

**Estudo da Alteração no Uso e Ocupação do Solo da Sub-Bacia do Córrego
do Luciano no Município de Jardinópolis-SP**

*Study of Modification in Land Use of the Sub-Basin Luciano Stream Located in the
Municipality of Jardinópolis-SP*

*Estudio del Cambio de Uso y Ocupación del Suelo de la Subcuenca del Arroyo Luciano en
el Municipio de Jardinópolis-SP*

Sâmia Momesso Marques

Mestranda em Engenharia Civil (Recursos Hídricos e Tecnologia Ambiental), UNESP, Brasil
samia.momesso@gmail.com

Gustavo Zitei Vicente

Mestrando em Engenharia Civil (Recursos Hídricos e Tecnologia Ambiental), UNESP, Brasil
gustavo.zitei@gmail.com

Robélio Mascoli Junior

Engenheiro Sanitarista e Ambiental, UCDB, Brasil
Robelio91@hotmail.com

RESUMO

A elevada taxa de urbanização em uma bacia hidrográfica pode ocasionar diversos problemas relacionadas à drenagem urbana em uma cidade. Os efeitos colaterais gerados pelo aumento da população e pelas mudanças ambientais, ocorrem em pequenas e grandes escalas, por isso surgiu a necessidade de desenvolver instrumentos que realizem o monitoramento ambiental. A partir do monitoramento é possível identificar problemas e quanto antes estes forem detectados mais fácil controla-los ou reverte-los. Para isso, a tecnologia tem apresentado cada vez mais ferramentas, como os SIGs, que facilitem a representação e a análise do espaço de forma dinâmica. Este trabalho objetivou analisar imagens de satélites dos anos de 1995, 2005 e 2015 de uma sub-bacia localizada em uma cidade de pequeno porte, mas com considerável crescimento populacional no período escolhido, para compreender o impacto da urbanização na drenagem urbana. Foi utilizado o *Software Spring 5.2.7* para tratar as imagens e gerar mapas temático para os 3 anos, obtendo-se as áreas referentes a diferentes tipos de uso e ocupação do solo. Além do SIG utilizado, foram calculados os valores de CN, observando-se qual foi o impacto de impermeabilização do solo da sub-bacia. Os dados obtidos apresentaram a elevação da população ao longo dos anos, e com isso o aumento de área urbana. Porém a vegetação arbórea também teve considerável aumento de área. Por fim, foi possível concluir a importância do desenvolvimento de uma drenagem urbana sustentável, pois as áreas com vegetação podem equilibrar às impermeabilizadas pelas construções evitando surgimento de problemas ambientais como enchentes.

PALAVRAS-CHAVE: Uso do Solo. Urbanização. Drenagem Urbana.

ABSTRACT

A high urbanization rate may generates many problems for the urban drainage in a city. The side effects of population increases and environmental changes can occur in little or big scales, so appeared the need of develop tools able to do the environmental monitoring. From the monitoring is possible know problems and when detected to find a solution to controlled or revert them. For this, the technology have each time more solutions, like the GISs, for turn the representation and analysis of dynamic space easier. This study aimed analyses satellites images of the years 1995, 2005 and 2015 for a sub-basin in a small city with an elevated population increases. And then, understands the impact of extensive urbanization in the urban drainage. It have been used the *Software Spring 5.2.7* for images treatment and generation of thematic maps for the 3 years, knowing areas for each type of land use. Besides the GIS use, it have been calculated the CN values, observing which was the impact generated by the sub-basin waterproofing. The results presented a considered population increases, so a bigger urban area for the year of 2015. However, the arboreal vegetation have been a elevate increases too. So, it was possible noticed the necessity of a sustainable urban drainage, because the areas with vegetation may balance the waterproofing generated by construction, which avoid environmental problems like floods.

KEY-WORDS: Land Use. Urbanization. Urban Drainage.

