1975	28 de Agosto	LANDSAT-1 (MSS)	238/076	B4, B5, B6
1985	04 de Maio	LANDSAT-5 (TM)	222/076	B3, B4, B5
1995	04 de Maio	LANDSAT-5 (TM)	222/076	B3, B4, B5
2005	09 de Abril	LANDSAT-5 (TM)	222/076	B3, B4, B5
2015	17 de Dezembro	LANDSAT-8 (OLI)	222/076	B4, B5, B6

Fonte: AUTORES.

A etapa de aquisição das imagens foi procedida, no software SPRING, pelo georreferenciamento das imagens de satélites através da utilização da planta do município de Londrina/PR. Em seguida realizou-se a geração das máscaras referentes ao delineamento da bacia hidrográfica do Ribeirão Cambé, que foi executada a partir da importação do arquivo vetorial do polígono da bacia para o software.

Seguiu-se pelo processamento digital das imagens (PDI), o qual foram elaboradas as composições falsa-cor (RGB). Esse tratamento consiste em selecionar três bandas espectrais e atribuir a cada uma delas uma das cores primárias (R=Vermelho, G=Verde e B=Azul), bem como efetuar o ajuste do histograma para realçar o contraste visual.

Desta forma, para o sensor MSS do LANDSAT-1, foi definida a composição B6-Vermelho, B5-Verde e B4-Azul, para os sensores TM do LANDSAT-5 definiu-se B5-Vermelho, B4-Verde e B3-Azul. Já para o sensor TM do LANDSAT-8, a composição realizada foi: B6-Vermelho, B5-Verde e B4-Azul.

Para apurar a interpretação dos dados obtidos no SPRING foram realizadas visitas em campo, sendo observados os usos e as ocupações do solos nas proximidades da nascente e do exutório (a barragem do Lago Igapó I). No caso das datas anteriores (1975, 1985, 1995 e 2005), estas foram analisadas a partir das imagens dos levantamentos aerofotogramétricos que estão disponíveis no site da Prefeitura de Londrina e na ferramenta do Google Earth de Imagens Históricas (2005).



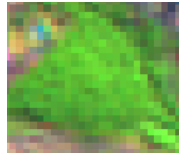
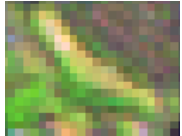

No SPRING, foi realizada a classificação supervisionada das imagens empregando o algoritmo classificador de Máxima Verossimilhança (MAXVER), com limiar de aceitação de 100%. Foram executadas as segmentações das imagens analisadas, pelo processo de crescimento de regiões, o qual cada imagem tinha valores diferentes de Similaridade e Área de pixel, a fim de conferir maior veracidade na etapa de classificação. Durante a etapa de treinamento foram selecionadas e agrupadas as regiões de mesmas classes de uso e ocupação do solo na imagem.

Assim, foram elaborados os mapas temáticos da evolução multitemporal do uso e ocupação do solo para os anos analisados, 1975, 1985, 1995, 2005 e 2015, para os quais todos os procedimentos escritos anteriormente foram efetuados.

Para uniformizar as classes temáticas para os 40 anos analisados, foi criada uma legenda única, com caráter genérico, desta forma facilitaria a integração das informações, tal qual para quantificar e qualificar as mudanças ocorridas na área. A interpretação das imagens foi realizada através da análise da textura (impressão de rugosidade), da cor, da forma, do tamanho, da localização e do contexto (Tabela 2). Foram criados cinco temas ou classes para a classificação das imagens, dos quais quatro são de uso e cobertura do solo (urbanização, vegetação densa, vegetação rasteira e solo exposto) e da água.

Pelo exposto nos parágrafos anteriores, concretizou-se a classificação multitemporal do uso e cobertura do solo, pelo uso de imagens atuais e antigas. Com isso foi possível a análise da evolução do uso e cobertura do solo, através da comparação das imagens e quantificação dos temas.

Tabela 2. Unidades de mapeamento

Unidade de mapeamento	Padrões característicos de interpretação no terreno	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo de uma composição colorida
Água	Lagos e córregos	Padrão de cor: azul escuro Textura: lisa Forma: irregular	
Urbanizada	Áreas construídas, seja por edificações de multipavimentos, lotes com construções residenciais, comerciais ou industriais. Estão inseridas regiões com alta taxa de impermeabilização	Padrão de cor: marrom/preto Textura: rugosa Forma: irregular	
Vegetação densa	Área de vegetação de fundo de vale e bosque, ou seja, zonas de vegetação densa, cuja característica é uma cobertura muito permeável	Padrão de cor: verde Textura: rugosa Forma: irregular	
Vegetação rasteira	Área cujo uso é de zonas cultivadas, pastagens e campos de vegetação rasteira, com permeabilidade do solo inferior a de vegetação	Padrão de cor: verde claro Textura: levemente rugosa Forma: levemente irregular	
Solo exposto	Área desprovida de revestimento vegetal	Padrão de cor: rosa claro Textura: lisa Forma: regular/irregular	

Fonte: AUTORES.

