

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

JÉSSICA FERNANDA OGASSAWARA

**GEOMÁTICA APLICADA À ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE ESCOAMENTO
SUPERFICIAL DO MÉTODO RACIONAL**

**Itaqui
2017**

JESSICA FERNANDA OGASSAWARA

**GEOMÁTICA APLICADA À ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE ESCOAMENTO
SUPERFICIAL DO MÉTODO RACIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Agrimensura da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharela em Engenharia de Agrimensura.

Orientadora: Leydimere Janny Cota Oliveira

**Itaqui
2017**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

O34g| Ogassawara, Jéssica Fernanda
GEOMÁTICA APLICADA À ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE
ESCOAMENTO SUPERFICIAL DO MÉTODO RACIONAL / Jéssica Fernanda
Ogassawara.
21 p.
Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, ENGENHARIA DE AGRIMENSURA, 2017.
"Orientação: Leydimere Janny Cota Oliveira".
1. Coeficiente de Escoamento Superficial. 2. Sistema de
Drenagem. 3. Método Racional. I. Título.

JESSICA FERNANDA OGASSAWARA

**GEOMÁTICA APLICADA À ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE ESCOAMENTO
SUPERFICIAL DO MÉTODO RACIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia de
Agrimensura da Universidade Federal do
Pampa, como requisito parcial para
obtenção do Título de Bacharela em
Engenharia de Agrimensura.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 30 de junho de 2017.

Banca examinadora:

Profa. Dra. Leydimere Janny Cota Oliveira
Orientadora
Unipampa

Prof. Me. Marcelo Jorge de Oliveira
Unipampa

Prof. Esp. Robert Martins da Silva
Unipampa

RESUMO

O crescimento urbano acelerado, o uso inadequado do solo, a falta de planejamento e a infraestrutura inadequada alteram o ciclo hidrológico natural diminuindo a infiltração da água no solo e aumentando o escoamento superficial das águas pluviais. Assim, se faz necessário conhecer a vazão máxima e a capacidade da bacia de suportá-la, visando um dimensionamento apropriado das obras hidráulicas. Um dos métodos mais utilizado para estimar vazões de projeto de obras hidráulicas é o Método Racional, que tem como principal parâmetro o coeficiente de escoamento superficial (C). Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi obter o valor de C para os períodos de retorno de 2, 5, 10 e 25 anos para o bairro Cohab localizado no município de Itaqui-RS, utilizando técnicas da ciência denominada Geomática. Para a execução deste trabalho foi realizado um levantamento planialtimétrico e posterior processamento dos dados para a geração de um Modelo Digital de Elevação (MDE), utilizado no cálculo da declividade da área em estudo. Também foram determinadas as classes do uso e cobertura do solo da área por meio da classificação supervisionada de uma imagem de satélite. Finalmente, os valores de C foram estimados a partir da sobreposição dos mapas de declividade e de uso e cobertura do solo, considerando os diferentes períodos de retorno em análise. Acredita-se que os resultados obtidos através deste estudo poderão servir de auxílio para a determinação da vazão máxima de projetos de drenagem urbana para o bairro Cohab após realizada a validação dos mesmos.

Palavras-Chave: Coeficiente de Escoamento Superficial. Sistema de Drenagem. Método Racional.

ABSTRACT

Accelerated urban growth, inadequate land use, absence of planning and inadequate infrastructure alter the natural hydrological cycle by decreasing water infiltration into the soil and increasing runoff. Thus, it is necessary to know the maximum flow and capacity of the basin to support it, aiming at an appropriate design of the hydraulic works. One of the most widely used methods to estimate flow rates for hydraulic works is the Rational Method, whose main parameter is the runoff coefficient (C). In this context, the objective of this work was to obtain the value of C for the return periods of 2, 5, 10 and 25 years for the Cohab neighborhood located in the city of Itaqui-RS, using techniques of the science called Geomatics. For the execution of this work, a planialtimetric survey and subsequent data processing were performed for the generation of a Digital Elevation Model (MDE), used to calculate the slope of the study area. The classes of land use and land cover were also determined by supervised classification of a satellite image. Finally, the values of C were estimated from the overlap of slope maps and land use and cover, considering the different periods of return under analysis. It is believed that the results obtained through this study may serve as an aid to determine the maximum flow of urban drainage projects to the Cohab neighborhood after the validation of the same.

Keywords: Runoff Coefficient. Drainage System. Rational Method.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA | 3 |
| 3 MATERIAIS E MÉTODOS | 6 |
| 3.1 Área de estudo | 6 |
| 3.2 Modelo Digital de Elevação (MDE) | 6 |
| 3.3 Coeficiente de escoamento superficial (C) | 8 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 11 |
| 4.1 Georreferenciamento da Imagem de Satélite..... | 11 |
| 4.2 Determinação do Modelo Digital de Elevação (MDE)..... | 12 |
| 4.3 Mapa do Uso do Solo | 13 |
| 4.4 Determinação do Coeficiente de Escoamento (C)..... | 15 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 17 |
| REFERÊNCIAS..... | 18 |
| ANEXO A – Relatório de Processamento da Base | 21 |

1 INTRODUÇÃO

A falta de planejamento urbano somado ao crescimento populacional e ao uso inadequado do solo promove a alteração do ciclo hidrológico das bacias hidrográficas, como por exemplo a diminuição da infiltração da água no solo, fator este que influencia no aumento do escoamento superficial das águas pluviais que fluem através das obras hidráulicas (MONTES; LEITE, 2009). O aumento do volume do escoamento superficial, por sua vez provoca o aumento da vazão de cheia dos cursos d'água, o que pode ocasionar alagamentos, podendo deixar muitas pessoas desabrigadas e gerar altos prejuízos econômicos para os municípios (TUCCI, 2016; PORTO, 1995).

A água que escoar no solo após a precipitação deve ser avaliada e quantificada para que seja possível o dimensionamento das obras hidráulicas, tais como: bocas de lobo, canalizações e galerias. Essa avaliação é denominada de estimativa de vazões e uma das maneiras mais conhecidas para a obtenção de tal processo é através do Método Racional, um modelo bastante utilizado em projetos de drenagem (ReCESA, s/d).

O Método Racional é muito utilizado na engenharia para estimar as vazões de pico de cheias em pequenas bacias hidrográficas, especialmente, para o dimensionamento de estruturas hidráulicas, visando uma maior eficiência no sistema de drenagem urbana (THANAPURA *et al.*, 2007). Um dos principais parâmetros deste método é o coeficiente de escoamento superficial (C) (YOUNG *et al.*, 2009).

Conforme Urbonas e Roesner (1992, apud TUCCI, s/d) o C possui um valor variável devido a distribuição da precipitação, o uso do solo, a cobertura vegetal e a topografia da bacia hidrográfica (TUCCI, s/d). Para fins de projeto, os engenheiros geralmente utilizam valores tabelados de C, os quais são encontrados em quase todos os manuais introdutórios de hidrologia para engenharia e são incorporadas aos padrões de projeto para agências governamentais locais e estaduais (YOUNG *et al.*, 2009).