RESUMEN

Una alta tasa de urbanización puede genera problemas de drenaje en una ciudad. Los efectos secundarios del aumento de la población y los cambios ambientales pueden ocurrir en escalas pequeñas o grandes, por lo aparecido la necesidad de desarrollar herramientas capaces de hacer la vigilancia del medio ambiente. Como resultado del monitoreo es posible detectar los problemas y encontrar una solución para controla-los. Por esto, la tecnología tiene cada vez más soluciones, como los SIG, para convertir la representación y el análisis de espacio dinámico. Este estudio tuvo como objetivo el análisis de imágenes de satélite de los años 1995, 2005 y 2015 para una subcuenca en una pequeña ciudad con un elevado aumento de la población. Y entonces, entender los impactos en el drenaje urbano. Se han utilizado la *Spring software 5.2.7* para el tratamiento de imágenes y generación de mapas temáticos, sabiendo las áreas para cada tipo de uso de la tierra. Además, se han calculado los valores de CN, observando que era el impacto generado por la impermeabilización subcuenca. Los resultados presentan un aumento de la población considerados, por lo que una zona urbana más grande para el año de 2015. Sin embargo, la vegetación arbórea ha habido aumentos. Así, fue posible notado la necesidad de un drenaje urbano sostenible, debido a que las zonas con vegetación pueden equilibrar la impermeabilización generada por la construcción, que evite los problemas ambientales como inundaciones.

PALABRAS-CLAVE: Uso del Suelo. Urbanización. Drenaje Urbana.

INTRODUÇÃO

O processo de urbanização provoca profundas modificações na bacia hidrográfica e principalmente nas características das enchentes (VICENTINE, 2000). Tais mudanças são decorrentes das alterações do uso e ocupação do solo provocado pelo desenvolvimento urbano.

Segundo Li *et al.* (2004), com os efeitos do aumento da população e mudanças ambientais, que ocorrem tanto em escala local como global, surge a necessidade de desenvolver instrumentos de monitoramento ambiental para facilitar os seguintes processos: detecção da degradação da terra e mapeamento de suas ocorrências; avaliação das tendências de degradação do solo ao longo do tempo; compreensão das causas da degradação do solo, e avaliação das abordagens e ferramentas para detectar se a degradação da terra pode ser aplicada regionalmente.

Frente a essa situação, é de extrema importância avaliar e quantificar os efeitos da urbanização no balanço hídrico. Uma excelente ferramenta para o desenvolvimento desse tipo de análise são os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs). Esses Softwares simplificam o processo de quantificação de classes presentes num determinado local para verificado período.

Conforme Fujaco *et al.* (2010), os estudos das transformações do uso da terra com o auxílio de softwares, é particularmente apropriado, principalmente por permitir a elaboração de uma base georreferenciada, que facilite a representação e a análise do espaço de forma dinâmica. Além disso, a avaliação dos mapas gerados possibilita o acompanhamento temporal das transformações ocorridas em um determinado intervalo de tempo, na área estudada (FUJACO *et al.*, 2010).

O desmatamento, a substituição da cobertura vegetal natural e a impermeabilização do solo são fatores modificadores que, na maioria das vezes, resultam simultaneamente em redução de tempos de concentração e em aumento do volume de escoamento superficial, causando extravasamento de cursos d'água. Portanto é de suma importância à inter-relação entre uso e ocupação do solo e os processos hidrológicos superficiais (POMPÊO, 2000).

De acordo com Araújo Filho *et al.* (2007), os conceitos de solo no que se referem ao uso e à cobertura são muito próximos, por isso, muitas vezes são adotados indistintamente, sendo que cobertura da terra está diretamente associada com os tipos de cobertura natural ou artificial, que é de fato o que as imagens de sensoriamento remoto são capazes de registrar. As imagens não registram atividades de forma direta, portanto cabe ao intérprete buscar as associações de reflectâncias, texturas, estruturas e padrões de formas à derivar informações acerca das atividades de uso, a partir do que é basicamente informação de cobertura da terra (ARAÚJO FILHO *et al.*, 2007).

O uso e manejo inadequado das terras e a falta de ações conservacionistas implicam em perdas significativas de solo, de matéria orgânica, de nutrientes, de biodiversidade, perdas com enchentes e, em especial, de água. O que prejudica o equilíbrio dos sistemas hídricos em bacias hidrográficas, como apresentado no trabalho de Vaeza *et al.* (2010).