Para que fosse possível a obtenção do coeficiente CN (curva número) para a utilização no Método do SCS, foi necessário a utilização de tabelas próprias do método. Essas iniciam a classificação do solo a partir de suas características e capacidade de infiltração e do uso e cobertura, além da condição média de umidade antecedente, classificando em grupos A, B, C e D, tais tabelas podem ser encontradas facilmente na literatura, especialmente em Porto; Setzer, (1979); Porto, (1995) e Tucci et al, (1993), consultadas para este estudo.

Conforme elucida Tomaz (2011), a classificação dos tipos de solo é de fácil entendimento, uma vez que descrevem as características do solo apresentado pelo método do SCS. O parâmetro CN também depende de outro fator, que é a capacidade mínima de infiltração no solo, que varia, segundo McCuen (1989), de 7,62 a 11,43 mm/h para solos do grupo A; de 3,81 a 7,62 mm/h para solos do grupo B; de 1,26 a 3,82 mm/h para solos do grupo C e de 0 a 1,27 mm/h para solos do grupo D.

As condições médias de umidade antecedentes do solo são de grande importância, uma vez que o solo poderá se encontrar em condições normais (II) ou muito seco (I) ou muito úmido (III), portanto são feitas correções aos valores tabelados para as diferentes situações em relação à média. As tabelas, para a obtenção do número CN, referem-se às condições normais,

existem tabelas que fornecem ajuste para as demais condições de umidade (I e III) que se deseja representar (TUCCI, 2009).

A aplicabilidade do método do SCS para bacias com diferentes tipos de ocupações faz com que este método seja o mais utilizado para a obtenção do escoamento superficial, apresentando resultados confiáveis. Assim, no caso de bacia com diferentes tipos de uso e ocupação (bacia mista), deve-se fazer uso de média ponderada para a obtenção do CN médio, adotando como fator de ponderação as áreas correspondentes a cada valor de CN (TUCCI, 2009). A expressão usada para uma bacia mista é mostrado na Equação 1.

$$CN_m = p \cdot CN_p + i \cdot CN_i \quad (1)$$

Onde: CN_m é a curva número para ocupação mista; p é a fração permeável da bacia; CN_p é o número da curva da parcela permeável; i é a fração impermeável da bacia ($i = 1 - p$); e CN_i é igual a 95 (valor admitido).

Com base nos elementos apresentados anteriormente, foram criados valores de CN para as unidade de mapeamento estabelecidas na classificação realizada no SPRING, ou seja, para os temas urbanização, vegetação densa, vegetação rasteira e solo exposto.

O grupo de solo, a partir da classificação feita pelo SCS, que melhor se adequa à região de Londrina, de acordo com as características geológicas é o grupo C. Isso se deve ao fato do solo local ser bastante poroso e com fortes características de solo laterítico, ou seja, ter alta porcentagem de argila e com profundidade variável da camada (CAVALCANTE et al., 2007). A condição média de umidade antecedente do solo considerada foi a condição II, em que a umidade da capacidade de campo do solo corresponde à situação média.

Com os temas estabelecidos na classificação do uso e cobertura do solo, os valores de $CN_{médio}$ foram determinados através da média ponderada dos valores de CN para bacias urbanas e suburbanas a partir das tabelas apresentadas em Tucci (2009), do grupo de solo e da umidade antecedente (Tabela 3).

Tabela 3. Ponderação de CN por tipo de utilização e cobertura do solo.

Utilização ou cobertura do solo	Ponderação	CN médio
Urbanizada	20% Zonas comerciais e de escritórios; 60% Lotes residenciais com área impermeável de 65%; 10% Asfaltadas e com drenagem de águas pluviais; 10% Parques de estacionamentos, telhados, viadutos, etc.;	92
Vegetação Densa	25% Bosque ou zonas com cobertura ruim; 75% Florestas: cobertura boa;	72
Vegetação Rasteira	20% Zonas cultivadas: sem conservação do solo; 30% Zonas cultivadas com conservação do solo; 30% Pastagem ou terrenos em más condições; 20% Prado em boas condições;	81
Solo Exposto	100% Baldio em boas condições;	74

Fonte: Autores

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A bacia do Ribeirão Cambé, no município de Londrina/PR, é de 2ª ordem pelo Método de Sthraler, indicando ser pouco ramificada, tem área de 29,95 km² e perímetro de 27,14 km. O comprimento do canal principal é de 11,25 km, com uma rede de drenagem total de 24,09 km. A densidade de drenagem (Dd) é de 0,80 km/km², indicando que a bacia possui uma boa capacidade de drenagem, este é um importante fator pois indica o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem de uma bacia.

