

MATEUS LUIS DEBASTIANI

**ESTUDO DA EVOLUÇÃO TEMPORAL DO COEFICIENTE DE
DEFLÚVIO NO MUNICÍPIO DE CHAPECÓ – SC.**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como
requisito para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia
Ambiental da Universidade Federal da Fronteira Sul.

Orientador: Prof^o Dr. Fernando Grison

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e
aprovado pela banca em: 04 / 12 / 2015

BANCA EXAMINADORA



Prof^o Dr. Fernando Grison – UFFS



Prof^a Me. Aline de Almeida Mota – UFFS



Prof^o Dr. Mauro Leandro Menegotto - UFFS

ESTUDO DA EVOLUÇÃO TEMPORAL DO COEFICIENTE DE DEFLÚVIO NO MUNICÍPIO DE CHAPECÓ-SC

Mateus Luis Debastiani*

Fernando Grison**

Resumo

Este trabalho tem como objetivo estudar a evolução do coeficiente de deflúvio com a elaboração de mapas de uso do solo do município de Chapecó do ano de 1986 a 2014. Foram utilizadas para o mapeamento imagens do satélite LANDSAT de cada ano desejado, depois processadas utilizando software SPRING e Arcgis®. A classificação das imagens forneceu dados de uso do solo para quatro classes: mancha urbana (MU), solo exposto (SE), solo cultivado (SC) e vegetação (VG). A qualidade da resolução espacial e o intervalo de aquisição das imagens foram fatores de limitação para a veracidade dos resultados. Os resultados mostraram que houve um aumento na área urbana de Chapecó, porém sua interferência é pequena no coeficiente de deflúvio devido a representar uma pequena fração do município todo. A classe SC apresentou maior influência no coeficiente do município. A análise da modificação do uso do solo somente no perímetro urbano mostrou que a urbanização interfere no aumento do coeficiente de deflúvio, acarretando em impactos para as bacias hidrográficas em que o município está inserido.

Palavras-chave: coeficiente de deflúvio, urbanização, uso do solo, imagens de satélite.

INTRODUÇÃO

Segundo a UNESCO (1964) a hidrologia é definida internacionalmente como a ciência que estuda a água da Terra, todo tipo de interação que ela possa ter com o ambiente e suas características físicas, químicas e biológicas, inclusive todos os problemas que envolvem a sua utilização, preservação e ocupação.

De acordo com Tucci (1993) a hidrologia é a ciência que trata da água na superfície terrestre e todos os fenômenos envolvendo a mesma. Dotada de uma grande parte do conhecimento humano, a hidrologia é uma ciência interdisciplinar evolutiva em face aos diversos problemas que vem surgindo devido a ocupação das bacias e do uso desordenado dos recursos hídricos.

Para o entendimento do ciclo hidrológico o estudo dos processos hidrológicos que ocorrem sobre bacias hidrográficas se torna fundamental. De acordo com Kobiyama (2011) a bacia hidrográfica é definida como uma área de terreno, que converge o escoamento superficial de qualquer ponto para uma saída comum, chamada exutório.

Sendo uma ciência que se consolidou apenas nos anos 50, devido à criação de programas de observação e quantificação sistemática dos diversos processos que ocorrem no ciclo hidrológico, a hidrologia vem expandindo seus conhecimentos em novas subáreas, tendo em vista a demanda cada vez maior dos recursos hídricos, uso e preservação da bacia hidrográfica (PINTO, N. L de S. et al, 1976).). As novas subáreas têm como base de estudo os processos hidrológicos que ocorrem na bacia. Como, por exemplo, a infiltração, evapotranspiração, produção e transporte de sedimentos, fluxo dinâmico e o escoamento superficial. (TUCCI, 1993).

*Aluno do curso de Engenharia Ambiental da Universidade da Fronteira Sul-UFFS/Chapecó – mateus.dbt@hotmail.com

**Professor do curso de Engenharia Ambiental, Doutor em Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Fronteira Sul-UFFS/Chapecó – fernando.grison@uffs.edu.br

Entre os processos hidrológicos o escoamento superficial representa a fase que trabalha com o conjunto das águas, que por meio da ação da gravidade, se movimentam na superfície da bacia (MONTES, 2009). O entendimento sobre escoamento superficial envolve todos os tipos de forma que a água escorre superficialmente pela bacia até os grandes cursos e por final no exutório. Sendo a principal fonte de recarga de aquíferos e rios, as águas que escoam superficialmente são centro de diversos estudos hidrológicos atuais e dentro da engenharia é uma das fases mais importantes do ciclo hidrológico. (GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A., 1988).

Devido à ação antrópica várias cidades brasileiras vêm sofrendo constantemente problemas relacionados aos escoamentos superficiais nas áreas urbanas, ou seja, problemas de drenagem urbana. Como principal ingrediente para a ocorrência de problemas na drenagem urbana está o descontrolado processo de urbanização das cidades que vem impermeabilizando uma grande parcela da superfície da bacia onde está inserida, e conforme ocorrem alterações do uso do solo por meio de obras pouco permeáveis, altera-se também o ciclo hidrológico natural, diminuindo a infiltração no solo da água que incide sobre a bacia e a recarga do lençol freático (MONTES, 2009).

Segundo Tucci e Cruz (2000), a drenagem urbana é um conjunto de medidas que tem como objetivo minimizar os riscos de eventos extremos, ou seja, uma forma de gerenciamento da água da chuva que escoam no meio urbano. Surge assim a necessidade de novos estudos que ajudem entender a variação do regime hidrológico na bacia urbana (NUNES et al., 2011).

O conhecimento sobre a superfície da bacia hidrográfica é um elemento importante para o gerenciamento da água da chuva escoada. Para isso, o entendimento do coeficiente de escoamento superficial, ou coeficiente de deflúvio, é fundamental, pois, está diretamente relacionado à dinâmica de impermeabilização do solo da bacia. (GAROTTI, L.M.; BARBASSA, A.P., 2010). O coeficiente de deflúvio representa a relação entre os volumes de escoamento superficial e o total precipitado. (TUCCI, 1993).

O coeficiente de deflúvio é um dos parâmetros dependentes da distribuição das chuvas, precipitação antecedente, tempo de concentração e principalmente da impermeabilização do solo, usualmente adotado em função da urbanização, refletindo o impacto sobre os sistemas de drenagem pluviais. (PINTO, N. L de S. et al, 1976).

Distintos métodos têm sido aplicados para a estimativa de valores para as taxas de impermeabilização de bacias. As características específicas de cada tipo de solo presente na bacia são difíceis de serem calculadas com exatidão, sendo necessário a aplicação da metodologia que mais se adapta às condições da área de estudo. (GAROTTI, L.M. E BARBASSA, A.P., 2010).

Faz parte da essência dos problemas a relatividade de seus resultados, por dependerem de variados parâmetros. Por isso nas últimas décadas a hidrologia tem fornecido à engenheiros e projetistas uma enorme gama de métodos para a estimativa de fenômenos impactantes na bacia.

A formação e o crescimento de Chapecó estão diretamente ligados ao setor agroindustrial, que tem transformado os espaços, não só do campo, mas da cidade também. (FACCO, J. 2014). As consequências do processo de urbanização vêm se evidenciando cada vez mais através de problemas antes inexistentes, como o transbordo de sarjetas e alagamento de ruas.

Dentro dos processos hidrológicos o escoamento superficial se mostra o fenômeno mais importante para a compreensão de problemas que estão se tornando cada vez mais rotineiros nos grandes centros urbanos, como a ocorrência de enchentes e a escassez de recursos para abastecimento. Assim, necessita-se de estudos que correlacionem o grau de urbanização das cidades com o aumento da impermeabilização do solo da bacia através do

coeficiente de deflúvio, possibilitando diagnosticar a interferência do uso do solo em casos de inundações e na recarga de aquíferos.

Devido ao crescimento da cidade de Chapecó os estudos sobre o coeficiente de deflúvio podem ser úteis para verificar se o gradual processo de urbanização da cidade vem interferindo nos processos de escoamento das águas da chuva, provocando enchentes e inundações em bairros que antes não apresentavam esses problemas.