Segundo Young *et al.* (2009), embora essas tabelas sejam disponíveis e amplamente utilizadas, a base empírica para os valores de C muitas vezes não é documentada. Desta maneira, a estimativa precisa deste coeficiente é de extrema importância para o dimensionamento adequado das obras hidráulicas (BIANCHI *et al.*, 2012), visando um sistema de drenagem eficaz para garantir a segurança da população.

Novas tecnologias e melhorias nas capacidades computacionais estão sendo desenvolvidas e cada vez mais sendo utilizadas para estudos e pesquisas hidrológicas (ROSA, 2009; FAUSTINO *et al.*, 2014), englobando a ciência denominada Geomática. Conforme Silveira (2016):

A Geomática consiste em um campo de atividades que integra análise, apresentação, distribuição e gerenciamento de dados espaciais necessários às tomadas de decisão. Mesmo sendo um termo relativamente novo, representa a evolução dos campos de levantamento e mapeamento, reunindo atividades tradicionais de cartografia, topografia e geodésia, com as novas tecnologias: sensoriamento remoto, sistemas de informações geográficas (SIG) e sistemas de posicionamento global por satélite (GNSS).

Os fatores citados acima influenciam na obtenção de variáveis que auxiliam no dimensionamento de obras hidráulicas com maior grau de precisão. Nesse contexto, recursos matemáticos e computacionais destas técnicas foram utilizados para a elaboração deste trabalho, com a finalidade de tratar as informações geográficas e de otimizar e aperfeiçoar o processo de obtenção dos resultados.

Dessa maneira, o objetivo do presente trabalho foi obter o valor de C para os períodos de retorno de 2, 5, 10 e 25 anos para o bairro Cohab localizado no município de Itaqui-RS utilizando ferramentas de geoprocessamento e levantamentos de campo. Tais parâmetros poderão servir de auxílio para a determinação da vazão máxima de projetos de drenagem urbana para a área em estudo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O escoamento superficial corresponde a parcela do ciclo hidrológico referente a locomoção das águas sobre a superfície do solo. Pois, da precipitação que atinge o solo, parte fica retida na cobertura do solo, e do excedente da água retida, parte se infiltra e a outra parte escoam superficialmente (TUCCI, 2009).

Normalmente, em áreas urbanas quando ocorre a precipitação, a mesma transcorre sobre superfícies impermeáveis, acarretando no aumento do escoamento superficial e na velocidade de locomoção por condutos e canais, diminuindo o processo de infiltração e limitando a evapotranspiração e, por conseguinte aumentando o escoamento superficial (TUCCI, 2016).

Alguns fatores podem influenciar no escoamento superficial, segundo Carvalho e Silva (2006), estes fatores são:

Clima, fatores fisiográficos e permeabilidade da bacia hidrográfica. Dentre os fatores climáticos se sobressai a intensidade e a duração da precipitação, pois quanto maior a intensidade da precipitação, mais rápido o solo atinge sua capacidade de infiltração ocasionando o escoamento superficial. Em relação a duração, para precipitações de intensidade constante, haverá maior possibilidade de escoamento quanto maior for a duração da precipitação. Também vale ressaltar a influência da precipitação antecedente, pois uma precipitação que se sucede quando o solo já está úmido devido a uma chuva anterior, terá maior propensão de escoamento. Outro fator importante é a extensão da bacia hidrográfica analisada, pois está relacionada à quantidade de água que ela pode captar. Já a permeabilidade do solo influi na capacidade de infiltração da bacia, pois, quanto mais permeável for o solo, maior será a quantidade de água que ele pode absorver, diminuindo assim a ocorrência do escoamento superficial.

O dimensionamento de obras hidráulicas exige o estudo das precipitações intensas, para a aquisição da altura da chuva de projeto, com a qual é definida a vazão a ser empregada. Em relação aos projetos de drenagem são necessárias, também, dados sobre o escoamento superficial. Quando o propósito é manter ou conservar toda água, a obtenção do volume escoado é suficiente. Entretanto, se a dificuldade é a locomoção do excesso de água de um local para outro, a vazão de escoamento

superficial é mais significativa, principalmente a vazão condizente a um determinado período de retorno (SCHWAB *et al.*, 1966).

Como as mensurações do escoamento superficial são onerosas, tem sido incentivado o desenvolvimento e o uso de modelos matemáticos para determinar o escoamento superficial (MA *et al.*, 1998 apud SILVA *et al.*, 2006). Um dos modelos mais utilizados para se estimar as vazões máximas através de dados de precipitação, é o método racional (SILVA, *et al.*, 2006). Esta equação estima a vazão máxima de escoamento da área de interesse, sujeita a uma intensidade máxima de precipitação, como pode ser observado abaixo:

$$Q = \frac{C \times I \times A}{360} \quad (1)$$

Onde: Q é vazão máxima de escoamento em $m^3.s^{-1}$; C é o coeficiente de escoamento; I é a intensidade média máxima de precipitação em $mm.h^{-1}$ e A é a área de contribuição da bacia em ha .

No entanto, para a aplicação adequada do método racional é necessário utilizar valores apropriados do coeficiente de escoamento, ressaltando que tal valor varia de acordo com as características da bacia hidrográfica em estudo. Geralmente, esses valores são encontrados em tabelas e manuais, que têm como referência um manual de projeto de esgoto sanitário e de águas pluviais de 1969, produzido em conjunto pela Sociedade Americana de Engenheiros Civis (ASCE) e pela Federação de Controle de Poluição de Água (WPCF), o qual forneceu uma tabela de valores de C para diferentes usos do solo, mas não apresentou qualquer informação sobre como esses valores foram adquiridos (YOUNG, *et al.*, 2009).

Bonta e Rao (1992 apud Pruski *et al.*, 2001), já alertavam sobre a importância para projetos de engenharia que visam obras hidráulicas, a obtenção dos valores de C de maneira mais fidedigna possível, para que as estruturas do projeto suportem as vazões máximas decorrentes do escoamento superficial.

Corroboram com esta afirmativa os estudos realizados por Hotchkiss e Provaznik (1995 apud YOUNG *et al.*, 2009) e Young *et al.* (2009). No primeiro estudo, foram determinados os valores de C para 24 pequenas bacias hidrográficas agrícolas no centro-sul de Nebraska usando dados dependentes de chuvas intensas para

calcular uma relação entre a taxa de vazão de pico e a intensidade de precipitação, utilizando uma abordagem baseada em frequência, os valores de C variaram de 0,20 a 0,82 para um período de retorno de 10 anos (HOTCHKISS; PROVAZNIK, 1995 apud YOUNG *et al.*, 2009). Já no segundo estudo, Young *et al.* (2009) determinaram os valores de C para 72 bacias hidrográficas em Kansas, com as áreas variando em até 76,6 km², com uma abordagem baseada também em frequências. E, os valores de C variaram de 0,17 para o intervalo de recorrência de 2 anos na região ocidental até 0,97 para o intervalo de recorrência de 100 anos na região oriental (YOUNG *et al.*, 2009).