O coeficiente de compacidade (kc) observado foi de 1,39, segundo Villela e Mattos (1975), um coeficiente mínimo igual a uma unidade corresponderia a uma bacia circular e com tendências de maiores enchentes, logo para uma bacia alongada seu valor seria significativamente superior a 1, com menores riscos de enchentes. Assim, pode-se interpretar que esta bacia tem média probabilidade de enchentes, pelo valor estar entre 1,25 e 1,50.

A bacia do Ribeirão Cambé tem fator de forma (kf) de 0,24, que é considerado baixo, indicando que a bacia tem formato estreito e longo, sendo menos sujeita a enchentes, pois há a menor possibilidade de chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda sua extensão. Da mesma forma, tem-se que o índice de circularidade (Ic) da bacia é de 0,51, esse valor indica que o escoamento é moderado e há pequena probabilidade de cheias rápidas. Os demais parâmetros são apresentados na Tabela 4.

Tendo o relevo forte influência sobre os fatores hidrológicos, uma vez que a velocidade do escoamento superficial e, conseqüentemente, o tempo de concentração da bacia são determinados pela inclinação do terreno, tem-se que a declividade do curso principal é de 0,71% (altitude da nascente do curso principal é de 600m). Conforme a classificação do IBGE (2015b), essa bacia hidrográfica pode ser considerada de relevo plano, já que sua declividade é inferior a 3%. As características deste relevo é possuir a superfície de topografia lisa ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos (IBGE, 2015b).

Tabela 4. Parâmetros morfológicos da Bacia do Ribeirão Cambé.

Parâmetro	Símbolo / Equação	Unidade de medida	Resultados
Área	A	km²	29,95
Perímetro	P	km	27,14
Comprimento do canal principal	L	km	11,25
Comprimento total dos cursos	L_t	km	24,09
Declividade do curso principal		%	0,71
Altitude Máxima	-	m	630
Altitude Mínima	-	m	520
Ordem da Bacia	-	-	2ª Ordem
Coeficiente de Compacidade	$K_c = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$	-	1,39
Fator de Forma	$K_f = \frac{A}{L^2}$	-	0,24
Índice de Circularidade	$IC = \frac{12,57 \cdot A}{P^2}$	-	0,51
Densidade de Drenagem	$D_d = \frac{L_t}{A}$	km/km²	0,80

Fonte: Autores

Os índices Kc, Kf, IC e Dd foram calculados segundo metodologia proposta por Christofolletti (1981).

A área de drenagem da bacia hidrográfica do Ribeirão Cambé está compreendida entre as altitudes 630 e 520 m, como mostra a Figura 3.

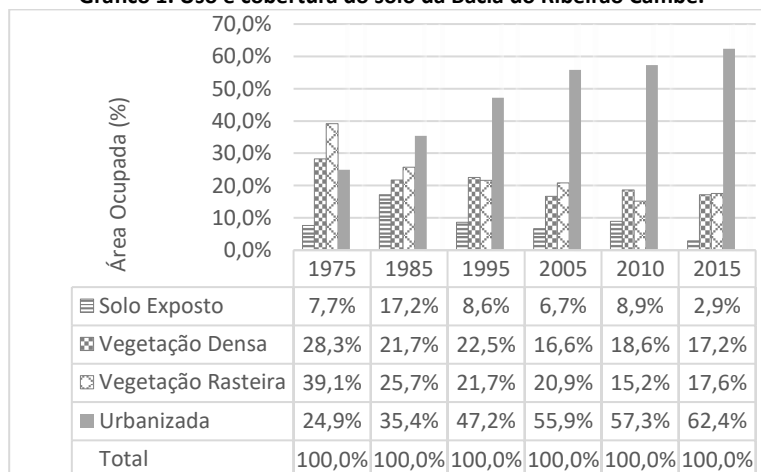
Para a classificação do uso e cobertura do solo, a utilização das imagens dos satélites LANDSAT (1, 5 e 8), aliadas às técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto utilizadas, mostraram-se eficientes para atingir um dos objetivos propostos por esta pesquisa. Tais ferramentas possibilitaram o acompanhamento da dinâmica da modificação do uso e cobertura do solo ao longo do período analisado (1975, 1985, 1995, 2005 e 2015) na bacia hidrográfica do Ribeirão Cambé.