Nesse sentido, o presente trabalho investigou a evolução do coeficiente de deflúvio no município de Chapecó e avaliou a relação desse coeficiente com o processo de urbanização em três bacias hidrográficas em que o município está inserido.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

De acordo com Tucci (2009) o homem utilizava a bacia da forma a qual pudesse alcançar seus objetos e benefícios com o menor custo possível, com a mínima preocupação em relação a preservação do meio ambiente. Com o crescimento da população e o aumento da exploração dos recursos naturais, também começou a surgir uma preocupação maior com a quantificação do impacto que a exploração dos recursos provoca na bacia.

Com o uso excessivo dos recursos houve o surgimento de interesse da população pelos impactos provocados pelos aproveitamentos hídricos no meio ambiente. Com o uso crescente dos recursos hídricos o planejamento da ocupação da bacia hidrográfica se tornou uma necessidade, atualmente isso implica no aproveitamento racional dos recursos hídricos com o mínimo dano ao ambiente. As duas principais preocupações que a hidrologia procurar esclarecer são: o impacto do meio sobre a população através das enchentes e inundações; e o impacto do homem sobre a bacia.

Ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico, assim como o nome já deixa explícito, não tem começo nem fim, é o fenômeno global de circulação da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, sendo a energia solar seu principal meio de estímulo (SILVEIRA; A. L. L., 2009). A água que está em constante movimento no ciclo hidrológico sofre alterações em seu estado físico devido a ação de diversos fenômenos hidrológicos, como a evaporação para o sentido superfície-atmosfera, e no sentido atmosfera-superfície as precipitações de chuva, neve e granizo.

Tucci (2009) relata que existe uma grande variabilidade na forma em que o ciclo hidrológico se manifesta no globo terrestre, sofrendo alterações devido a distribuição desuniforme com que a energia solar atinge a Terra, a variabilidade de solos e coberturas vegetais e a influência das estações do ano, que estão ligadas com a rotação e inclinação do eixo terrestre.

A água presente no ciclo hidrológico no planeta, se estivesse no estado líquido, seria capaz de cobrir a superfície da esfera terrestre com uma camada de 2,7 km, totalizando aproximadamente $1,4 \times 10^{18}$ m³. (LIMA, W. P.; 1976).

Processos hidrológicos

Processos hidrológicos são os fenômenos que tem incidência na bacia hidrográfica e sua atmosfera, composta por subsistemas variados, como copa das árvores, solo, relevo, que acabam alterando na capacidade que a bacia tem de reter e transportar água (KOBAYAMA, M.; 2011).

Os principais processos hidrológicos são: precipitação, infiltração, interceptação, percolação no solo, evapotranspiração e escoamentos fluviais. Entre os processos, o

escoamento superficial representa o fluxo sobre a superfície do solo e seus diversos canais (TUCCI, C; 2009), sendo este o fenômeno que possui maior influência nas redes de drenagem, provocando alterações nos valores de volume escoado e infiltrado.

Drenagem Urbana e os impactos da Urbanização

O principal objetivo da drenagem é a remoção das águas presentes no ambiente, no caso da drenagem urbana o objetivasse a remoção das águas pluviais que incidem sobre a bacia, evitando prejuízos, custos e riscos de inundações. De acordo com Tucci (2009) o termo drenagem urbana se entende como o conjunto de ações e medidas que visam minimizar riscos aos quais as populações estão sujeitas. O autor também enfatiza que medidas estruturais e melhores soluções para esses problemas são alcançadas através de uma atuação abrangente dos órgãos responsáveis, deixando de ser uma atribuição somente de engenheiros, mas também de gestores.

Kobiyama (2000) diz que a extração da vegetação e do solo natural, o revestimento do terreno com materiais impermeabilizantes e o escoamento da água da chuva o mais rápido possível, são o conjunto de ações que caracterizam a urbanização.

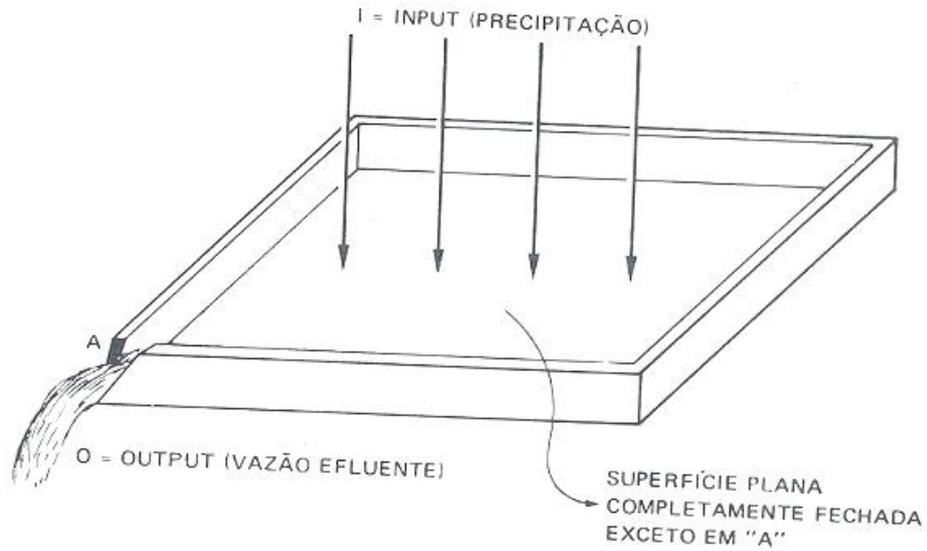
A medida que a cidade se urbaniza, em geral, ocorrem diversos impactos, como o aumento das vazões máximas, aumento da produção de sedimentos, deterioração da qualidade da água, entupimento de bueiros e inundações (TUCCI, 1997). A urbanização não afeta somente processos hidrológicos, principalmente se forem analisadas as condições de crescimento acelerado e caótico das últimas décadas, que vem impactando as cidades com consequências sobre a ocupação do solo e o comportamento político e administrativo (CRUZ, M.; SOUZA, C. e TUCCI, C; 2007).

Coefficiente de deflúvio

Enchentes e inundações estão cada vez mais frequentes e maiores devido às mudanças na superfície da bacia pela ação antrópica, que vem impermeabilizando cada vez mais os solos sem se preocupar com os impactos provocados. Dessa maneira, Nunes et al. (2011) indica uma necessidade de novos estudos detalhados que tenham por objetivo entender a variação dos processos hidrológicos provocada pelo processo de urbanização da bacia.

O coeficiente de deflúvio é definido por Pinto, N. L de S. et al (1976) como a relação entre o total de água escoada pela seção e o total de água precipitada na bacia, tendo seus valores entre o intervalo de 0 a 1. O escoamento máximo é alcançado em valores próximo ao limite superior. Assim como o modelo representado na Figura 1, em que toda precipitação incidente (I) está escoando sem nenhuma perda ou interferência para o mesmo ponto "O". Eles ainda ressaltam que para a determinação desse coeficiente deve se ter cuidado devido ao grande número de variáveis que influenciam no volume escoado, como a infiltração, a evaporação e a retenção.

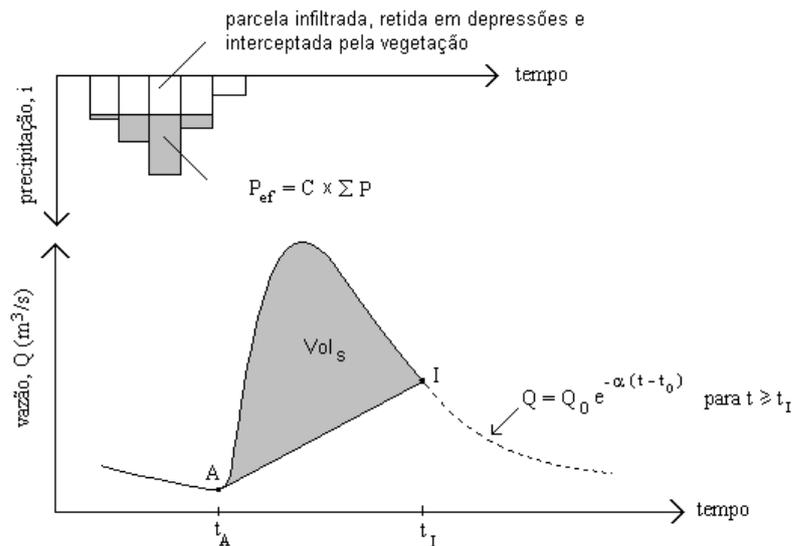
Figura 1 – Modelo de sistema hidrológico.



