

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

BRUNA ROSANAIRA PIPERNO

Caracterização do grau de impermeabilização relativa das vertentes de
uma bacia hidrográfica urbanizada: o exemplo do Córrego da Servidão –
Rio Claro (SP)

Trabalho de Graduação apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para
obtenção do grau de Bacharel em Geografia.

Rio Claro - SP

2012

BRUNA ROSANAIRA PIPERNO

Caracterização do grau de impermeabilização relativa das vertentes de uma bacia hidrográfica urbanizada: o exemplo do Córrego da Servidão – Rio Claro (SP)

Trabalho de Graduação apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Bacharel em Geografia.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Sergio dos Anjos Ferreira Pinto (orientador)

Profa. Dra. Cenira Maria Lupinacci da Cunha

Profa. Dra. Andréia Medinilha Pancher

Rio Claro, ____ de _____ de _____.

Assinatura do(a) aluno(a)

assinatura do(a) orientador(a)

551.48 Piperno, Bruna Rosanaira
P665c Caracterização do grau de impermeabilização relativa das
vertentes de uma bacia hidrográfica urbanizada: o exemplo do
Córrego da Servidão - Rio Claro (SP) / Bruna Rosanaira
Piperno. - Rio Claro : [s.n.], 2012
72 f. : il., figs., gráfs., tabs., quadros, mapas

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Geografia)
- Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e
Ciências Exatas
Orientador: Sergio dos Anjos Ferreira Pinto

1. Hidrologia. 2. Urbanização. 3. Comportamento
hidrológico. 4. Uso da terra. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

*Dedico este trabalho a pessoa que me
ensina a viver diariamente: minha Mãe!*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a minha família, que esteve ao meu lado desde o dia em que escolhi a Geografia para me dedicar, até o dia de hoje, em que estou encerrando a minha graduação. Obrigado mãe (Tereza), irmão (Miler), e pai (Aparecido) pelo apoio incondicional, pelo amor, e pela paciência durante todos os momentos tanto de alegria como de angústia. Sem dúvida, vocês foram e são minha motivação, exemplo e inspiração.

Também sou grata ao meu orientador Prof. Dr. Sergio dos Anjos, pela experiência e conhecimento transmitidos durante a realização deste trabalho.

Agradeço o carinho e a amizade dos melhores amigos que alguém pode ter e que tive a felicidade de conhecer: Tatiane, Érica, Valterlan, Verônica, Livia (Barbie), Livia, Gabriela, Adriana, Lucas, Rafaella e todos os outros que de alguma forma estiveram em algum momento da minha vida acadêmica.

A Ricardo e Celso, parceiros em sala, e a Bruna Mazzeo, amiga pra vida toda.

A Geoplan Jr – Empresa Junior do curso de Geografia, a qual tive o grande orgulho e satisfação de participar. Obrigado equipe, por acreditarem neste projeto, vestir a camisa e o fazer acontecer todos os dias.

Enfim, agradeço a Deus por tudo isso!

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área de estudo.....	25
Figura 2: Mapa com os pontos de coleta das amostras de solo, e a classificação segundo os grupos hidrológicos de solo.....	36
Figura 3: Gráfico com a série histórica de pluviosidade anual (1958 - 2006).....	38
Figura 4: Ábaco para estimativa do escoamento superficial de acordo com o método da Curva-Número do S.C.S./USDA.....	42
Figura 5: Mosaico com a área total da Bacia Hidrográfica do Córrego da Servidão realizado com suporte do Software Spring 4.3.3. (Cenário 1958).....	44
Figura 6: Mosaico com a área total da Bacia Hidrográfica do Córrego da Servidão realizado com suporte do Software Spring 4.3.3. (Cenário 2006).....	45
Figura 7: Mapa de uso da terra (cenário 1958).....	51
Figura 8: Mapa de uso da terra (cenário 2006).....	53
Figura 9: Incorporação dos corpos d' água pela ocupação urbana, e implantação do reservatório (Lago Azul) na cabeceira do Córrego da Servidão.....	54
Figura 10: Mapa de classificação do solo nos Grupos Hidrológicos segundo o S.C.S./USDA.	59
Figura 11: Mapa de Declividade da Bacia Hidrográfica do Córrego da Servidão.....	62
Figura 12: Mapa de uso e cobertura da terra associadas às classes de Grupos Hidrológicos de Solo (cenário 1958).....	64
Figura 13: Mapa de uso e cobertura da terra associadas às classes de Grupo Hidrológico de Solo (cenário 2006).....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação das amostras de solo da Bacia Hidrográfica do Córrego da Servidão.....	35
Tabela 2: Valores de CN para cada tipo de uso, proposta pelo SCS/USDA.....	39
Tabela 3: Total da área abrangida por cada classe temática (Km ²).....	57
Tabela 4: Percentual da área de cada classe temática em relação a área total da bacia hidrográfica.....	57
Tabela 5: Valores de Curva-Número para tipo de uso e cobertura do solo.....	66