Sabendo que a resolução espacial dos sensores TM e OLI é de 30x30m e do MSS é de 80x80m, pode-se notar que se tratam de imagens de média e baixa resolução e qualidade, respectivamente. Desta forma, a classificação do uso e cobertura do solo foi realizada com poucos temas, apenas quatro, dada a dificuldade em diferenciar áreas com características semelhantes. Foram escolhidos estes sensores e satélites devido a gratuidade na aquisição.

Os mapas temáticos foram gerados no software SPRING para os anos analisados, bem como o quantitativo de área de cada um dos temas estabelecidos: água, vegetação densa, vegetação rasteira, urbanizado e solo exposto. As Figuras 4 (a), (b), (c) e (d) apresentam os mapas temáticos de uso e cobertura do solo.

Através do Gráfico 1, que fornece a porcentagem das áreas ocupadas de cada tema de uso do solo, é possível notar que, ao longo dos anos, ocorreu um aumento gradativo da área urbana, contrapondo às áreas de vegetação densa e rasteira e de solo exposto. A área urbana teve um crescimento de 150% em 40 anos, já a de vegetação rasteira teve uma redução de 55%, assim como a de vegetação densa que foi de 40% no mesmo período.

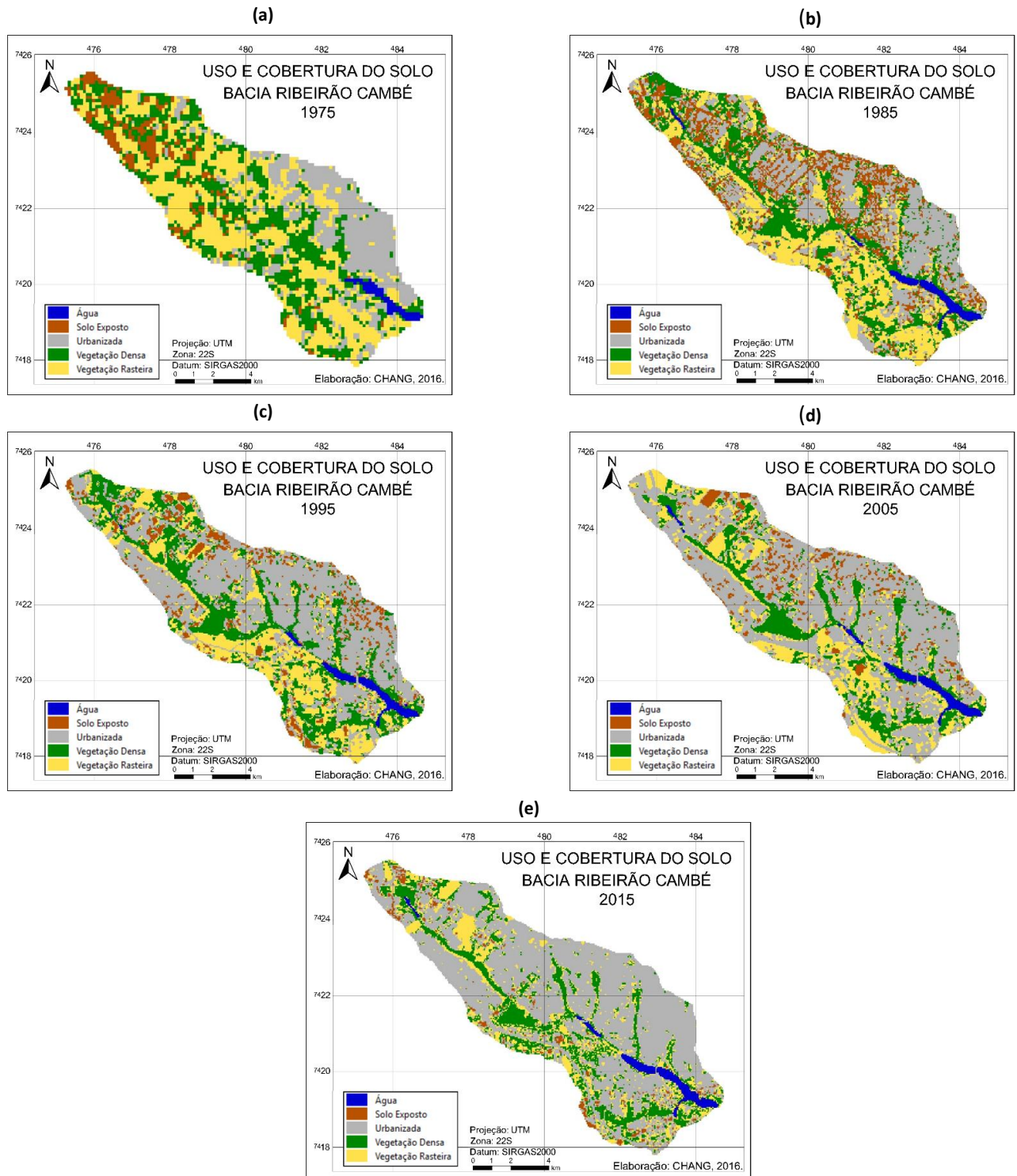
Gráfico 1. Uso e cobertura do solo da Bacia do Ribeirão Cambé.