Fonte: VILLELA e MATTOS, 1975.

Através do coeficiente de deflúvio é possível diagnosticar se a urbanização da bacia está provocando um aumento nos valores de escoamento superficial, assim como Silveira, A.L.L, (2000) concluiu em seus estudos em Porto Alegre. Na Figura 2 é possível notar a relação da água que precipita na bacia com as vazões efluentes através do hietograma e hidrograma, onde pode-se retirar o volume escoado para aplicação na razão que determina o coeficiente de deflúvio.

Figura 2 – Representação do hidrograma.



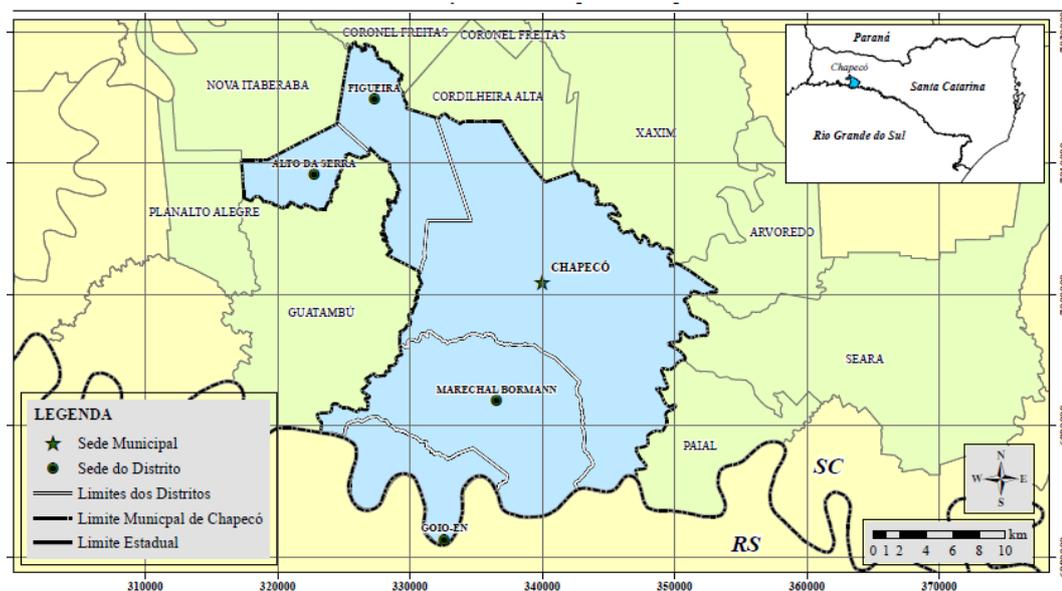
Fonte: TUCCI, 1993.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

O município de Chapecó localiza-se na microrregião meio oeste do estado de Santa Catarina (Figura 3), na região Sul brasileira, entre as coordenadas geográficas 27° 16' e 26° 56' de latitude sul e 52° 52' e 52° 19' de longitude a oeste de Greenwich, com uma área de 626,057 km² com população estimada de 202.009 habitantes (IBGE, 2011). Inserido na bacia hidrográfica do rio Uruguai, Chapecó se encontra na sub bacia Uruguai Nacional, na Região Hidrográfica 2. Considerada a capital catarinense da agroindústria tem como vizinhos políticos os antigos distritos desmembrados de Cordilheira Alta, Seara, Xaxim, Coronel Freitas, Guatambu, Planalto Alegre, Nova Itaberaba, Arvoredo e Paial.

Figura 3 – Localização do município de Chapecó



Fonte: elaborado pelo autor.

A sub bacia em que Chapecó está inserida apresenta uma elevada concentração industrial, resultando também em um comprometimento dos recursos hídricos. Conhecida também como a capital do Oeste, Chapecó tem um dos maiores índices de desenvolvimento municipal, alcançando 0,8766 no IFDM-Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal, sendo que o valor máximo a ser alcançado é 1 (CHAPECÓ, 2015).

Processamento Digital de Imagens

Aquisição de imagens

Para avaliar o avanço da urbanização foram realizados os trabalhos com imagens de satélite da região de Chapecó, obtidas gratuitamente do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). No do site do INPE, na área de Catálogo de Imagens, foram selecionados os quesitos para a obtenção das imagens, sendo do satélite LANDSAT 5/7 e LANDSAT 8 nos

sensores TM e OLI, respectivamente, para o país Brasil, estado de SC e município de Chapecó.

Para realizar o download das imagens desejadas, foi necessário avaliar todas as imagens, desde 1984, data de funcionamento do satélite LANDSAT 5, até o ano de 2015 onde opera o satélite LANDSAT 8, selecionando e encaminhando para solicitação as 22 imagens utilizadas no trabalho, haja vista imagens sem o aparecimento de nuvens e datadas dos últimos meses de cada ano, para assim seguir uma escala temporal em média de 12 meses. Após avaliação do pedido, ele é então liberado para download através de um link contendo todas as imagens selecionadas.

Pré-processamento

Utilizando o software livre SPRING versão 5.3, foi desenvolvido um banco de dados tomando como base o elipsoide de referência SAD69 (South American Datum 1969) do Sistema Geodésico de Referência Brasileiro (IBGE, 2015), Meridiano Central 51° W, fuso SG22 e sistema de coordenadas em UTM (Universal Transversa de Mercator).

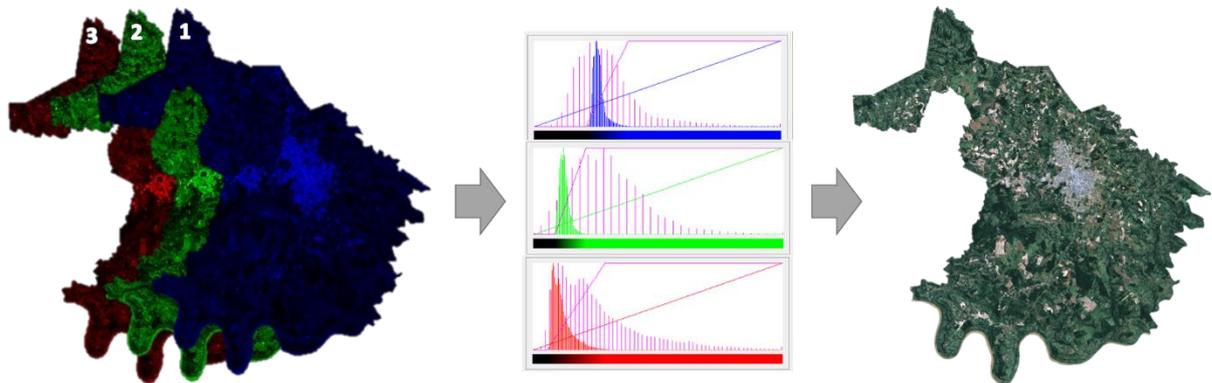
Foi realizada a leitura das imagens criando projetos dentro do banco de dados gerado, para cada ano de imagem obtido, importando as bandas espectrais 1, 2 e 3 em formato TIF para o SPRING. Como as imagens obtidas pelo satélite LANDSAT são faixas fracionadas de 185x185 km cada uma (FIGUEIREDO, 2005), um arquivo shapefile do limite do município de Chapecó foi importado para o software para o recorte das imagens, reduzindo seu tamanho somente para a área de interesse.

Realce das Imagens

Segundo Figueiredo (2005) imagens LANDSAT são adquiridas em formato digital como um arquivo contendo os valores numéricos correspondentes aos pixels da imagem, interpretados por softwares como o SPRING. O valor armazenado de cada pixel é equivalente à intensidade de radiação eletromagnética captada pelo satélite, proveniente daquela parcela terrestre, formando assim uma matriz numérica bidimensional que caracteriza uma imagem digital.