Tabela 6: Estimativa de escoamento superficial para 1958, utilizando os dados de precipitação média e os valores de Curva-Número.....67

Tabela 7: Estimativa de escoamento superficial para 2006, utilizando os dados de precipitação média e os valores de Curva-Número.....67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Chave de interpretação para identificação e classificação dos alvos imageados.....30

Quadro 2: Adaptação das classes temáticas para as classes de uso do solo do S.C.S/USDA.....40

Quadro 3: Segmentação das imagens para classificação temática.....47

RESUMO

A expansão e o crescimento das cidades interferem no comportamento hidrológico das bacias hidrográficas inseridas no meio urbano, impactando as vertentes e principalmente os canais fluviais. Esta interferência pode ser na impermeabilização do solo, no escoamento superficial das águas pluviais, na extinção da drenagem de superfície, na dinâmica dos processos de inundação, etc. Para a realização de estudos referentes ao comportamento hidrológico de bacias hidrográficas, as técnicas de Sensoriamento Remoto têm sido utilizadas para a aquisição e suporte a análise de dados, bem como para gerar novas informações a partir da integração desses dados. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo caracterizar cenários e realizar uma análise comparativa da ocupação urbana das vertentes da bacia do Córrego da Servidão, em Rio Claro (SP), bem como analisar os graus de impermeabilização relativa do solo. Tendo como apoio as categorias de impermeabilização dos solos indicadas no Soil Conservation Service (S.C.S/USDA) essa análise foi conduzida, considerando os cenários de 1958 e 2006, através de procedimentos de análise interpretativa de imagens aerofotogramétricas pancromáticas e coloridas. A análise, a integração dos dados e o mapeamento da área da bacia hidrográfica foram realizados em ambiente de um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Foram obtidos mapas de caracterização da cobertura da terra na bacia hidrográfica, que evidenciaram a evolução da ocupação urbana e indicaram as áreas densamente edificadas e impermeabilizadas.

Palavras-chave: bacia hidrográfica urbanizada; impermeabilização do solo; comportamento hidrológico.

ABSTRACT

The expansion and growth of towns affect the hydrology of watersheds included in the urban environment, impacting mainly the slopes and river channels. This interference can be in soil waterproofing, the runoff of rainwater, the extinction of surface drainage, the dynamics of flooding processes, etc. For studies concerning the hydrological behavior of watersheds, Remote Sensing techniques have been used to support the acquisition and analysis of data and also to generate new information from the integration of these data. In this context, the study aimed to characterize scenarios and conduct comparative analysis of urban occupation of parts of watershed the Córrego da Servidão, in Rio Claro (SP) and analyze the degree of waterproofing on the ground. With the support of the soil categories of waterproofing listed in Soil Conservation Service (S.C.S / USDA) this analysis was conducted, considering the scenarios of 1958 and 2006, through processes of interpretative analysis of panchromatic and color images aerofotogramétricas. The analysis, data integration and mapping of the watershed area were conducted in an environment of a Geographic Information System (GIS). Maps were obtained to characterize land cover in the watershed, showing the evolution of urban occupation, as well as indicating the densely built and waterproofed.

Key-words: urbanized watershed; soil waterproofing; hydrological behavior.

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO.....	11
2.OBJETIVOS.....	14
3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1.Teoria Geral dos Sistemas e a Geografia.....	15
3.2.A Bacia Hidrográfica e a urbanização.....	17
3.3.Método Curva-Número.....	19
3.4.Sensoriamento Remoto e SIG's aplicados a análise de uma bacia hidrográfica.....	21
4.ÁREA DE ESTUDO.....	24
5.MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	26
5.1.Materiais.....	26
5.2.Procedimentos Metodológicos.....	26
5.2.1Aquisição do Material Cartográfico.....	26
5.2.2.Tratamento, Manipulação e Extração dos Dados.....	27
5.2.2.1.Pré-processamento digital das Imagens.....	27
5.2.2.2.Processamento digital das Imagens.....	27
5.2.2.2.1.Processo de segmentação.....	28
5.2.2.2.2.Processo de classificação.....	28
5.2.2.3.Geração dos mapas temáticos de uso da terra.....	31
5.2.2.4.Medida de Classes Temáticas.....	31
5.2.2.5.Mapa de Declividade.....	32
5.2.3.Indicação da relação chuva-vazão pelo método da Curva-Número.....	33
6. RESULTADOS.....	43
6.1.Extração de dados e mapeamento de uso da terra por imagens.....	43
6.2.Caracterização da relação chuva, escoamento superficial e uso da terra.....	56
7.COSIDERAÇÕES FINAIS.....	69
8.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71

1. INTRODUÇÃO

O processo de urbanização na maioria das cidades tem ocorrido de forma intensa e desorganizada. De maneira geral, o crescimento populacional nas cidades impulsiona a expansão urbana para novos espaços, que por sua vez impulsiona a ocupação de áreas que apresentam restrições ou são inadequadas, comprometendo seriamente o equilíbrio natural do meio, bem como a permanência da população nestes lugares. Como um ciclo vicioso, uma consequência leva a outra, e desta forma, o resultado é o caos, sobretudo em dias de chuva.