Fonte: Autores.

Os valores de solo exposto variaram constantemente ao longo dos anos em decorrência das mudanças dos usos do terreno. Um dos fatores pode ser a rotação de culturas, visto que a atividade rural tem grande importância para a economia da região. Outra causa dessa variação pode ser por conta da limpeza do terreno para a construção de edificações.

Figura 4. Mapa temático de uso e cobertura do solo



Fonte: Autores.

Conforme Archela et al. (2016), na década de 1960 a população londrinense apresentou seus mais elevados índices de urbanização, uma vez que a cidade passou a receber indústrias, se tornando polo regional, econômico, cultural e de serviços. Tal expansão ocorreu até o leste da bacia do Ribeirão Cambé (próximo aos Lagos I e II), uma vez que o crescimento da área urbana na cidade ocorreu de forma radial a partir do quadrilátero central.

Entre 1970 e 1980 a cidade acolheu mais 100 mil novos habitantes, desta forma, percebe-se o início da transformação da região leste da bacia. Simultaneamente, tem-se o crescimento próximo à nascente do Ribeirão, na cidade de Cambé, como mostra a Figura 4 (a).

Na Figura 4 (b), nota-se a modificação do uso e cobertura do solo no restante do lado leste da bacia, região sudeste. Já do lado oeste da bacia (noroeste), nos anos de 1980 iniciava-se a “periferização” desta área, que se estabilizou em meados dos anos 90. Hoje esta área é conhecida pelos bairros Sabará, Sabará II, Olímpico, Conjunto Habitacional João Turquino e Jardim Maracanã. A “periferização”, segundo Barros (1998 apud DE PAULA et al., 2013), é responsável pela formação de extensos “vazios urbanos” que contribuíram para o processo de conurbação. O crescimento da área urbanizada em relação a década anterior foi de 42%.

Nos anos de 1995 a 2005, conforme as figuras apresentadas, ocorreu a ocupação por algumas construções de forma isolada no restante da bacia, resultando em um crescimento de 33% da área urbanizada. A ocupação da região sudoeste se intensificou no início dos anos 2000 com a construção do Shopping Catuaí, cujo resultado foi a valorização do bairro Gleba Palhano. Como resultado houve um crescimento da área urbana na bacia entre 1995 a 2005 de 18%.

A ocupação da região noroeste da bacia, o bairro Gleba Palhano, ocorreu muito rapidamente entre os anos de 2010 e 2015, ano em que também ocorreu no cenário nacional o *boom* do mercado imobiliário, contribuindo ainda mais para esse crescimento. Em números, o crescimento da área construída nesse período, entre 1995 e 2015, foi de 11%.

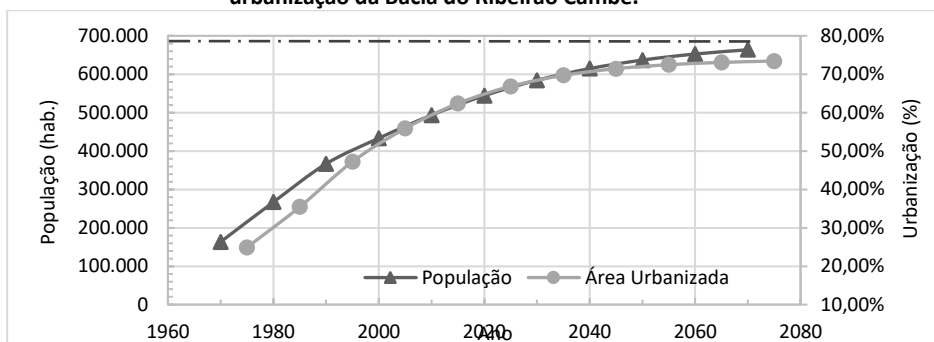
De acordo com De Paula et al. (2013), o crescimento da população alterou as características da ocupação territorial da cidade, definindo expressiva segregação sócio-espacial. Um exemplo é o bairro da Gleba Palhano, que possui apenas edificações comerciais e residenciais de médio-alto e alto padrão. Isso se deve a crescente especulação imobiliária da época que impulsionou o surgimento deste tipo de ocupação.