Como a imagem digital era monocromática, ou seja, somente em escalas de cinza, foram aplicados dois métodos de realce para facilitar a discriminação das imagens: composição RGB e aplicação de contraste. A composição RGB (do inglês Red, Green e Blue) consiste na atribuição das cores primárias (azul, verde e vermelho) a três bandas espectrais, neste caso banda 1, 2 e 3, pela ordem R3G2B1 conforme Figura 4, gerando uma imagem nas cores verdadeiras segundo Rosa, L. (2011). A aplicação de contraste foi a etapa seguinte, realizada para melhorar a apresentação visual da imagem e aumentar o poder de discriminação conforme Brito, J. L. S. (2005). Com a composição RGB, foram gerados histogramas das cores azul, verde e vermelha, representando o intervalo na escala de cinza em que os pixels estão sendo representados, dessa maneira, o método consiste no aumento do intervalo na escala de cinza de cada banda, através de uma transformação linear radiométrica nos pixels (SANTOS, 2011).

Figura 4 – Processo de realce de imagens LANDSAT.



Fonte: elaborado pelo autor.

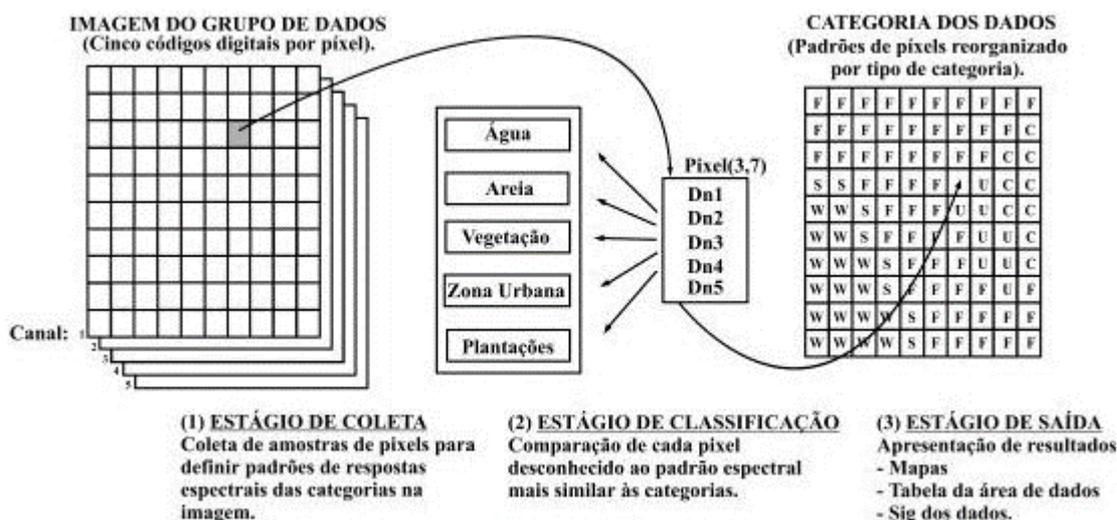
Classificação das Imagens

Para avaliar o aumento da urbanização em Chapecó ao longo de uma escala temporal, foram realizadas classificações automáticas supervisionadas (Figura 5). A classificação supervisionada utiliza amostras de treinamento, adquiridas pela análise da composição colorida R3G2B1 e pela leitura de pixels, com enfoque em áreas que possuíam características marcantes referentes a cada tipo de ocupação do solo. Quanto maior o número de amostras, melhor será o resultado obtido (SILVA, 2013).

Com o treinamento das amostras realizado, utilizando o algoritmo de máxima verossimilhança (MAXVER) no SPRING 5.3, as imagens foram classificadas conforme seu uso do solo, gerando mapas temáticos com 4 classes de interesse, sendo elas: mancha urbana (MU), solo exposto (SE), solo cultivado (SC) e vegetação (VG). As classes foram assim divididas conforme as principais ocupações e usos do solo do município de Chapecó que foram possíveis de diferenciação através das imagens classificadas. Mancha urbana é referente às áreas edificadas e pavimentadas; solo exposto são as áreas onde não existe nenhum tipo de cobertura, vegetal ou de construção civil; solo cultivado corresponde às áreas onde exista algum tipo de cultura como soja, trigo, milho e o plantio de árvores exóticas como eucalipto e pinos; e vegetação é atribuída às áreas de floresta nativa.

Como cada ano classificado possuía uma imagem diferente, eram gerados novos treinamentos para cada um deles, adquirindo novas amostras para a classificação. Ao fim da classificação as imagens foram exportadas no formato *.tiff* e lançadas no software Arcgis® para fazer a criação da tabela de atributos, obtendo assim o número de pixels de cada classe.

Figura 5 - Demonstração do procedimento de classificação supervisionada.



Fonte: Santos, A. B. 2011

Para a análise dos impactos provocados pela urbanização nas bacias hidrográficas em que o município de Chapecó está inserido foram realizadas classificações separadas somente do perímetro urbano em 6 anos distintos, seguindo uma escala temporal de 6 anos entre os mesmos. Foram consideradas as bacias hidrográficas dos rios: Rio dos Índios (55,7 km²), Lajeado São José (76,3 km²) e Rio Taquaruçzinho (8,8 km²). Para facilitar a visualização do crescimento da urbanização, foi estabelecido um perímetro urbano para o ano de 2014, com tamanho de 40,53 km², e aplicado para os demais anos analisados. Dessa maneira foi possível avaliar o aumento da impermeabilização do solo para uma mesma área.

Determinação do Coeficiente de Deflúvio (C)

Na Tabela 1 são apresentados os valores dos coeficientes de deflúvio adotados para cada classe de interesse. Os valores de C_i representam a razão entre a água que precipita e escoa na bacia para as quatro classes adotadas, seus valores foram escolhidos a partir da literatura, adotando-se valores médios que melhor representassem o comportamento do escoamento da água sobre a bacia.

Tabela 1 – Coeficientes de escoamento adotados.

Classes	Símbolo	Fonte	C_i
Mancha Urbana	MU	Wilken, 1978	0,85
Solo Exposto	SE	Junior, 2010	0,20
Solo Cultivado	SC	Junior, 2010 e Carvalho e Silva, 2006	0,60
Vegetação	VG	Junior, 2010 e Carvalho e Silva, 2006	0,18

Fonte: elaborado pelo autor.

Com base nos valores de C_i da Tabela 1 e a partir da aplicação metodologia apresentada por Tucci (2000) (Equação 1) foi estimado o coeficiente de escoamento médio dado pela ponderação dos diferentes C_i correspondentes, isto é:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i * A_i}{A_T} \quad (1)$$

onde:

C = coeficiente de deflúvio médio para a área em estudo;

C_i = coeficiente de deflúvio adotado para a classe de interesse i ;

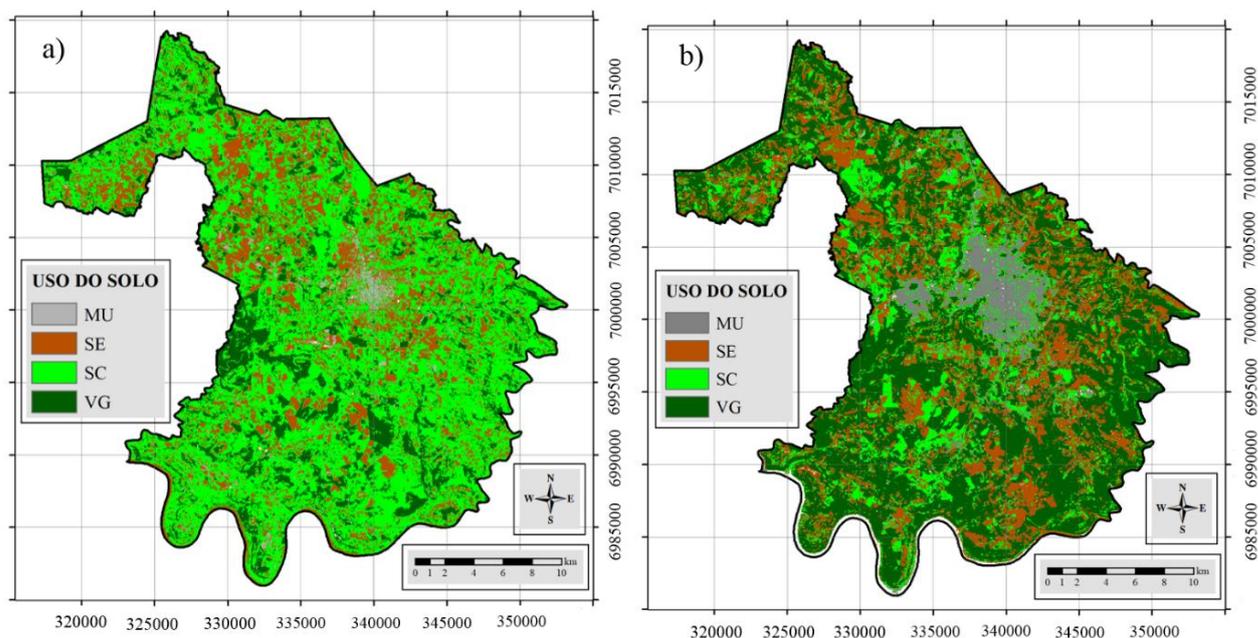
A_i = Área da classe de interesse;