Novas tecnologias e metodologias têm sido desenvolvidas e aplicadas para otimizar e auxiliar na obtenção do coeficiente C, dentre elas o levantamento planialtimétrico através do posicionamento relativo, utilizando receptores GNSS (Sistemas Globais de Navegação por Satélite). No posicionamento relativo, as coordenadas de um ponto são determinadas em relação a um referencial materializado de coordenada conhecida (IBGE, 2008). Conforme as recomendações do IBGE (2008), é fundamental que pelo menos dois receptores GNSS rastreiem os dados de, no mínimo, dois satélites concomitantemente, sendo que um dos receptores deve estar instalado no referencial de coordenada conhecida.

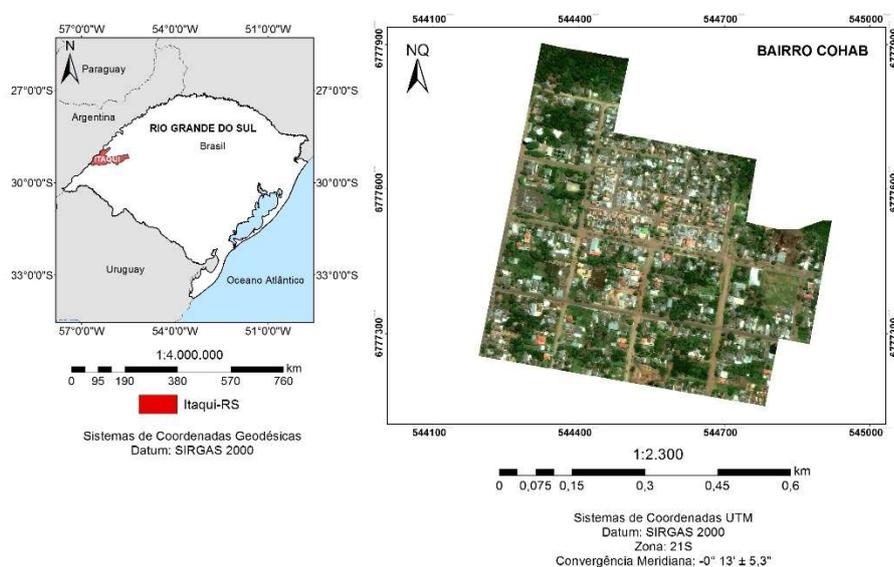
Um dos produtos que pode ser obtido a partir do levantamento planialtimétrico são os Modelos Digitais de Elevação (MDE), utilizados para a estimativa da declividade da área de estudo. Para gerar o MDE são interpolados os dados de altitude obtidos através do processamento dos dados do levantamento dentro de um ambiente SIG. Dentre os interpoladores disponíveis (Inverso da Distância Ponderada (IDW), Krigagem, Spline, etc...) o mais recomendado e utilizado para questões hidrológicas é o Topo to Raster, pois este interpolador leva em consideração a direção e o sentido do fluxo do escoamento superficial ao longo da área levantada (CHAVES, 2002).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O município de Itaqui localiza-se na Fronteira Oeste do estado do Rio Grande do Sul, na divisa com a Argentina, sendo banhado pelo Rio Uruguai e tem como cidades limítrofes: Alegrete, Maçambará, Manoel Viana, São Borja e Uruguai (Figura 1). A cidade possui uma população com 38.159 habitantes em uma área de 3.404,037 km², segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010).

Figura 1- Mapa de localização do bairro Cohab no município de Itaqui-RS



Fonte: Elaborado por OGASSAWARA (2016), a partir da imagem de satélite WorldView-3 (DIGITAL GLOBE, 2014) e de dados cartográficos disponíveis na página do IBGE

Tendo em vista que a ocupação urbana em áreas declivosas está mais sujeita aos impactos ambientais decorrentes da ausência de um sistema de drenagem, a área determinada para o estudo foi o Bairro Cohab (Figura 1), região bastante acidentada dentro da área urbana do município de Itaqui, a qual é drenada pelo Rio Cambaí - afluente do Rio Uruguai.

3.2 Modelo Digital de Elevação (MDE)

Levantamentos planialtimétricos foram realizados na região do Bairro Cohab, utilizando-se receptores GNSS Ashtech ProMark 500 de dupla frequência L1/L2 com precisão horizontal 3mm+0,5ppm e vertical 6mm+0,5ppm. Os rastreios das

coordenadas tiveram duração de 5 minutos para áreas abertas e de 10 minutos para áreas onde se encontraram elementos que poderiam obstruir o sinal do receptor, como árvores e prédios, seguindo as especificações do IBGE (IBGE, 2008), totalizando 161 pontos levantados.

Para a realização do rastreamento das coordenadas e posterior processamento dos dados, foi utilizado como ponto de controle um vértice de centragem forçada de coordenada conhecida, obtida através de processamento via Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC). O processamento do vértice de coordenada conhecida foi realizado através da triangulação usando como base as estações de Alegrete e Cerro Largo, ambos pertencem a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo. O vértice se encontra na Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) no campus de Itaqui-RS e seu respectivo relatório de processamento se encontra no Anexo A.

Para o processamento dos dados foi utilizado o software GNSS solutions versão 3.70.5 com licença livre para utilização em 30 dias, permitindo a obtenção das coordenadas geodésicas e altitudes elipsoidais dos pontos coletados. Em seguida, para maiores facilidades de cálculos, as coordenadas geodésicas foram convertidas para coordenadas planas UTM (Universal Transversa de Mercator), através do software ProGrid. As altitudes elipsoidais também foram convertidas, através do software MAPGEO2015, para altitudes ortométricas, por meio da obtenção da ondulação geoidal. Ambos os softwares, ProGrid e MAPGEO2015, são fornecidos gratuitamente pelo IBGE.

Posteriormente, os dados foram interpolados para a obtenção do MDE da área de estudo, visando a representação do relevo de forma fidedigna (CHAVES, 2002). Para tal processo foi utilizado o software ArcGIS 10.2.2 © Environmental Systems Research Institute Inc (ESRI, 2014), utilizando o interpolador "*Topo to Raster*". Pois, esse método de interpolação tem como o objetivo converter dados vetoriais em modelos hidrológicos de elevação assegurando a convergência do escoamento superficial ao longo da drenagem mapeada, garantindo assim a sua consistência hidrológica (NOGUEIRA; AMARAL, 2009; CHAVES, 2002).