Conforme os dados do SIDRA (2016a), a população urbana da cidade de Londrina/PR triplicou em 40 anos (Gráfico 2). Tal fato corrobora os valores obtidos nas análises multitemporais do uso e cobertura do solo do Gráfico 1. Demonstrando que a ocupação da bacia ocorreu em conjunto com o crescimento populacional da cidade.

Entre 1970 e 1980 o crescimento populacional urbano do município de Londrina (PR) foi de 63%, entre 1980 e 1991 de 37%, entre 1991 e 2000 de 18% e entre 2000 e 2015 de 14%. Tais valores acompanham a expansão da área urbanizada na bacia. Atualmente a variação do índice de ocupação da bacia se encontra abaixo desse percentual de crescimento populacional, indicando que a cidade cresce também em outras regiões.

Por meio do modelo de crescimento logístico foram obtidas as projeções para os percentuais de áreas urbanizadas tal como para o crescimento populacional. Para a urbanização, o valor de saturação foi de 73,94%, já para o crescimento populacional, o valor tende a 687.289 habitantes. O Gráfico 2 apresenta as curvas de crescimento e as a reta de saturação.

Gráfico 2. Comparação entre o crescimento populacional urbano do município de Londrina/PR e o crescimento da urbanização da Bacia do Ribeirão Cambé.



Fonte: Autores.

Através do Gráfico 2 é possível verificar que a curva que indica o crescimento populacional e o de percentual de área urbanizada praticamente se sobrepõem. Também é possível notar que, tanto a urbanização da bacia quanto o crescimento populacional já caminham para a proximidade da saturação.

É necessário salientar que tais valores são probabilísticos, que matematicamente tendem a estes valores, mas há a possibilidade de tais valores se modificarem em razão de mudanças no meio, no caso, conjunturas políticas, econômicas, ambientais e sociais, para o caso do crescimento populacional. Já em relação às áreas, tais valores podem se modificar com a especulação imobiliária como também com mudanças no zoneamento de bairros da bacia.

O $CN_{\text{médio}}$ final é resultante da multiplicação da porcentagem de cada tipo de utilização e cobertura do solo (apresentado no Gráfico 1) por seu respectivo valor de $CN_{\text{médio}}$ obtido através da Tabela 3, e por fim a somatória destes valores. Essa operação foi realizada para todos os anos analisados (1975 a 2015). Pode-se verificar, através da Tabela 5, que o valor de $CN_{\text{médio}}$ final aumenta no decorrer dos anos analisados.

Tabela 5. $CN_{\text{médio}}$ final por ano analisado da Bacia do Ribeirão Cambé.

Tema	1975	1985	1995	2005	2015
Urbanizada	22,9	32,6	43,4	51,4	57,4
Vegetação Densa	20,3	15,6	16,2	12,0	12,3
Vegetação Rasteira	31,7	20,8	17,5	16,9	14,2
Solo Exposto	5,7	12,7	6,4	4,9	2,2
$CN_{\text{médio}}$	80,7	81,7	83,6	85,2	86,1

Fonte: Autores.

O crescimento do $CN_{\text{médio}}$ se explica pelo fato de aumentar as áreas urbanizadas, através de edificações residenciais e comerciais e abertura de ruas pavimentadas, e pela redução das áreas verdes, ou seja, de vegetação densa e rasteira. O valor de CN é tanto maior quanto maior for a impermeabilização (limite superior - 100), paralelamente, menor o valor de CN para áreas mais permeáveis (limite inferior).

Pode-se observar que a variação de $CN_{\text{médio}}$ em relação ao crescimento da área urbana na bacia é pequena, tal que o aumento da área urbanizada em relação a década anterior é de 42%, 33%, 18% e 12%, respectivamente, para o $CN_{\text{médio}}$ é de 1,3%, 2,2%, 1,9% e 1,1%. Isso evidencia a importância da conservação da vegetação (rasteira e densa) para o controle do valor de CN , pois quanto maior a área permeável, menor é o valor do coeficiente.