A = Área total estudada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como pode ser observado na Figura 6, houve um crescimento da mancha urbana do município de Chapecó entre os anos de 1986 e 2014, período em que foi avaliado o uso e ocupação do solo de todo o município. A quantidade de solo exposto, solo cultivado e vegetação apresentaram pequena variação em seus valores, não sendo possível observar grandes mudanças. Essa pequena variação foi devido ao momento em que a imagem foi captada pelo satélite. Como foi necessário adquirir imagens onde não houvesse interferência de nuvens, o intervalo entre as mesmas não se manteve igual, apresentando assim uma composição diferente do uso do solo entre as imagens, correspondente ao ciclo de culturas para cada época da obtenção da imagem pelo satélite.

Figura 6 – Mapa temático do uso do solo de Chapecó nos anos: a) 1986 e b) 2014.



Fonte: elaborado pelo autor.

Na Tabela 2 é possível observar os percentuais das áreas ocupadas pelas classes de uso do solo no município de Chapecó, juntamente com o desempenho da classificação de cada

ano analisado e o seu coeficiente de deflúvio. O desempenho é fornecido pelo software SPRING no momento da classificação após ser realizado o treinamento das imagens, indicando a média da eficiência de cada amostra coletada para a classificação, quanto mais representativas forem as amostras, melhor será o desempenho da classificação. Buscou-se manter o desempenho acima de 90%, garantindo uma classificação mais fidedigna.

A queda nos percentuais de MU nos anos de 1999 e 2002 foi devido a qualidade das imagens classificadas que geravam um índice de confusão dos pixels elevado, para se manter o limiar de desempenho em 90% houve uma perda na classificação da mancha urbana dos dois anos, com pixels de MU sendo classificados como SE e/ou SC. Nos anos de 2011 e 2014 nota-se um aumento significativo nos valores de VG e uma diminuição abrupta dos valores de SC, invertendo as classes (Figura 6), essa inversão foi decorrente da troca de satélites que ocorreu entre os anos de 2011 e 2012, passando de LANDSAT 5 para LANDSAT 8. Com isso, o sensor de captura acabou fornecendo imagens onde, mesmo com os métodos de realce, não foi possível determinar o uso e ocupação do solo com exatidão por não apresentarem boa diferenciação das cores.

Tabela 2 – Percentual de área ocupada pelas categorias de uso do solo de Chapecó.

ANO	Data de Captura	Desempenho (%)	Relação classe/município (%)				C
			MU	SE	SC	VG	
1986	14/out	95,3	2,8	20,9	58,5	17,7	0,45
1990	25/out	92,7	3,8	24,7	44,9	26,6	0,40
1991	12/out	81,8	4,0	30,4	41,0	24,5	0,39
1992	14/out	96,2	4,0	23,9	48,3	23,8	0,41
1993	20/dez	95,4	4,8	13,5	53,7	28,0	0,44
1995	08/nov	94,1	5,0	16,4	42,3	33,9	0,40
1996	26/nov	93,6	5,2	11,6	41,7	37,7	0,40
1998	02/dez	97,4	5,6	14,1	41,8	36,7	0,40
1999	05/dez	93,2	4,0	17,0	45,6	33,4	0,40
2000	07/dez	96,01	5,4	12,6	49,8	29,3	0,44
2001	26/dez	95,7	5,9	10,1	60,6	23,4	0,48
2002	03/nov	95,2	3,5	26,0	41,9	28,7	0,38
2003	13/out	97,7	5,7	22,3	34,1	38,0	0,37
2004	12/ago	96,1	5,9	17,8	45,0	31,2	0,41
2005	03/nov	96,5	5,7	12,9	49,8	31,6	0,43
2006	21/out	96,7	5,9	16,8	40,8	36,4	0,39
2007	06/set	93,6	5,8	15,3	49,6	29,2	0,43
2008	24/out	94,4	6,5	15,3	45,7	32,5	0,42
2009	13/out	94,2	6,3	19,3	41,2	32,4	0,40
2010	01/nov	95,3	6,6	20,2	39,1	32,0	0,40
2011	04/nov	93,2	6,6	13,6	36,7	40,0	0,39
2014	07/set	94,7	7,6	25,4	18,0	47,8	0,31

Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 7 mostra a variação do coeficiente *C* ao longo dos anos 1986 a 2014, juntamente com a variação da área para cada classe de uso do solo considerada no trabalho. Observa-se nesse gráfico que a variação do coeficiente *C* sofre maior influência de SC e VG,

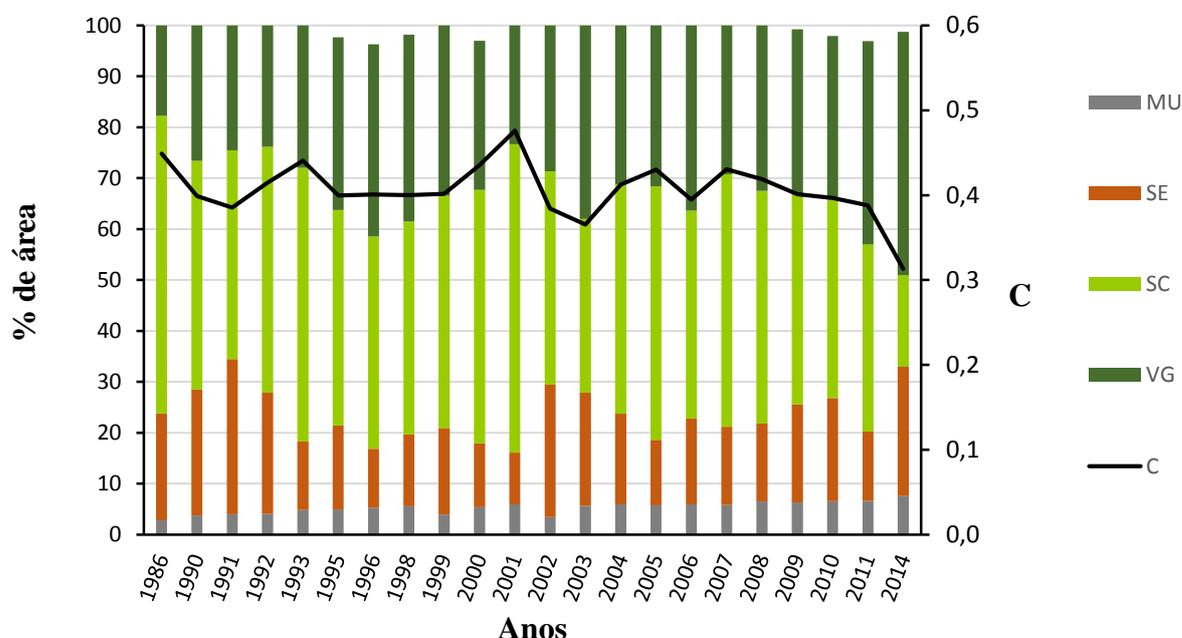
tendo sua variação diretamente proporcional aos valores de solo cultivado e inversamente proporcionais e de menor influência para os valores de vegetação (Anexo 1).