3.3 Coeficiente de escoamento superficial (C)

Uma vez que o coeficiente de escoamento superficial se transforma de acordo com a urbanização da bacia o valor de C foi obtido através da avaliação do tipo de cobertura e uso do solo, declividade do terreno e tempo de retorno de 2, 5, 10 e 25 anos, conforme a Tabela 1 adaptada de Genovez (2001).

A partir do MDE gerado, foi possível determinar a declividade da área em estudo através da ferramenta “*slope*” do software ArcGIS, com a finalidade de se observar a topografia da região em questão, necessária para a determinação do coeficiente de escoamento superficial. Em seguida a declividade foi definida em três classes segundo Genovez (2001): Plano (0 – 2%), Médio (2 – 7%) e Inclinado (acima de 7%).

Tabela 1- Classes do uso do solo

| Superfície | Tempos de Retorno (anos) | | | |
|-------------------------------------|--------------------------|------|------|------|
| | 2 | 5 | 10 | 25 |
| Asfalto | 0,73 | 0,77 | 0,81 | 0,86 |
| Telhado | 0,75 | 0,80 | 0,83 | 0,88 |
| Gramados (cobrimento > 75% da área) | | | | |
| Plano (0-2%) | 0,21 | 0,23 | 0,25 | 0,29 |
| Médio (2-7%) | 0,29 | 0,32 | 0,35 | 0,39 |
| Inclinado (>7%) | 0,34 | 0,37 | 0,40 | 0,44 |
| Floresta | | | | |
| Plano (0-2%) | 0,22 | 0,25 | 0,28 | 0,31 |
| Médio (2-7%) | 0,31 | 0,34 | 0,36 | 0,40 |
| Inclinado (>7%) | 0,35 | 0,39 | 0,41 | 0,45 |

Fonte: Adaptado de GENOVEZ (2001)

Para a determinação das classes do uso e cobertura do solo foi realizado a classificação supervisionada, através do método da Máxima Verossimilhança, tomando como base 71 pontos de uso do solo, os quais foram obtidos por intermédio da imagem de satélite WorldView3 (DIGITAL GLOBE, 2014) fornecida pela Prefeitura Municipal de Itaquí-RS, com resolução espacial de 30 cm, utilizando-se a ferramenta “*Maximum Likelihood Classification*” do software ArcGIS. As classificações adotadas seguiram a abordagem de Genovez (2001), conforme a Tabela 1. A precisão da classificação do uso do solo foi avaliada por meio do coeficiente Kappa (K), pois,

segundo Congalton (1991), este coeficiente é adequado neste tipo de avaliação, por levar em consideração toda a matriz de confusão na resolução de seus cálculos. O coeficiente Kappa foi estimado pela seguinte equação:

$$K = \frac{n \sum_{i=1}^c x_{ii} - \sum_{i=1}^c x_{i+} x_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^c x_{i+} x_{+i}} \quad (2)$$

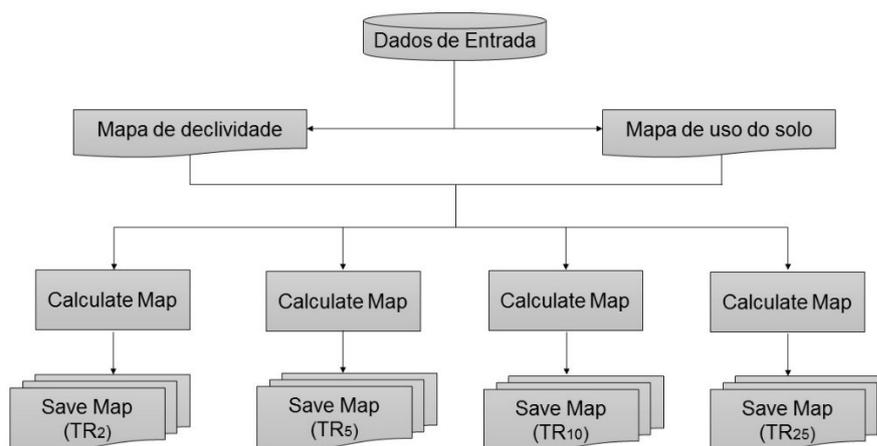
Onde: K é uma estimativa do coeficiente Kappa; x_{ii} é o valor na linha i e coluna i ; x_{+i} é a soma da linha i e x_{i+} é a soma da coluna i da matriz de confusão; n é o número total de amostras e c o número total de classes.

Como toda imagem de satélite possui distorções sistemáticas devido ao seu processo de aquisição, foi necessário realizar o georreferenciamento da imagem de satélite utilizada no estudo em questão, considerando pontos de controle obtidos através do levantamento planialtimétrico. Foram utilizados 07 pontos de controle, enquadrando-se na recomendação de que deve ser utilizado no mínimo 06 pontos, conforme Richards (1993), quando se utiliza uma equação de polinômio de 1º grau para o georreferenciamento. Vale ressaltar que os pontos de controle escolhidos devem estar bem distribuídos dentro da área de estudo, pois este fato influencia na precisão geométrica obtida através da estatística do Resíduo Médio Quadrático (RMS) (SANTOS *et al.*, 2008). Para tal procedimento, utilizou-se a ferramenta “Georeferencing” também do software ArcGIS.

Após a obtenção dos mapas de declividade e de classificação do uso do solo para o bairro Cohab, foi realizada a sobreposição de ambos para a obtenção dos valores de C , considerando-se as classificações e os diferentes tempo de retorno.

Nesta etapa, utilizou-se o software DinamicaEGO, plataforma de modelagem ambiental que possibilita a execução de modelos analíticos elaborados a partir de dados de hipóteses (SOARES-FILHO *et al.*, 2013), conforme o fluxograma a seguir.

Figura 2 - Fluxograma do modelo utilizado no DinamicaEGO



Fonte: Elaborado por OGASSAWARA (2017)

Após serem adicionados os dados de entrada no software, foi utilizada a ferramenta “*Calculate Map*” para a execução dos cálculos necessários para a obtenção dos valores de C, sendo que as mesmas foram executadas sobre toda a extensão de ambos os mapas, visando a aquisição do resultado final: quatro mapas de sobreposição, sendo um para cada período de retorno em análise.