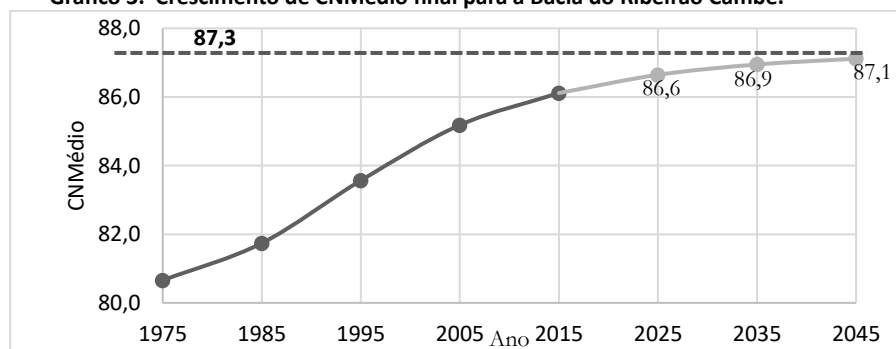
A bacia tem um limite natural de saturação, onde não haverá mais mudanças no uso e cobertura do solo, seja por conta da própria saturação populacional, seja por causa da especulação imobiliária. O fato é que, em um dado momento, cessarão ou terá grande redução,

as modificações no uso e cobertura do solo. Assim, através da fórmula de crescimento logístico, tem-se que o valor de CN tende assintoticamente a um valor de saturação. Este valor de saturação para a bacia analisada é de 87,3. A curva de crescimento do valor de CN_{médio} final é apresentada no Gráfico 3.

O Gráfico 3 ilustra a variações do valor de CN_{médio} para a bacia. Na primeira fase deste gráfico nota-se que nos anos iniciais de estudo (1975 e 1985) a taxa de crescimento de CN_{médio} era maior que do período mais recente (2005 a 2015), mas que o aumento significativo foi entre os anos de 1985 a 1995 e 1995 a 2005. Esta taxa maior se deve ao fato da especulação imobiliária local, que teve seu “boom” nos anos 2000. De 2005 para 2015, a taxa foi pequena, indicando a proximidade da saturação, como mostra a segunda fase do gráfico.

A medida que o CN se aproxima do valor da saturação, valor este que corresponde a limite máximo de ocupação da bacia, menores são as taxas de crescimento ao longo dos anos. No gráfico são apresentados valores estimados de CN_{médio} para os anos de 2025, 2035 e 2045, que são: 86,6; 86,9; e 87,1, respectivamente.

Gráfico 3. Crescimento de CN_{médio} final para a Bacia do Ribeirão Cambé.



Fonte: Autores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na caracterização morfológica da bacia do Ribeirão Cambé, no município de Londrina/PR, foram obtidas a área de drenagem da bacia, perímetro, altitudes máxima e mínima, comprimento do canal principal e densidade de drenagem, que foram iguais a: 29,95 km², 27,14 km, 630 e 520 m, 11,25 km e 0,80 km/km², respectivamente. Sendo que este último valor indica que a bacia tem uma boa capacidade de drenagem. Outros parâmetros como o fator de forma, coeficiente de compacidade e índice de circularidade também indicam que a bacia possui baixo risco de enchentes.

A utilização das imagens dos satélites LANDSAT aliada a utilização do software SPRING permitiram acompanhar a dinâmica das modificações do uso do solo ao longo desses 40 anos analisados. Verificou-se que a urbanização expandiu sobre as áreas de vegetação densa e rasteira e que as ocupações condizem com a história de desenvolvimento do município. O crescimento da área urbanizada na bacia foi de 150% no período analisado, ao passo que a de vegetação rasteira teve uma redução de 55%, assim como a de vegetação densa que foi de 40% no mesmo período.

A taxa de crescimento da urbanização foi decrescendo ao longo das décadas, sendo mais intenso no início, equivalente a 42%, 33%, 18% e 11%, respectivamente. Os valores de CN_{médio} seguiram a mesma proporção de aumento, indicando que está havendo uma maior impermeabilização do solo ao longo dos anos, e que o valor de saturação está tendendo a 87,3.

Pode-se correlacionar o crescimento das áreas urbanizadas com o crescimento populacional urbano na cidade, que tiveram taxas de crescimento muito próximas, sendo de

63%, 37%, 18% e 14%, entre as décadas de 1970 e 2010 para a população. Através da curva de crescimento logístico pode-se verificar que a população urbana e a urbanização da bacia já estão se aproximando dos valores de saturação, sendo esses iguais a 687.289 habitantes e 73,94%.

Portanto, pede-se aos gestores públicos do município uma discussão acerca do planejamento urbano e do controle de inundações, uma vez que esses estão se mostrando cada vez mais necessários para o desenvolvimento da cidade. O Plano Diretor de Drenagem Urbana é uma boa medida a ser tomada visando a mitigação dos impactos sociais, ambientais e econômicos a que estamos sujeitos a cada chuva intensa que ocorre na cidade.