Como a classe SC possui em média valores mais expressivos de ocupação e seu valor de *C* adotado para o cálculo do coeficiente de deflúvio para o município é maior em relação à VG e SE, podemos verificar que a variação do coeficiente de deflúvio para o município sofre maior influência do uso do solo que corresponde a classe solo cultivado.

A mancha urbana não provoca a maior interferência devido ao fato de ter uma área de ocupação no município inferior em relação as outras classes. Na Tabela 2 é possível verificar em percentuais a diferença nos índices de ocupação para cada classe de uso do solo.

Segundo Nunes (2011) o aumento da impermeabilização do solo diminui a capacidade de armazenamento e aumenta o coeficiente de deflúvio, dessa maneira pode-se afirmar que com o aumento da área urbana em Chapecó, em projeções futuras, poderá ocorrer uma redução expressiva na capacidade de recarga do aquífero que abastece o município.

Figura 7 – Variação do *C* em relação à área ocupada por cada classe no município para cada ano.

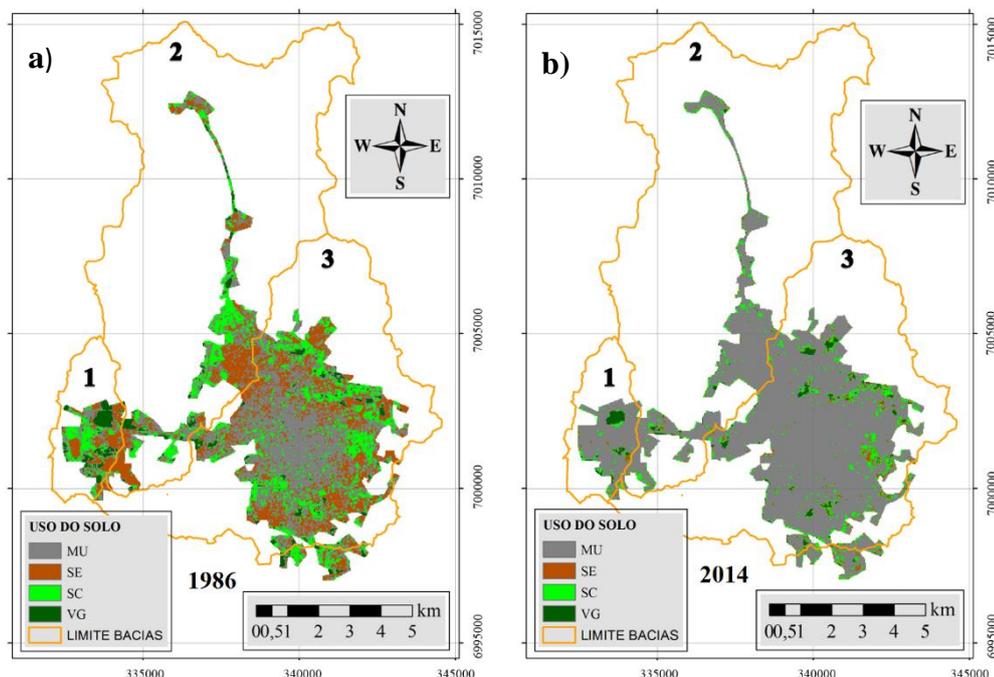


Fonte: elaborado pelo autor.

A queda acentuada no valor de *C* entre 2001 e 2005 e entre 2011 e 2014 foi derivada da queda acentuada dos valores de ocupação de SC e a elevação nos valores de VG no município (Anexo 2). Em 2014 houve o aumento abrupto de VG, pois a imagem classificada não proporcionava qualidade suficiente para uma boa diferenciação das classes. Segundo Santos (2011), ao realizar a classificação supervisionada de imagens LANDSAT, alguns resultados podem sofrer alterações devido ao fato de algumas classes de uso do solo possuírem um comportamento espectral parecido com o de outra classe, como é o caso da vegetação com o solo cultivado.

A análise dos impactos provocados pela urbanização nas bacias hidrográficas Rio dos Índios (55,7 km²), Lajeado São José (76,3 km²) e Rio Taquaruçuzinho (8,8 km²), nas quais o município de Chapecó está inserido, é apresentada na Figura 8.

Figura 8 – Uso do solo para o perímetro urbano inserido nas bacias hidrográficas do município de Chapecó referente a: a) 1986 e b) 2014.



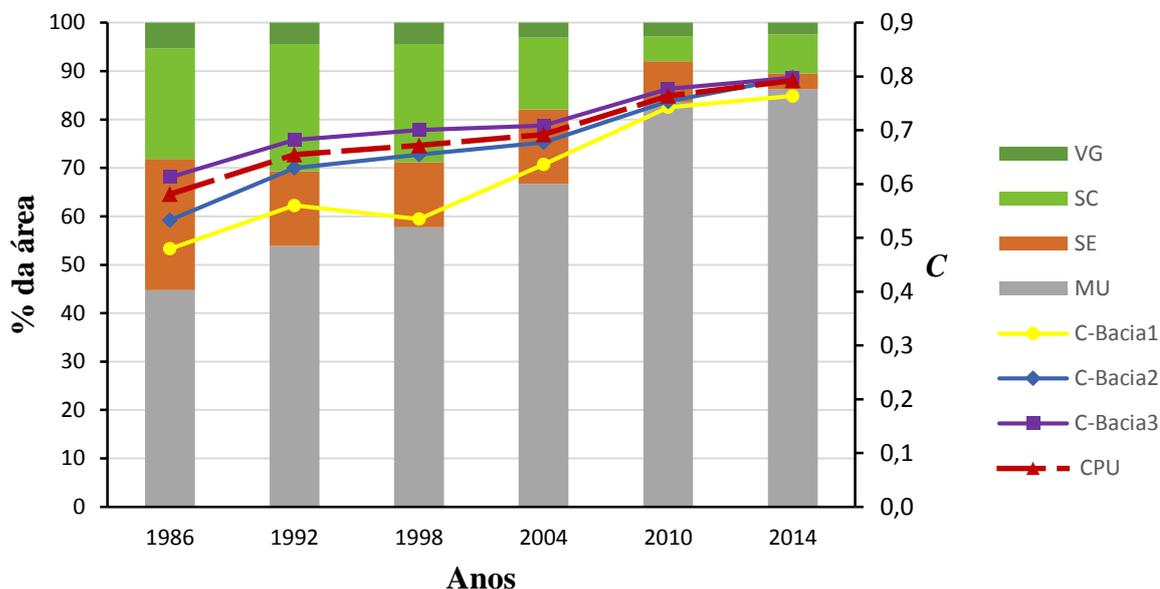
Fonte: elaborado pelo autor.

Observa-se na Figura 8 que a impermeabilização da bacia 3 já era maior em relação às bacias 1 e 2 antes das análises realizadas, mantendo o crescimento do coeficiente C ao longo dos anos avaliados. A porcentagem de ocupação do perímetro urbano na bacia 2 é menor comparada as outras bacias, evidenciando que a urbanização sustentável da bacia 2 pode ser uma alternativa de desenvolvimento controlado para o município de Chapecó.

Segundo Tucci (1997) as enchentes em áreas urbanas ocorrem por dois processos distintos, mas que podem agir integrados. O primeiro é a ocupação desordenada de áreas ribeirinhas e pelo processo de urbanização. O segundo está relacionado ao aumento da ocupação do solo com superfícies impermeáveis, alterando sua cobertura vegetal inicial. Com o aumento do coeficiente C nas 3 bacias hidrográficas em que o município de Chapecó está inserido, podemos afirmar que a susceptibilidade à ocorrência de enchentes também aumenta.