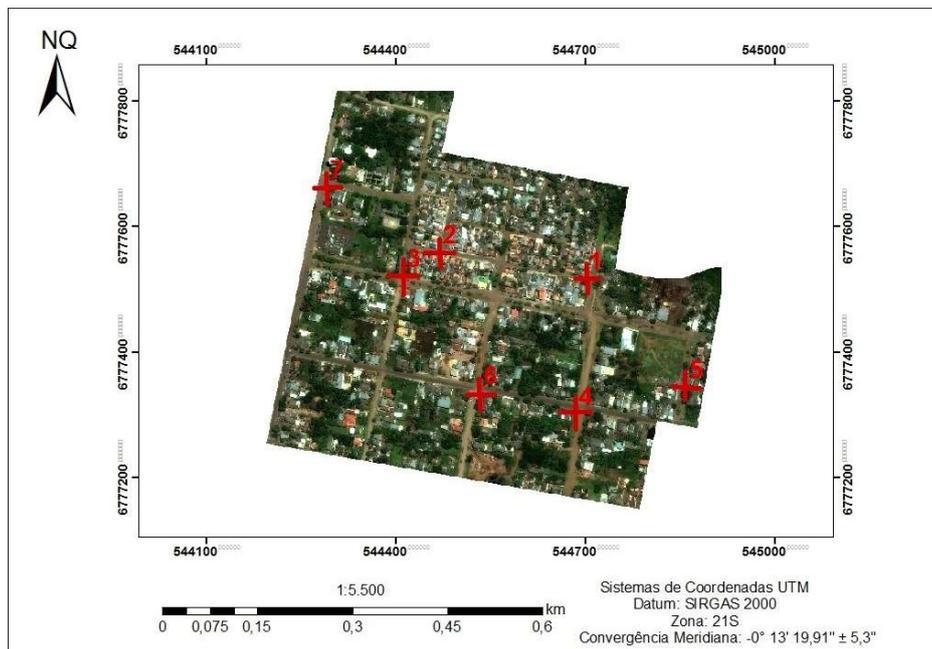
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Georreferenciamento da Imagem de Satélite

Os 07 pontos de controle utilizados no georreferenciamento da imagem de satélite estão apresentados na Figura 3. Observa-se que a escolha dos pontos de controle foi feita de maneira que os mesmos estivessem distribuídos em diferentes regiões da área de estudo.

Pode-se observar na Tabela 2 os pares de coordenadas dos pontos de controle (X, Y levantamento) e os respectivos valores dos pares de coordenadas na imagem (X, Y imagem), obtendo assim um residual entre ambos os pares de coordenadas, que se refere ao deslocamento dos mesmos. Também é possível observar na tabela o RMS total de 0,190m, se enquadrando na recomendação de que o RMS tolerável deve alcançar, no máximo, o valor de 1 pixel do raster, neste caso: 0,30m (MELO *et al.*, 2015).

Figura 3 - Pontos de controle para o georreferenciamento



Fonte: Elaborado por OGASSAWARA (2017), a partir da imagem de satélite WorldView-3

Tabela 2 - Dados do Georreferenciamento

| Pontos | Levantamento (m) | | Imagem (m) | | Residual (m) | | |
|--------|------------------|-------------|------------|-------------|--------------|--------|----------|
| | X | Y | X | Y | X | Y | Residual |
| 1 | 544706,847 | 6777517,430 | 544703,329 | 6777516,217 | -0,087 | -0,707 | 0,112 |
| 2 | 544469,976 | 6777562,682 | 544466,081 | 6777560,757 | -0,216 | 0,000 | 0,216 |
| 3 | 544415,110 | 6777520,982 | 544411,388 | 6777518,712 | 0,119 | 0,115 | 0,165 |
| 4 | 544415,110 | 6777306,714 | 544681,918 | 6777304,798 | 0,195 | 0,141 | 0,241 |
| 5 | 544415,110 | 6777344,923 | 544857,690 | 6777343,758 | 0,067 | 0,000 | 0,067 |
| 6 | 544537,801 | 6777336,384 | 544533,542 | 6777333,627 | -0,224 | -0,180 | 0,287 |
| 7 | 544291,578 | 6777664,831 | 544287,996 | 6777662,424 | 0,146 | 0,000 | 0,146 |

RMS total = 0,190m

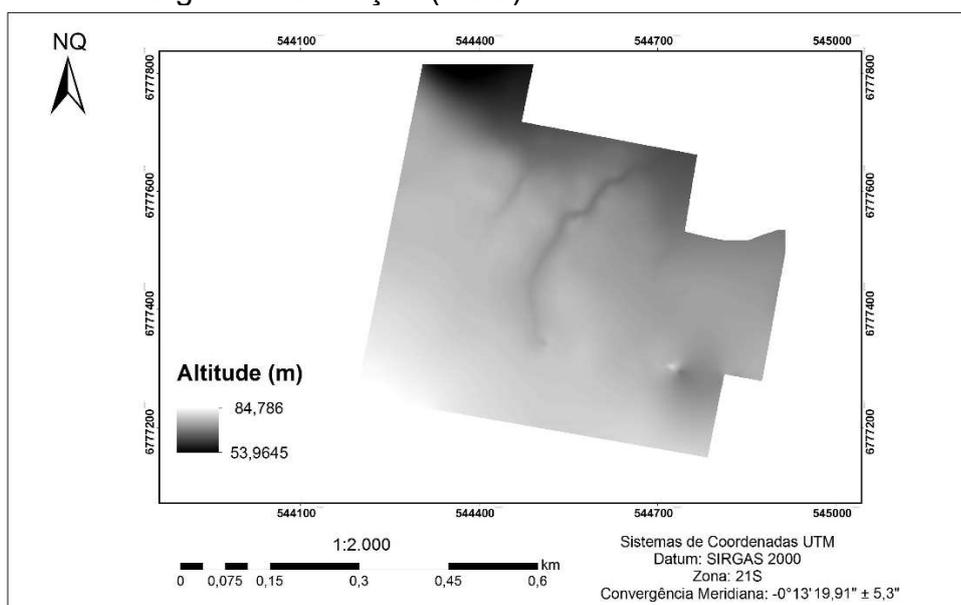
Fonte: Elaborado por OGASSAWARA (2017)

4.2 Determinação do Modelo Digital de Elevação (MDE)

Após o processamento dos dados obtidos através do levantamento planialtimétrico, foi possível gerar o MDE (Figura 4), que serviu de base na determinação do mapa de declividade (Figura 5) da área em estudo. Para tal processo, foi considerado as características da classificação do uso do solo, ou seja, número de linhas e colunas, coordenadas limites (X, Y) e tamanho das células, pois estas informações devem ser iguais para ambos os mapas, devido à influência no processo de sobreposição dos mesmos no software DinamicaEGO. Conseqüentemente, o MDE gerado também possui resolução espacial de 30 cm.