As normas de usos e ocupação de bacias hidrográficas no meio urbano restringem-se aos zoneamentos urbanos e delineiam-se segundo tendências político-administrativas de expansão territorial, portanto este fato ocasiona conflitos de ordem ambiental e, em muitos casos, a ocupação ocorre de modo desordenado (SEBUSIANI e BETTINE, 2011).

OBJETIVO

Esse trabalho teve como objetivo fazer um levantamento das imagens de satélite dos anos de 1995, 2005 e 2015 para posteriormente estudá-las e entender se houve significativo avanço urbano e, com isso, algum impacto na drenagem da Sub-bacia do Córrego do Luciano no município de Jardinópolis-SP. Outro parâmetro analisado foi o valor do CN (Curva Número) da bacia hidrográfica, o qual possibilita comparar como a alteração da paisagem pode contribuir na impermeabilização do solo ao longo do período estudado.

METODOLOGIA

Levantamento da Área

O presente estudo foi realizado na Sub-bacia Hidrográfica do Córrego do Luciano, que está localizada no município de Jardinópolis-SP. O Córrego do Luciano se encontra entre as coordenadas 20° 59' 42" S; 47° 51' W e 21° 01' 30" S; 47° 45' W, drena uma área de aproximadamente 18,4 km², tem seu exutório no Ribeirão São Pedro, que por fim deságua no Rio Pardo (Figura 1).

Figura 1 - Hidrografia de Jardinópolis



Fonte: Google Earth

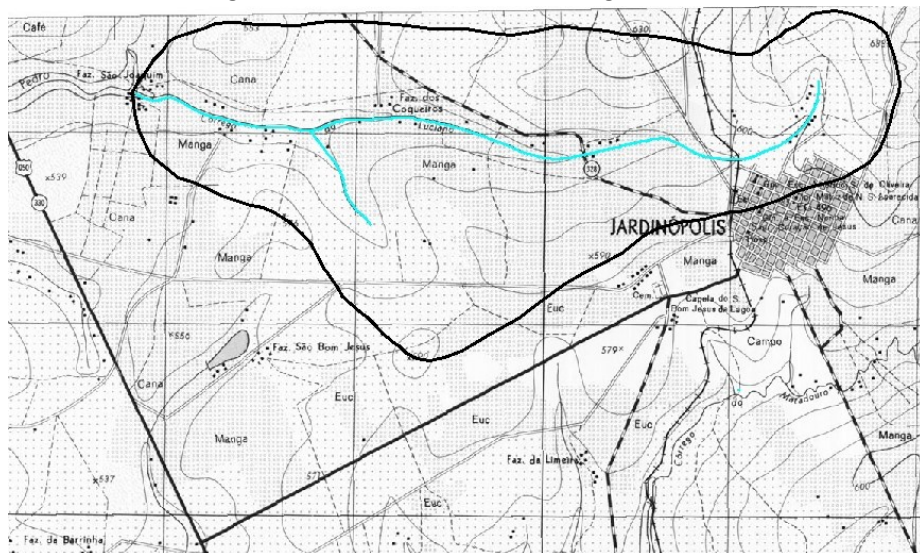
O município de Jardinópolis registrou, no período de 1995 a 2015, um acréscimo populacional na ordem de 13.500 habitantes, o que motivou uma expansão urbana do município e, por sua vez, afetou a sub-bacia do córrego do Luciano provocando o surgimento de novos empreendimentos imobiliários e loteamentos.

Uso e Ocupação do Solo

Para o desenvolvimento do estudo foram utilizadas cartas topográficas da região, obtidas a partir do banco de dados do IBGE, imagens de satélite para os anos de 1995, 2005 e 2015, nas quais tomou-se o cuidado de escolher imagens do mesmo período do ano, todas do mês de julho e obtidas a partir do banco de imagens disponível pelo INPE. Para os anos de 1995 e 2005 foram usadas imagens do sensor TM do Landsat-5, nas bandas 1(b), 2(g) e 3(r) para os espectros de azul, verde e vermelho respectivamente. Já para o ano de 2015 o sensor OLI do Landsat-8 com imagens das bandas 2(b), 3(g) e 4(r) nas faixas de azul, verde e vermelho, respectivamente.

As imagens foram georreferenciadas no *Software Spring 5.2.7* e os limites da bacia hidrográfica foram traçados com auxílio da carta topográfica da região, sendo delimitada somente a área da sub-bacia em questão, como mostrado na figura que segue.