A Figura 9 apresenta a variação do coeficiente C no perímetro urbano no decorrer dos anos de 1986 a 2014 juntamente com as mudanças na porcentagem das áreas das classes em relação a área total do perímetro urbano analisadas no trabalho. Ressalta-se que os coeficientes C de cada bacia foram calculados pela ponderação dos coeficientes de deflúvio adotados para a análise do município com a relação da área ocupada pelo perímetro urbano em cada bacia. Observa-se que o aumento da MU no perímetro urbano foi o principal fator contribuinte para o aumento do coeficiente de deflúvio, diferente das análises realizadas para todo o município. Essa diferença é facilmente verificada na Figura 8 pela evolução da ocupação do solo no perímetro urbano em cada bacia nos anos de 1986 e 2014.

Figura 9 – Aumento da urbanização no perímetro urbano e sua variação do C nas bacias do Rio dos Índios (Bacia 3), Lajeado São José (Bacia 2) e Rio Taquaruçuzinho (Bacia 1).



Fonte: elaborado pelo autor.

Observa-se também na Figura 9 que a queda do C no terceiro ano de análise da bacia 1 é devido ao aumento de SC e diminuição nos valores de SE (Anexo 3), seguindo assim as mesmas afirmações obtidas através da análise dos coeficientes de todo o município. O rápido aumento de C na bacia 1 a partir do ano de 1998 pode ser explicado por Facco, et al, (2014) como uma reação ao predomínio da expansão no sentido norte-oeste do município de Chapecó seguindo a linha de instalação das agroindústrias e os bairros operários.

Analisando os valores de C de cada bacia e do perímetro urbano, verificou-se que todos tendem a convergir para o mesmo valor. Isso se deve ao fato de que em 1986 somente a bacia 3 apresentava valores significativos de MU, enquanto as outras duas bacias não exibiam sinais expressivos de mancha urbana. Com o aumento da urbanização e sua distribuição para as bacias 1 e 2, houve o aumento nos valores do coeficiente C para essas bacias, assim como para a bacia 3 que continuou urbanizando. Dessa maneira, MU tende a alcançar a ocupação total do perímetro urbano em relação a cada bacia (Figura 8).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O software SPRING 5.3 mostrou-se bastante eficaz para o processamento de imagens, provendo de ferramentas para trabalhar com diferentes formas de imagens, gerando composição de cores RGB, contraste e classificação das imagens, fornecendo como produto final o mapa de uso do solo de Chapecó com índices de desempenho em níveis acima de 90% para os treinamentos realizados em cada imagem. Como imagens LANDSAT possuem resolução espacial de 30 metros, aconselha-se o uso de imagens CBERS, que fornecem imagens com resolução espacial de 2,5 metros.

Os dados obtidos mostraram que o município de Chapecó sofreu uma transformação em seus valores de uso e ocupação do solo do ano de 1986 a 2014, onde se pode observar o

aumento da mancha urbana em relação as outras classes de uso do solo estudadas e a variação das demais classes, devido a diferença no intervalo de aquisição das imagens.

A partir da quantificação das diferentes características de infiltração de Chapecó e da atribuição de valores que definam a quantidade de água precipitada que escoar em cada uma delas, pode-se verificar que as bacias hidrográficas em que o município de Chapecó está inserido sofreram um processo de impermeabilização urbana, acarretando em impactos na recarga do aquífero e na ocorrência de enchentes. Com o mapeamento das bacias hidrográficas mais afetadas pela urbanização é possível fazer a visualização das regiões mais críticas ao escoamento superficial.

Com a verificação da interferência da urbanização na impermeabilização do solo em Chapecó e o conseqüente aumento no coeficiente de deflúvio, evidenciam que a aplicação de técnicas de drenagem sustentável em todo perímetro urbano de Chapecó, que favoreçam a infiltração da água da chuva no solo, contribuirá para a redução da frequência de enchentes.

Os resultados obtidos com o trabalho mostram que o processo de urbanização está diretamente correlacionado aos aumentos do coeficiente de deflúvio. A investigação de outros parâmetros que estejam relacionados ao coeficiente de deflúvio pode fornecer dados que permitam evidenciar de maneira mais objetiva a interferência da urbanização no regime de escoamento superficial de Chapecó.

De maneira análoga, a urbanização sustentável também irá gerar variações no coeficiente de deflúvio, de maneira que seus valores tendam positivamente a diminuir em relação aos seus valores atuais. Muitas ideias sustentáveis de se urbanizar a bacia já existem e vem sendo desenvolvidas para assim melhorar a forma como as superfícies são ocupadas.

REFERÊNCIAS

BRITO, J. L. S.; PRUDENTE, Tatiana Diniz. Análise Temporal do Uso do Solo e Cobertura Vegetal do Município de Uberlândia-MG, Utilizando Imagens ETM/LANDSAT7. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 32, n. 17, p.37-46, jun. 2005.

CRUZ, M.A.S.; SOUZA, C.F. & TUCCI, C.E.M. (2007). “Controle da drenagem urbana no Brasil: avanços e mecanismos para sua sustentabilidade”. In: **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. São Paulo/SP. CD-ROM

IFDM, disponível em: <http://www.chapeco.sc.gov.br/noticias/3570--ndice-firjan-de-desenvolvimento-chapeco-e-1-entre-as-cidades-catarinenses-com-mais-de-100-mil-habitantes.html>. Acesso em 08 out. 2015.

FACCO, J.; FUJITA, C.; BERTO, J. L. AGROINDUSTRIALIZAÇÃO E URBANIZAÇÃO DE CHAPECÓ-SC (1950 – 2010): UMA VISÃO SOBRE OS IMPACTOS E CONFLITOS URBANOS E AMBIENTAIS. **Revista do Desenvolvimento Regional**, Santa Cruz do Sul, v. 19, n. 2, p.187-215, jan/abr 2014.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto. Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB**. Brasília - DF, 2005. Disponível em http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm.pdf, acesso 08/11/2015.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2. ed. São Paulo-SP: Editora Edgard Blücher, 1988

GAROTTI, L. M.; BARBASSA, A. P. Estimativa de área impermeabilizada diretamente conectada e sua utilização como coeficiente de escoamento superficial. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, São Carlos, v. 15, n. 1, p.19-28, jan. 2010.

IBGE, Cidades, Informação sobre os municípios brasileiros. Disponível em, <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=420420>, acessado em 08/11/2015

IBGE, Geociências. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/pmrg/faq.shtm#2>, acesso em 09/11/2015, 18:00

KOBIYAMA, M. Ruralização na gestão de recursos hídricos em área urbana. **Revista OESP Construção**, São Paulo, Ano 5, n. 32, p. 112-117, 2000.

KOBIYAMA, M. et al. **CURSO DE CAPACITAÇÃO EM HIDROLOGIA E HIDROMETRIA PARA CONSERVAÇÃO DE MANANCIAS**. 3. ed. Florianópolis: UFSC/CTC/ENS/LabHidro, 2011. 242 p., pag. 15.

LIMA, W. P. Princípios de manejo de bacias hidrográficas. Piracicaba: ESALQ/USP. 143p. 1976.

MONTES, R. M. **A drenagem urbana de águas pluviais e seus impactos: cenário atual de bacia do Córrego Vaca Brava, Goiânia - GO.** 2009. 29 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Católica de Goiás, Goiás, 2009.

NUNES, F. G.; FIORI, A. P.; FIRPO, G. Estimativa de coeficientes de escoamento superficial na bacia hidrográfica do rio Atuba: Curitiba e região metropolitana – Paraná/ Brasil. **Boletim Paranaense de Geociências**, S.l., v. 64, p.27-39, 2011.

PINTO, N. L. S. et al. **Hidrologia básica.** São Paulo: Editora Blucher, 1976.

ROSA, L.; ALVES, M. C.; SANCHES, L. Uso de composições de bandas do satélite Landsat 5 TM para caracterizar a dinâmica da variação de áreas alagadas no Pantanal mato-grossense. In: **XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR**, 15., 2011, Curitiba - Pr. **Anais...** . Curitiba: SBSR, 2011. p. 5292 - 5299.

SANTOS, A. B. dos; PETRONZIO, J. A. C. Mapeamento de uso e ocupação do solo do município de Uberlândia-MG utilizando técnicas de Geoprocessamento. In: **XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR**, 15., 2011, Curitiba - Pr. **Anais...** . Curitiba: SBSR, 2011. p. 6185 – 6192.