Logo, um melhor planejamento urbano faz com que a urbanização nas bacias hidrográficas seja feita de forma adequada, com a finalidade de permitir maior infiltração da água pluvial no solo e consequentemente diminuir o escoamento superficial, dessa forma, reduz-se a tendência da bacia às inundações e enchentes

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCHELA, Rosely S.; VIZINTIM, Mirian; BARROS, Omar N. F.; THÉRY, Hervé; MELLO, Neli A. de; GRATÃO, Lúcia H. B.

Atlas Ambiental do Município de Londrina: Expansão urbana de Londrina. 2016. Disponível em:

<<http://www.uel.br/revistas/atlasambiental/EXPANSAO/EXPANSAO.htm>>. Acesso em: 06 jan. 2016.

BARROS, Omar N. F.; BARROS, Mirian V. F.; ARCHELA, Rosely S.; THÉRY, Hervé; MELLO, Neli A. de; GRATÃO, Lúcia H. B..

Atlas Ambiental do Município de Londrina: solos. 2015. Disponível em

<<http://www.uel.br/revistas/atlasambiental/NATURAL/SOLOS.htm>>. Acesso em: 10 set 2015.

CAVALCANTE, Erivaldo H. *et al.* **Campos Experimentais Brasileiros.** Geotecnia, Lisboa, v. 111, p. 99-205, 2007.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Geomorfologia Fluvial.** São Paulo: Edgard Bluncher, 1981.

DE PAULA, Amarildo S. de; BARROS, Omar N. F.; CAINZOS, Rigoberto L. P.; RALICHI, Ricardo. **Dinâmica da ocupação e uso do solo em Londrina (PR): um olhar sobre a interface urbano rural.** Revista Franco-brasileira de Geografia. São Paulo, v. 17, 2013.

FARIA, G. G. F. **Caracterização física e análise comparativa das formas de uso e ocupação do solo (1970-1999) na microbacia hidrográfica do Ribeirão Cambé.** Geografia, Londrina, v. 14, n. 2, p. 107-144, jul/dez 2005.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Paraná, Londrina.** 2015a. Disponível em:

<<http://cod.ibge.gov.br/233H4>>. Acesso em: 03 set. 2015a.

_____. **Manual técnico de pedologia.** 3 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015b. 428p.

_____. **Séries Históricas e Estatísticas.** 2016c. Disponível em: <>. Acesso em: 29 fev. 2016

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Sobre o INPE, História.** 2016. Disponível em:

<http://www.inpe.br/institucional/sobre_inpe/historia.php>. Acesso em: 02 fev. 2016.

MCCUEN, Richard. H. **Hydrologic analysis and design.** Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1989.

SANTANA, Cristiane J.; CAVALARO, Juliana; DE ANGELIS, Bruno, L. D. **Técnicas de bioengenharia aplicadas a fundo de vale urbano, Londrina, Paraná.** Revista de Engenharia e Tecnologia. Ponta Grossa, v. 4, n. 2, p. 34-42, ago./2012.

SIDRA – Sistema IBGE de Recuperação Automática. **Censo Demográfico.** 2016a. Disponível em:

<<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=202&z=cd&o=24&i=P>>. Acesso em: 14 jan. 2016a

_____. **Pesquisa Nacional por amostra de Domicílios.** 2016b. Disponível em:

<<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=261&z=pnad&o=3&i=P>>. Acesso em: 29 fev. 2016b

TAGIMA, Nelson; TERABE, Nádia Izumi. **Minibacia do Riacho Cambé: diagnóstico físico-ambiental e mapeamento detalhado do solo.** Londrina, Grafor, 2005. 92 p.

TOMAZ, Plínio. Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais. 2 ed. São Paulo: Navegar Editora, 2011. 592p.

TUCCI, Carlos E. M.. **Escoamento superficial**. In: Hidrologia: ciência e aplicação. 4 ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v.4), 2009. p. 391-442.

VILLELA, Swami M; MATTOS, Arthur. **Hidrologia aplicada**. 1ª ed. São Paulo: Editora McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.

VIZINTIM, Mirian; ARCHELA, Rosely S.; BARROS, Omar N.F.; THÉRY, Hervé; MELLO, Neli A. de; GRATÃO, Lúcia H. B. **Atlas Ambiental do Município de Londrina: Cursos e (Per) cursos das Águas**. 2015. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/atlasambiental/NATURAL/CURSODASAGUAS.htm>>. Acesso em: 10 set 2015