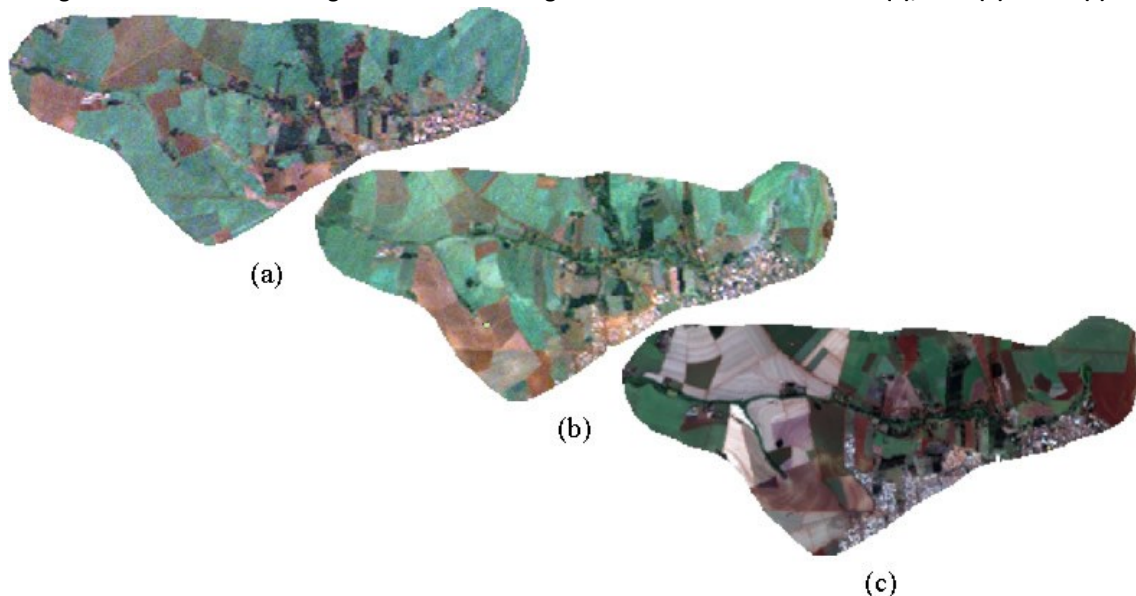
Figura 2 - Limites da Sub-bacia do Córrego do Luciano



Fonte: elaborado pelos autores.

As imagens dos satélites, após georreferenciadas, foram tratadas e recortadas dentro dos seus limites, de forma a conter apenas a sub-bacia hidrográfica em estudo, a fim de evitar interferências das áreas circundantes no processo de classificação das imagens (Figura 3).

Figura 3 - Sub-bacia do Córrego do Luciano em imagens de satélite nos anos de 1995 (a), 2005 (b) e 2015 (c)



Fonte: Elaborado pelos autores.

Assim, as imagens foram classificadas de acordo com 5 classes distintas de uso e ocupação do solo pré-definidas pelos autores, sendo elas: pós-colheita, solo exposto, agricultura, vegetação arbórea e urbano. A classificação foi feita de forma supervisionada com auxílio do método de segmentação das imagens, adotando em todos os casos o valor 2 para o grau de similaridade. Após as atividades de treinamento realizadas, de maneira a garantir a melhor precisão na coleta de regiões, procedeu-se a classificação final com o emprego do algoritmo *Bhattacharya*. Ao final do processo de classificação, foram medidas as áreas ocupadas por cada classe de uso e ocupação do solo, de forma a se obter a taxa de crescimento ou de redução de cada classe de cobertura.