SILVEIRA, A.L.L. **Impactos hidrológicos da urbanização em Porto Alegre**, In : Tucci, C.E.M.; Marques, D.M., 2000, Avaliação e Controle da Drenagem Urbana, Editora da Universidade/UFRGS, Porto Alegre, pp 153-163.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e aplicação.** Ed. da Universidade. ABRH, volume 04.Edusp,Porto Alegre,1993

TUCCI, C. E. M.; CRUZ, M. A. S. **Avaliação e Controle da Drenagem Urbana.** 1 ed. Porto Alegre: Editora da Universidade, 2000. 558 p.

TUCCI, C. E. M. et al. **Hidrologia: ciência e aplicações.** 4. ed. Porto Alegre: Editora UFRGS/ABRIL, 2009.

TUCCI, C. E.M. **Água no meio urbano: Livro da água doce - cap 14**, Instituto de pesquisa hidráulica. UFRGS – Porto Alegre- RS: 1997.

UNESCO, **World Water Assessment Programme.** Disponível em: <http://www.unesco.org/water/iyfw2/water_use.shtml>. Acesso em: 12 de maio de 2015.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 245 p.

WILKEN, P. S. (1978). **Engenharia de drenagem superficial.** São Paulo: CETESB

APÊNDICES

Apêndice I – Dados obtidos a partir da classificação supervisionada das imagens.

ANO	Data	Desempenho	Contagem de PIXELS							Total
			Mancha Urbana	Solo Exposto	Solo Cultivado	Vegetação	Branco	Palha	Rio	
1986	14/out	95,32	19708	145121	405054	122876	839641			1532400
1990	25/out	92,66	26175	171005	310397	183720	841103			1532400
1991	12/out	81,83	27708	210017	282956	169218	842501			1532400
1992	14/out	96,18	27815	163907	331549	163569	845560			1532400
1993	20/dez	95,37	31741	88274	351702	183238	877445			1532400
1995	08/nov	94,14	34281	113527	292184	234058	842234	16116		1532400
1996	26/nov	93,6	36101	80004	287427	259842	843470	25556		1532400
1998	02/dez	97,41	38131	95852	284103	249580	852429	12305		1532400
1999	05/dez	93,23	27257	116720	313212	229698	845513			1532400
2000	07/dez	96,01	36837	86266	341999	200978	845447	20873		1532400
2001	26/dez	95,7	40558	69163	412910	159280	850489			1532400
2002	03/nov	95,24	23723	178570	287407	196649	846051			1532400
2003	13/out	97,67	39093	153725	235153	262492	845293			1535756
2004	12/ago	96,11	40747	122261	308494	214180	846718			1532400
2005	03/nov	96,54	39475	88419	341811	217256	845439			1532400
2006	21/out	96,67	40584	114956	278555	248172	850133			1532400
2007	06/set	93,57	40165	105403	341170	200883	844779			1532400
2008	24/set	94,39	42741	99860	299031	212192	848276			1502100
2009	13/out	94,16	43471	132177	283017	222405	846324		5060	1532454
2010	01/nov	95,34	44799	138139	266823	218570	849906	14163		1532400
2011	04/nov	93,23	45341	92846	250643	272845	849717	21008		1532400
2014	07/set	94,72	52449	175562	124528	330838	840350		8673	1532400

Apêndice 2 – Valores obtidos a partir do processamento dos dados da classificação.

Porcentagens				km ²					Coefficiente de Deflúvio
MU	SE	SC	VG	MU	SE	SC	VG	Área Total	C
2,84	20,95	58,47	17,74	17,74	130,6	364,5	110,6	623,5	0,45
3,79	24,74	44,90	26,58	23,56	153,9	279,4	165,3	622,2	0,40
4,02	30,44	41,01	24,53	24,94	189,0	254,7	152,3	620,9	0,39
4,05	23,86	48,27	23,81	25,03	147,5	298,4	147,2	618,2	0,41
4,85	13,48	53,70	27,98	28,57	79,4	316,5	164,9	589,5	0,44
4,97	16,45	42,34	33,91	30,85	102,2	263,0	210,7	606,6	0,40
5,24	11,61	41,72	37,72	32,49	72,0	258,7	233,9	597,0	0,40
5,61	14,10	41,78	36,70	34,32	86,3	255,7	224,6	600,9	0,40
3,97	16,99	45,60	33,44	24,53	105,0	281,9	206,7	618,2	0,40
5,36	12,56	49,78	29,26	33,15	77,6	307,8	180,9	599,5	0,44
5,95	10,14	60,55	23,36	36,50	62,2	371,6	143,4	613,7	0,48
3,46	26,02	41,87	28,65	21,35	160,7	258,7	177,0	617,7	0,38
5,66	22,26	34,06	38,02	35,18	138,4	211,6	236,2	621,4	0,37
5,94	17,83	44,99	31,24	36,67	110,0	277,6	192,8	617,1	0,41
5,75	12,87	49,76	31,63	35,53	79,6	307,6	195,5	618,3	0,43
5,95	16,85	40,83	36,37	36,53	103,5	250,7	223,4	614,0	0,39
5,84	15,33	49,62	29,21	36,15	94,9	307,1	180,8	618,9	0,43
6,54	15,27	45,74	32,45	38,47	89,9	269,1	191,0	588,4	0,42
6,34	19,26	41,25	32,41	39,12	119,0	254,7	200,2	613,0	0,40
6,56	20,24	39,10	32,03	40,32	124,3	240,1	196,7	601,5	0,40
6,64	13,60	36,71	39,97	40,81	83,6	225,6	245,6	595,5	0,39
7,58	25,37	17,99	47,81	47,20	158,0	112,1	297,8	615,0	0,31

Apêndice 3 – Valores obtidos da análise do perímetro urbano para cada bacia hidrográfica.

Ano	Bacia 1				Bacia 2				Bacia 3			
	MU	SE	SC	VG	MU	SE	SC	VG	MU	SE	SC	VG
2014	3471	108	296	325	8531	268	930	160	26851	949	2297	607
2010	3343	371	275	209	8069	978	547	263	26282	2197	1447	671
2004	2608	799	646	403	6291	1741	1772	232	21443	4236	4164	791
1998	1563	1121	1099	529	5204	1362	2904	497	19438	3402	6916	963
1992	1409	615	1490	647	4679	1695	2921	470	18310	4291	7218	821
1986	1214	1178	1020	809	3299	3049	2842	630	15668	7896	6198	865
Km²												
2014	3,1239	0,0972	0,2664	0,2925	7,6779	0,2412	0,837	0,144	24,1659	0,8541	2,0673	0,5463
2010	3,0087	0,3339	0,2475	0,1881	7,2621	0,8802	0,4923	0,2367	23,6538	1,9773	1,3023	0,6039
2004	2,3472	0,7191	0,5814	0,3627	5,6619	1,5669	1,5948	0,2088	19,2987	3,8124	3,7476	0,7119
1998	1,4067	1,0089	0,9891	0,4761	4,6836	1,2258	2,6136	0,4473	17,4942	3,0618	6,2244	0,8667
1992	1,2681	0,5535	1,341	0,5823	4,2111	1,5255	2,6289	0,423	16,479	3,8619	6,4962	0,7389
1986	1,0926	1,0602	0,918	0,7281	2,9691	2,7441	2,5578	0,567	14,1012	7,1064	5,5782	0,7785
Porcentagem em relação à Bacia												
2014	35,25	1,10	3,01	3,30	10,06	0,32	1,10	0,19	43,39	1,53	3,71	0,98
2010	33,95	3,77	2,79	2,12	9,51	1,15	0,65	0,31	42,47	3,55	2,34	1,08
2004	26,49	8,11	6,56	4,09	7,42	2,05	2,09	0,27	34,65	6,84	6,73	1,28
1998	15,87	11,38	11,16	5,37	6,14	1,61	3,42	0,59	31,41	5,50	11,17	1,56
1992	14,31	6,25	15,13	6,57	5,52	2,00	3,44	0,55	29,58	6,93	11,66	1,33
1986	12,33	11,96	10,36	8,22	3,89	3,60	3,35	0,74	25,32	12,76	10,01	1,40