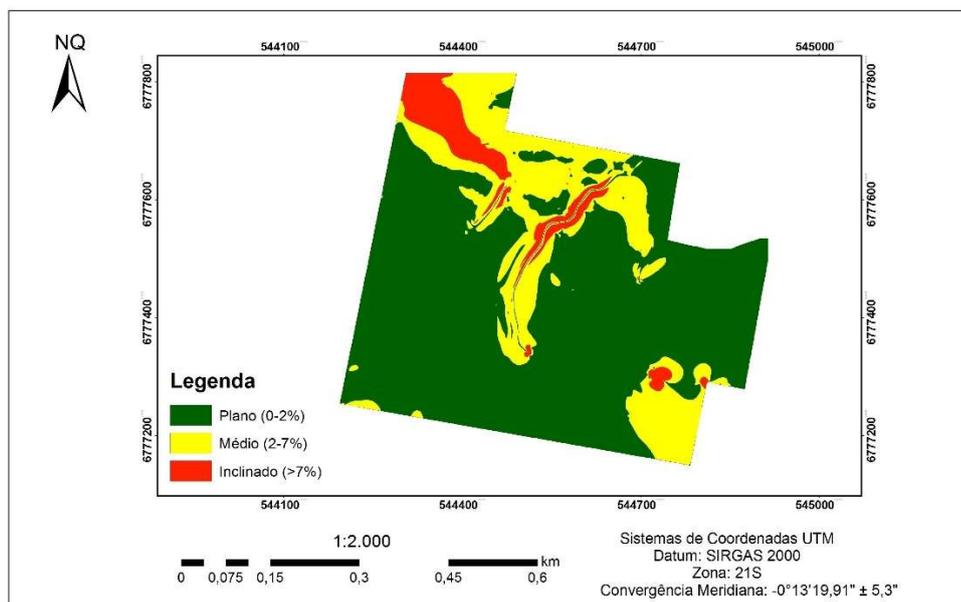
Conforme observado na Figura 4, a área em estudo possui um desnível de 30,82 m com maiores altitudes na porção sul, dessa maneira esta região acaba recebendo fluxos de escoamento superficial a montante. Também é analisado a predominância de áreas planas na região, característica essa que influencia na velocidade do escoamento superficial, que por sua vez acaba tendo menos intensidade, principalmente nas regiões com maiores altitudes (Figura 5).

Figura 4 - Modelo Digital de Elevação (MDE)



Fonte: Elaborado por OGASSAWARA (2017)

Figura 5 - Mapa de Declividade



Fonte: Elaborado por OGASSAWARA (2017)

4.3 Mapa do Uso do Solo

A Figura 6 ilustra a classificação do uso do solo do bairro Cohab e a Tabela 3 apresenta os valores de área referentes à cada uma das classes encontradas.

Os maiores percentuais observados foram para as classes de Telhado com 26,30% e de Asfalto com 25,54%, já as classes de Gramado e de Florestas

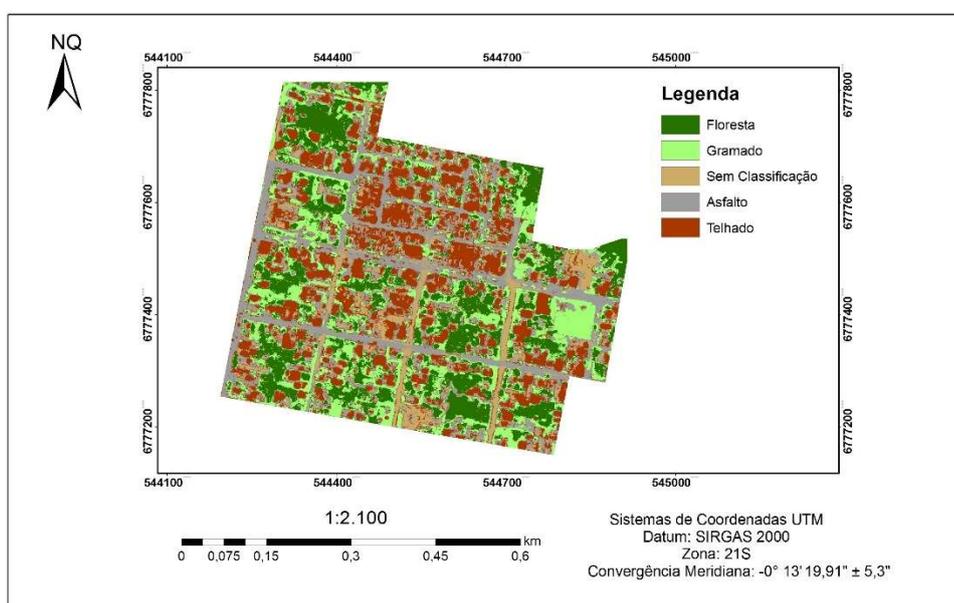
apresentaram valores muito próximos iguais a 19,76% e 19,56%, respectivamente. A menor área classificada foi de 8,84% sendo identificada como áreas sem classificação, pois não se enquadravam na classificação proposta por Genovez (2001). Mais de 50% da área de estudo são áreas impermeáveis que influenciam no aumento do escoamento superficial.

Tabela 3 - Área correspondente à cada Classificação do uso do solo

| Classificação | Área (km ²) | % da Área |
|-------------------|-------------------------|-----------|
| Floresta | 0,06 | 19,56 |
| Gramado | 0,06 | 19,76 |
| Sem Classificação | 0,03 | 8,84 |
| Asfalto | 0,08 | 25,54 |
| Telhado | 0,08 | 26,30 |
| Área total | 0,32 | 100,00 |

Fonte: Elaborado por OGASSAWARA (2017).

Figura 6 - Mapa de Classificação do uso do solo



Fonte: Elaborado por OGASSAWARA (2017), a partir da imagem de satélite WorldView-3

Tabela 4 - Matriz de Confusão e Índice Kappa

| Classes | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Soma (linhas) |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|-----------|---------------|
| 1) Floresta | 6 | 2 | 0 | 0 | 0 | 8 |
| 2) Gramado | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| 3) Sem Classificação | 0 | 0 | 0 | 16 | 2 | 18 |
| 4) Asfalto | 0 | 0 | 11 | 3 | 1 | 15 |
| 5) Telhado | 0 | 0 | 0 | 1 | 20 | 21 |
| Soma (colunas) | 6 | 11 | 11 | 20 | 23 | 71 |

Kappa = 0,4012

Fonte: Elaborado por OGASSAWARA (2017)

Conforme a Tabela 4, o K obtido foi de 0,4012, valor considerado como bom, conforme Fonseca (2000), sendo que esta classificação abrange K entre 0,4 a 0,6. Índices abaixo desta classificação são analisados como péssimos ($K < 0$), ruins ($0 < K \leq 0,2$) e razoáveis ($0,2 < K \leq 0,4$). Os índices acima da classificação obtida são analisados como muito bom ($0,6 < K \leq 0,8$) e excelentes ($0,8 < K \leq 1$). Desta maneira, podemos observar que os 71 pontos da amostra utilizada para a aquisição do mapa de classificação do uso solo foram satisfatórios, pois 40,12% da classificação está em concordância com os pontos de referências.