Infiltração do Solo

O solo pode estar em três condições de umidade, sendo elas: seco, normal (capacidade de campo) ou saturado. Para definir o valor de CN do solo, devemos primeiramente admitir a condição de umidade normal, para então corrigir o valor encontrado por meio de tabelas que relacionam o valor de CN com as condições normais e seus respectivos valores nas condições seca e saturada. Em uma bacia hidrográfica, onde existem diversos tipos e usos do solo, o CN é calculado a partir da aplicação da Equação 1:

$$CN = \frac{\sum_{i=1}^n CN_i \cdot A_i}{A} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

CN : Curva número da bacia hidrográfica;

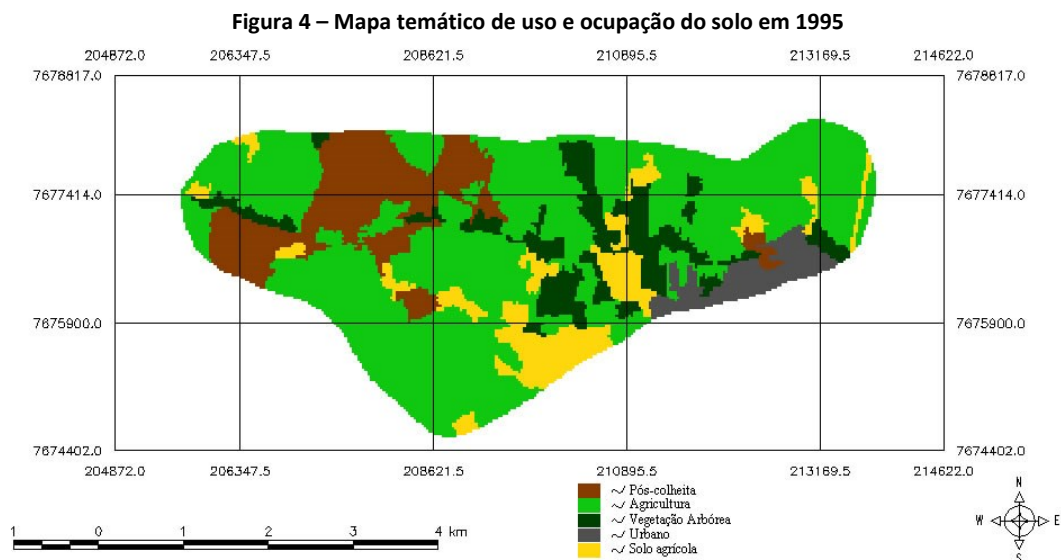
CN_i : curva número da região;

A_i : área da região; e

A : área total da bacia hidrográfica.

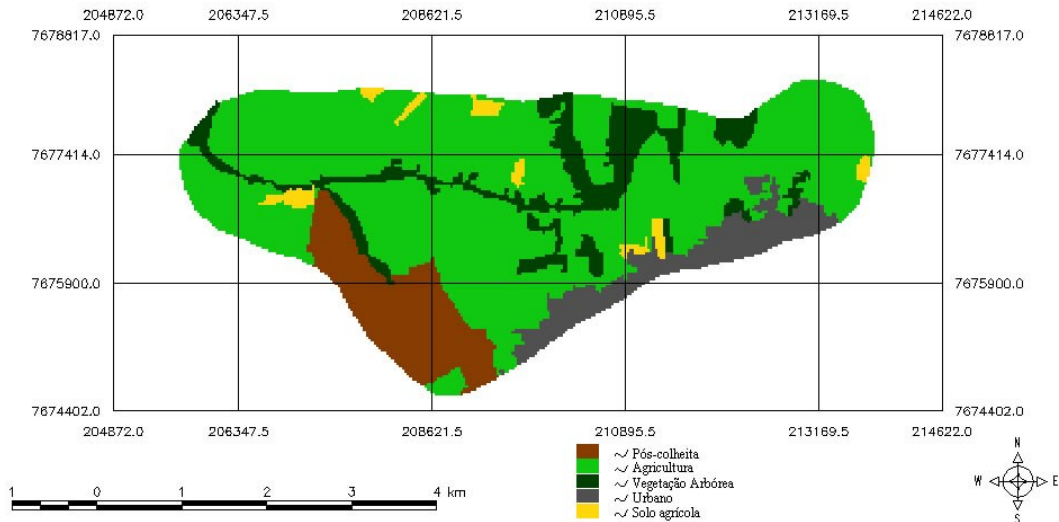
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os mapas temáticos que indicam as paisagens na Sub-bacia do Córrego do Luciano para os anos de 1995 (Figura 4), 2005 (Figura 5) e 2015 (Figura 6) estão apresentados na sequência e têm seus valores de áreas de cobertura do solo sintetizados pela Tabela 1.



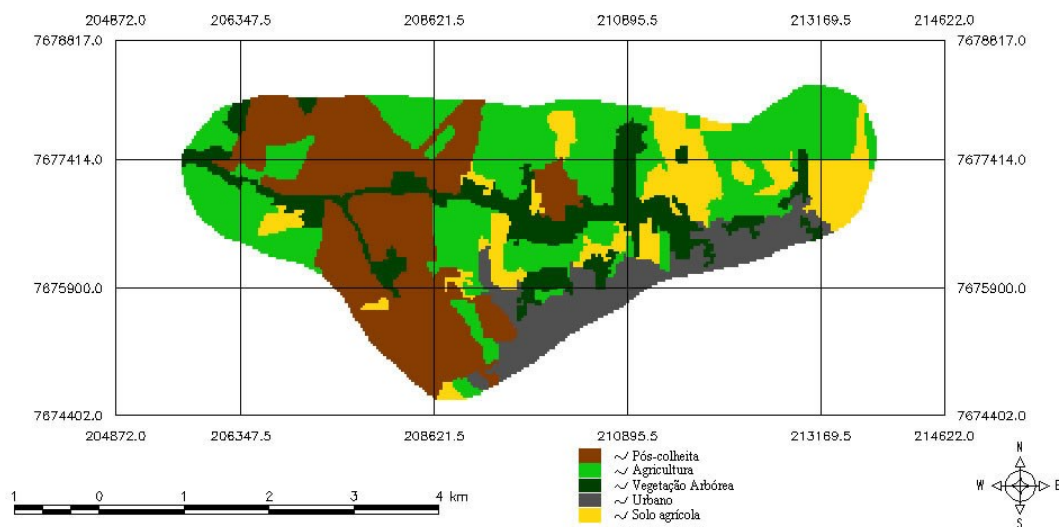
Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 5 – Mapa temático de uso e ocupação do solo em 2005



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 6 – Mapa temático de uso e ocupação do solo em 2015



Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 1 - Áreas das classes de uso e ocupação do solo

Classe \ Área	1995		2005		2015	
	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
Pós-colheita	2,8	15,2	2	10,9	5,3	28,8
Agricultura	10,9	59,2	12,3	66,9	6,2	33,7
Vegetação arbórea	2	10,9	2,2	11,9	2,6	14,1
Urbano	0,8	4,4	1,5	8,1	1,9	10,3
Solo Exposto	1,9	10,3	0,4	2,2	2,4	13,1
Total	18,4	100	18,4	100	18,4	100

Fonte: Elaborado pelos autores.

Segundo dados do site de Informação dos Municípios Paulistas (IMP, 2016), a população do município de Jardinópolis passou de 26.999 em 1995 para 40.493 habitantes em 2015. Com base nesse dado, a Tabela 1 permite compreender o que ocasionou o crescimento das áreas urbanas, resultado do processo de loteamento que a região sofreu no período analisado em função do crescimento populacional.

De acordo com Conselho Regional de Desenvolvimento Rural Sustentável (CRDR, 2011), o solo da região onde a Sub-bacia do córrego do Luciano está inserida recebe a classificação pedológica Latossolo Roxo. Segundo Sartori et al. (2005) o Latossolo Roxo encontra-se, em termos hidrológicos na classe em que estão solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração, solos arenosos profundos com uma quantidade pequena de silte e de argila. Tal classe é definida como Classe A por Tucci (1993).

Quando observamos as alterações da paisagem que se deram entre os anos de 1995 e 2015, podemos facilmente notar o elevado crescimento da área urbana. Nota-se também que o solo exposto teve seu valor reduzido de 1995 para 2005, isso provavelmente ocorreu pois em 1995 haviam áreas de novos loteamentos, que ao longo desses 10 anos foram ocupadas e construídas pela população local, tanto que, a urbanização aumentou em 80,9% nesse período.

Apesar de existir um avanço urbano importante no período de 2005 para 2015, há um sensível aumento das áreas de solo exposto, em 65%. O aumento de solo exposto pode levar à suposição de que haja uma maior lâmina de água escoada, pois o solo permite menos infiltração e mais carreamento de partículas sólidas, em comparação a áreas de plantio ou vegetação.