4.4 Determinação do Coeficiente de Escoamento (C)

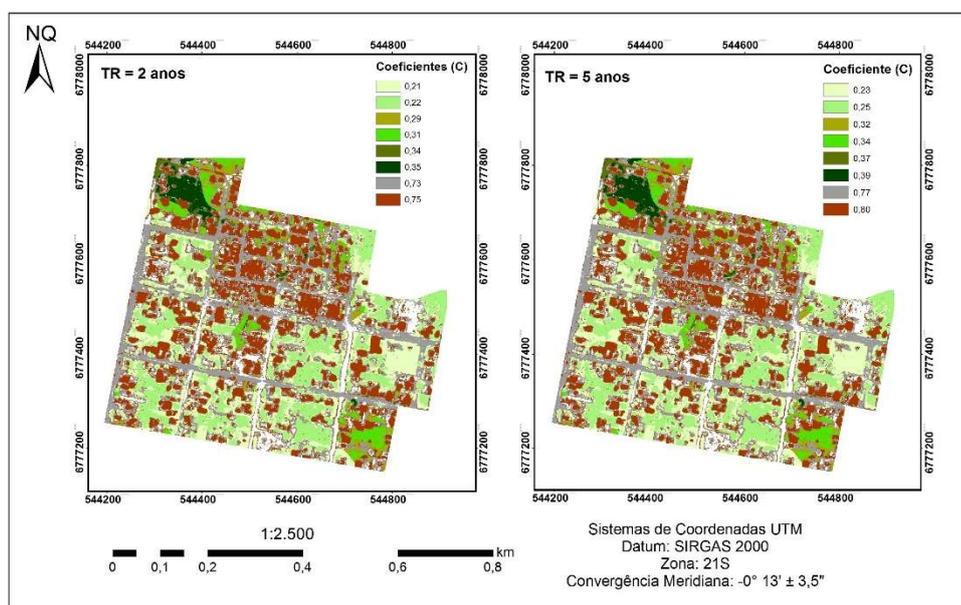
Como já mencionado anteriormente na seção 3.3, foi necessário realizar a sobreposição dos mapas de Declividade e de Classificação do Uso do Solo para a obtenção do valor de C para cada TR em estudo, como pode ser observado nas Figuras 7 e 8.

Vale ressaltar que os mapas de sobreposição obtidos possuem a mesma classificação, conforme Genovez (2001), e o que os diferenciam são os valores de C para cada TR.

Observando as Figuras 7 e 8, é possível verificar que os valores de C aumentam para cada classificação conforme aumenta o TR, ou seja, ambos são diretamente proporcionais. Isto se deve ao fato de que as obras de engenharia são dimensionadas para durar vários anos e aumentando a probabilidade de ocorrência de vazão igual ou superior à vazão de projeto. Assim, os parâmetros que auxiliam no dimensionamento destas obras devem ser condizentes com o risco assumido no

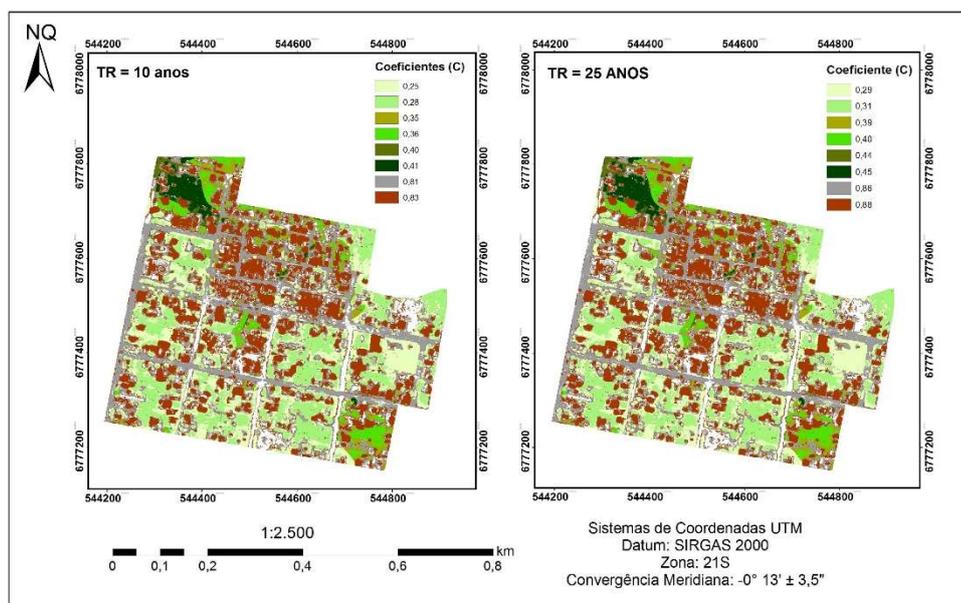
projeto, dando maior segurança e confiabilidade para as estruturas hidráulicas projetadas.

Figura 7 - Valores de C para TR de 2 e 5 anos



Fonte: Elaborado por OGASSAWARA (2017)

Figura 8 - Valores de C para TR de 10 e 25 anos



Fonte: Elaborado por OGASSAWARA (2017)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização das ferramentas de geoprocessamento possibilitou a determinação espacializada dos valores de C para área em estudo nos diferentes TR em análise.

Uma vez que na região de estudo mais de 50% da classificação de uso e cobertura do solo são compostos por áreas impermeáveis, a obtenção dos valores de C fidedignos são fundamentais para o dimensionamento das obras hidráulicas, e, por isso serão realizados trabalhos futuros utilizando outros métodos de determinação de coeficiente de escoamento superficial afim de validar os resultados obtidos no presente trabalho.

Vale ressaltar ainda que essa validação é necessária antes da aplicação dos resultados encontrados, no entanto apesar desta limitação espera-se que a metodologia aplicada possa ser utilizada como subsídio para outros estudos.

REFERÊNCIAS

BIANCHI, R. de C.; RIZZI, N. E.; GUIMARÃES, R. Z.; SCHECHI, R. G. Estimativa da Vazão Máxima da Bacia Hidrográfica do Rio Canguiri através do Método de Ven Te Chow. **Revista Raega: O Espaço Geográfico em Análise**. Departamento de Geografia – UFPR. Curitiba, v. 25, p. 164-185, 2012.

CARVALHO, D. F. de.; SILVA, L. D. B. da. **Apostila de Hidrologia: Capítulo 7. Escoamento Superficial**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ, agosto de 2006. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap7-ES.pdf>>. Acesso em: 15 de abr. 2017.

CHAVES, M. A. **Modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes para a Bacia Amazônica**. 2002. 113 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

CONGALTON, R. A Review of Assessing the Accuracy of Classification Remotely Sensed Data. **Remote Sensing of Environment**, n. 37, p. 35-36, 1991.

DIGITALGLOBE. **Área urbana de Itaquí**. Longmont: DigitalGlobe Incorporated, 2014. 1 imagem de satélite. WorldView-3. Res. espacial 30 cm, 08 de nov. 2014.

©ESRI. **ArcGIS for Desktop, version 10.2.2**. Environmental Systems Research Institute Inc, Califórnia, EUA, 2014.

FAUSTINO, A. B.; RAMOS, F. F.; SILVA, S. M. P. Dinâmica temporal do uso e cobertura do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (RN) com base em Sensoriamento Remoto e SIG: uma contribuição aos estudos ambientais. **Sociedade e Território**, v. 26, n. 2, p. 18-30, 2014.

FONSECA, L. M. G. **Processamento digital de imagens**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2000. 105p.

FREVERT, R.K.; SCHWAB, G.O.; EDMINSTER, T.W.; BARNES, K. K. **Soil and water conservation engineering**. 1.ed. New York: John Wiley, 1963. 56p.

GENOVEZ, A. M. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. ABRH, Ed. UFRGS: Porto Alegre – RS, 2001, 625 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=431560>>. Acesso em: 07 de mai. 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **MAPGEO2015**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtm>. Acesso em: 16 de out. 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **ProGrid**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/param_transf/default_param_transf.shtm>. Acesso em: 16 de out. 2016

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Recomendações para levantamentos Relativos estáticos-GPS**. Abril de 2008. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesi/default_normas.shtm?c=14>. Acesso em: 16 de out. 2016.

MAHMOUD, S. H.; MOHAMMAD, F. S; ALAZBA, A. A. Determination of potential runoff coefficient for Al-Baha Region, Saudi Arabia using GIS. **Arabian Journal of Geosciences**. v. 7, p. 2041-2057, 2014.

MELO, D. H. C.T. B.; VOLPI, E. M.; SILVA, H. M. da.; MENEZES, L. A.; MOURA, P. V. Decifrando o Georreferenciamento no ArcGIS. **MundoGEO**. Edição 81. 19 de Abril, 2015. Disponível em: <<http://mundogeo.com/blog/2015/04/19/decifrando-o-georreferenciamento-no-arcgis/>>. Acesso em: 03 de jun. 2017.

MONTES, R. M.; LEITE, J. F. **A drenagem urbana de águas pluviais e seus impactos cenário atual da Bacia do Córrego Vaca –Brava Goiânia-GO**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Ambiental), Universidade Católica de Goiás, 2009.

NOGUEIRA, J. D. de L.; AMARAL, R. F. do. Comparação entre os métodos de interpolação (Krigagem e Topo to Raster) na elaboração da batimetria na área da folha Touros – RN. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Natal, Brasil, **Anais...** São José dos Campos:INPE, p. 4117-4123, 2009.

PORTO, M. F. A. Aspectos Qualitativos do Escoamento Superficial em Áreas Urbanas. In: Tucci, C. E. M.; Porto, R. L. L.; Barros, M. T. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/ABRH, v.5, p.387-414, 1995.

PRUSKI F. F.; RDRIGUES L. N.; SILVA, D. D. da. Modelo Hidrológico para estimativa do escoamento superficial em áreas agrícolas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.5, n.2, p.301-307, 2001.

ReCESA. Rede de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental. **Guia do profissional em treinamento**. Material didático elaborado pela Equipe da Central de Produção de Material Didático (CPMD) do Núcleo Sudeste de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental (Nucase), s/d. Disponível em: <http://www.unipacvaleoaco.com.br/ArquivosDiversos/planejamento_execucao_fiscalizacao_de_obras%20e_manutencao_de_sistemas_drenagem_pluvial_parte3.pdf>. Acesso em: 15 de abr. 2017.

RICHARDS, J. A. **Remote sensing digital image analysis**. 2.ed. Springer-Verlag, Berlin, 1993. 281 p. Cap. 2: Error correction and registration of image data, p. 39-74.

ROSA, R. Geomática no Brasil: histórico e perspectivas futuras. **GeoFocus: Informes y comentarios**, nº 9, p. 29-40, 2009.

SANTOS, A. G. dos.; SEGANTINE, P. C. L.; SILVA, I. da. Metodologia para georreferenciamento de mapas digitais urbanos baseada na atribuição de pesos aos pontos de controle. In: II SIMPOSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, Recife – PE, p. 000-000, 2008.

SCHWAB, G.O.; FREVERT, R.K.; DMINSTER, T.W.; BARNES, K. K. **Soil and water conservation engineering**. 2.ed. New York: John Wiley, 1966. 683p.

SILVA, J. M. A.; PRUSKI, F.F.; SILVA, D. D.; CECÍLIO, R. A. Metodologia para obtenção do hidrograma de escoamento superficial em encostas e canais. Parte I: Desenvolvimento e avaliação. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.3, p.695-703, set./dez. 2006.

SILVEIRA, G. R. P da. **Geomática aplicada na caracterização conservacionista de uma bacia hidrográfica no município de São Manuel (SP)**. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual Paulista - Campus de Botucatu, Botucatu-SP, 2016.

SOARES-FILHO, B. S.; RODRIGUES, H. O.; FOLLADOR, M. A hybrid Analytical-heuristic method for calibrating landuse change models. **Environmental Modelling & Software**. v.43, pp. 8087, 2013.

THANAPURA, P.; HELDER, L. D.; BURCKHARD, E. W.; O'NEILL, M.; GALSTERD. Mapping Urban Land Cover Using QuickBird NDVI and GIS Spatial Modeling for Runoff Coefficient Determination. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. v. 73, n. 1, pp. 057–065, 2007.

TUCCI, C. E. M. Elementos para o controle de drenagem urbana. **Artigo em elaboração para a Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Porto Alegre, s/d.

TUCCI, C. E. M (Org). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2009.

TUCCI, C. E. M. Regulamentação da drenagem urbana no Brasil. **Revista de Gestão de Água da América Latina**. v.13, n.1, jan-jun, 2016.

YOUNG, C. B.; McENROE, B. M.; ROME, A. C. Empirical Determination of Rational Method Runoff Coefficients. **Journal of Hydrologic Engineering**, v.14, n.12, 1283-1289, 2009.

ANEXO A – Relatório de Processamento da Base

| Nome do marco | Localidade | Município | Data |
|--|--------------------|---|---------------|
| A03 | Unipampa | Itaqui | 12/09/2016 |
| Equipamento | Tempo de rastreio | Responsável / Empresa | |
| Ashtech ProMark 500 | 5 horas | Sidnei Luís Bohn Gass Carlos Alexandre Romani Raíssa Xavaré Kulman | |
| Datum horizontal | SIRGAS2000 | Datum vertical | Imbituba – SC |
| Coordenadas geográficas | | UTM | |
| Latitude | -29° 09' 20,10021" | E | 543746,428 |
| Longitude | -56° 33' 0,6657" | N | 6774693,217 |
| h (elipsoidal) | 82,279 | Fuso | 21J |
| H (geoidal) | 69,379 | MC | -57 |
| N (ond. geoidal) | 12,9 – MAPGEO2015 | | |
| Vista geral do marco | | Croqui de localização | |
|  | |  | |
| Descrição do marco | | | |
| Marco de centragem forçada, padrão IBGE. | | | |
| Itinerário | | | |
| Ponto localizado em frente à entrada do restaurante universitário. | | | |
| Observações | | | |
| Base: Estações RBMC de Alegrete e Cerro Largo. | | | |