Outro ponto importante a ser observado é o considerável aumento de áreas com vegetação arbórea. De 1995 para 2015 ocorreu um aumento na ordem de 30%, sendo que os principais pontos onde surgiram esse tipo de paisagem, foram ao longo do percurso do Córrego do Luciano, o que pode ser justificado pelo surgimento de leis para a população local, as quais passaram a exigir a realização de proteção do corpo hídrico.

É importante se atentar para o fato de que pode haver um acréscimo na lâmina d'água para a sub-bacia estudada, o que poderia desencadear danos associados ao aumento do potencial de erosividade das chuvas, podendo levar ao assoreamento do córrego e a perda de potencial agrícola da região, atividade que move a economia local. Além disso, caso a seção do exutório não suporte toda a vazão escoada nos períodos de cheia, podem gerar alagamentos de regiões nos arredores trazendo transtornos para os agricultores da região.

Ou seja, apesar da urbanização ter aumentado em quase 138% no período, houve um acréscimo significativo de áreas de vegetação arbórea, na ordem de 30%, o que possibilitou que os comportamentos hidrológicos não apresentassem grandes alterações no período estudado.

Levando-se em consideração que a classe definida como pós-colheita é referente às áreas de solo exposto devido à colheita da cana-de-açúcar, que pode ser considerada uma cultura anual e, sendo assim, estas áreas estarão cobertas por esta cultura durante a maior parte do ano, foram elaborados dois cenários: o cenário 1 (C1), onde as regiões de pós-colheita foram consideradas como regiões de solo exposto, que seria o caso mais agravante para casos de enchentes e carreamento de partículas, e o cenário 2 (C2), no qual as regiões de pós-colheita foram consideradas regiões de agricultura, o que deve ser mais comum ao longo do ano, devido ao tipo de cultura.

Desta forma foi possível escolher os valores de CN para cada classe de uso do solo na sub-bacia conforme USDA (1986), esses valores são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores de CN adotados para a região (USDA, 1986)

Cobertura do solo	C1	C2
	CN _i	CN _i
Pós-colheita	77	62
Agricultura	62	62
Vegetação arbórea	45	45
Urbano	77	77
Solo Exposto	77	77

Fonte: Elaborado pelos autores.

Baseado nos valores adotado e aplicada a Equação 1, foram encontrados os valores de CN relativos a cada ano e para as duas suposições de cobertura das áreas entre safra (C1 e C2). Os valores estão indicados na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores calculados de CN

Ano	CN	
	C1	C2
1995	64,60	62,28
2005	63,19	61,53
2015	67,42	63,08

Fonte: Elaborado pelos autores.

Como esperado, o C2 provou apresentar uma melhor condição de escoamento em comparação ao C1, pois quanto menor o valor de CN, menor o escoamento gerado. E pode ser considerado que este cenário é o que se encontrará mais presente ao longo do ano, pois o solo agricultável permanece um período muito reduzido como solo exposto, que seria logo após a colheita, antes de se iniciar um novo cultivo.

Também pode ser observado que ao passar dos anos os valores de CN não apresentaram elevada alteração. Isso se deveu ao fato de que apesar de elevada impermeabilização do solo causada pela urbanização, as áreas de vegetação arbórea tiveram um aumento que balanceou a drenagem na sub-bacia.

CONCLUSÕES

Apesar de ter apresentado um elevado crescimento populacional concomitante ao avanço de áreas urbanizadas, a Sub-bacia do Córrego do Luciano não se alterou quanto a sua área predominante de uso e ocupação. Entre 1995 e 2015 os solos permaneceram voltados, em sua maior porcentagem à agricultura, atividade principal em caráter de geração de economia para o município de Jardinópolis-SP.

Os valores de CN mostram que, por mais que tenham havido mudanças nos tipos de cobertura de solo, estas mudanças foram equilibradas, podendo ao final não gerar consideráveis impactos negativos, como casos de enchentes. Isso se deu ao fato de que mesmo a urbanização tendo sido elevada, as regiões de agricultura se mantiveram fortemente presentes e, além disso, as áreas de vegetação arbórea apresentaram um considerável aumento em sua área de ocupação. Podendo balancear o impacto da impermeabilização do solo causado pelas construções. Frente aos dados apresentados podemos concluir que é de extrema importância o desenvolvimento urbano consciente, de forma a não alterar a drenagem das bacias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO FILHO, Milton da Costa *et al.* Sistema de classificação de uso e cobertura da terra com base na análise de imagens de satélite. **Revista Brasileira de Cartografia**, n.59, p.171-179, 2007.

CÂMARA, Gilberto *et al.* **Introdução à Ciência da Geoinformação**. INPE, São José dos Campos, 2004.

CRDR - Conselho Regional de Desenvolvimento Rural Sustentável, **Plano Regional De Desenvolvimento Rural Sustentável: Regional Ribeirão Preto**. Ribeirão Preto, 2011.

FUJACO, Maria Augusta Gonçalves *et al.* Análise multitemporal das mudanças no uso e ocupação do Parque Estadual do Itacolomi (MG) através de técnicas de geoprocessamento. **Revista Escola de Minas**, v.63, p.695-701, 2010.

GONÇALVES, Stela Rosa Amaral *et al.* **Caracterização Fisiográfica e Hidrológica da Bacia do Manancial do Rio Santo Anastácio**. VIII Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 8, n.2, p. 139-150, 2012.

IMP – Informação dos Municípios Paulistas. **Portal de estatísticas do Estado de São Paulo**, Município de Jardinópolis. <http://www.imp.seade.gov.br/frontend/#/perfil>.

LI, J. *et al.* Evaluation of land performance in Senegal using multitemporal NDVI and rainfall series. **Journal of Arid Environments**, v.59, p.463-480, 2004.

MACHADO, Ronalton Evandro *et al.* **Simulação de Escoamento e de Produção de Sedimentos em uma Microbacia Hidrográfica Utilizando Técnicas de Modelagem e Geoprocessamento**, Tese de Doutorado em Agronomia, Irrigação e Drenagem pela ESALQ, Piracicaba, Janeiro, 2002.

NUNES, Fabrizia Gioppo *et al.* Estimativa de coeficientes de escoamento superficial na bacia hidrográfica do rio Atuba: Curitiba e região metropolitana – Paraná/ Brasil. **Boletim Paranaense de Geociências**, 2011, Volume 64-65, p 27-39.

PEREIRA, Leonardo Marini **Modelagem Hidrológica Dinâmica Distribuída Para Estimativa do Escoamento Superficial em uma Microbacia Urbana**. Dissertação de Mestrado, 93p. INPE -Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos – SP, 2009.

POMPÊO, César Augusto Drenagem urbana sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.5, n.1, p.15-23, 2000.

PORTO, Monica Ferreira do Amaral; PORTO, Rubens La Laina **Gestão de bacias hidrográficas**. Estudos Avançados, São Paulo, v. 22, nº 63 p. 43-60, 2008.

SARTORI, Aderson *et al.* Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 4, p.5-18, 2005.

SEBUSIANI, Helena Rennó Vianna *et al.* Metodologia de análise do uso e ocupação do solo em micro bacia urbana. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v.7, n.1, p.256-285, 2011.

TEODORO, Valter Luiz *lost* O Conceito de Bacia Hidrográfica e a Importância da Caracterização para o Entendimento da Dinâmica Ambiental Local, **Revista UNIARA**, N.20, 2007, p 137-156.

TONELLO, Kelly Cristina **Análise Hidroambiental da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas**. Tese Doutorado em Ciências Florestal – Universidade Federal de Viçosa. Guanhães, MG. 2005. 69p.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: EDUSP. Editora da UFRGS; ABRH, 952p, 1993.

USDA – United States Department of Agriculture. **Natural Resources Conservation Service**. Urban Hydrology for Small Watersheds: TR-55. 2. ed. Estados Unidos, 1986.

VAEZA, Rafael Franco *et al.* Uso e ocupação de solo em bacia hidrográfica urbana a partir de imagens orbitais de alta resolução. **Flora e Ambiente**, v.17, p.23-29, 2010.

VICENTINI, Telma Aparecida **Análise do Efeito da Urbanização nas Cheias Urbanas: Monitorametro de Bacias Experimentais**, Defesa de Doutorado em Engenharia Civil, Recursos Hídricos, Unicamp, Campinas, SP, 2000.