Normalmente, os problemas mais frequentes decorrentes da ocupação desordenada da terra estão relacionados às ações antrópicas que acabam por modificar a dinâmica natural pré-existente, provocando uma série de impactos ambientais, dentre os quais se destacam a alteração do regime de chuvas, os processos de infiltração das águas pluviais, eventos de inundação, os deslizamentos e escorregamentos de encostas, entre outros.

Tratando-se especificamente dos eventos de inundação nas cidades, pode-se afirmar que são provocados em grande parte pelo adensamento de edificações resultantes da ocupação urbana. O alto grau de impermeabilização do solo, arruamentos pavimentados, adensamento das áreas construídas, diminuição de áreas verdes, etc., são intervenções antrópicas frequentes no meio urbano que implicam em mudanças significativas na dinâmica natural da água em uma bacia hidrográfica que está sendo envolvida por esse processo de urbanização. Também são incluídas neste grupo, as obras de engenharia aplicadas às drenagens urbanas, que do ponto de vista natural são extremamente agressivas e muitas vezes pouco eficientes, considerando o tempo de retorno estimado destas obras.

No Brasil, o processo de urbanização foi intensificado no início da década de 1960, quando houve um crescimento considerável da população. Arelado a isto, estão as transformações ocorridas na zona rural, que propiciaram a intensificação do êxodo no campo. Com o êxodo dessa população rural, as cidades passaram a ser os pólos atrativos, contudo, a grande maioria delas não estava preparada para absorver este “boom” populacional.

Hoje, o percentual de população vivendo em áreas urbanas, no Brasil, atingiu 84% do total, segundo dados levantados no censo de 2010 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Com relação ao estado de São Paulo, o grau de urbanização abrangendo todos os municípios alcançou 95,88% (IBGE, 2010), apresentando-se como o estado brasileiro com maior índice. O crescimento da população urbana expressa intensos problemas sócio-econômicos que se reproduzem ao longo dos anos nas grandes cidades, sendo um deles a questão da habitação. Comumente, a ocupação de áreas menos valorizadas, ou inadequadas

como áreas de várzeas, encostas de morros etc., passou a ser a única solução para a população com menor poder aquisitivo. Nesse sentido, a gestão de recursos hídricos em uma cidade, deve considerar os impactos decorrentes dos processos de crescimento desordenado, que afetam de forma significativa, os sistemas de abastecimento de água, de coleta e tratamento de esgoto local, bem como a drenagem das águas pluviais (TUCCI, 1995).

Atualmente, a maior parte das cidades brasileiras retrata os reflexos deste processo intenso de urbanização, principalmente por meio das catástrofes, como as inundações, que resultam em grandes perdas materiais e humanas da população. Desta maneira, diversos estudos têm abordado essa problemática, nos quais têm sido enfatizados os múltiplos usos e ocupação do solo e suas consequências, que em muitos casos, deve-se a obras públicas mal dimensionadas. Considerando esses aspectos, torna-se necessário a implantação de um planejamento e gerenciamento urbano por parte do poder público local, estadual e federal, na adoção de estratégias políticas que conduzam à sustentabilidade sócio-ambiental.

A análise de dados e informações referentes a uma cidade deve ser efetivada de modo integrado, principalmente devido à intensidade e dinamismo das alterações impostas ao meio urbano pelas atividades antrópicas. Desta forma, é necessário a disponibilização e utilização de técnicas que permitam agilidade na aquisição, monitoramento e análise de dados de interesse temático, para que a tomada de decisões seja adequada e direcionada, para que medidas de correção sejam aplicadas.

Nesta perspectiva, as técnicas de Sensoriamento Remoto e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) constituem importantes ferramentas que podem subsidiar a coleta de dados e os estudos de interesses na interface de sistemas urbanos e recursos hídricos. Por apresentarem um amplo leque de aplicações, os produtos do Sensoriamento Remoto e SIG's têm se tornado indispensáveis em diversos setores para o planejamento e a gestão pública. Ainda hoje, o emprego destas técnicas na administração pública das cidades é bem restrito, sobretudo pelo valor comercial que apresentam, entretanto, a tendência é que elas tornem-se mais acessíveis a medida que novas técnicas sejam disponibilizadas no mercado.

No caso da cidade de Rio Claro, a bacia hidrográfica do Córrego da Servidão foi incorporada pelo crescimento urbano, sendo necessários estudos que visam entender a dinâmica atual dessa bacia hidrográfica. Particularmente, compreender como o processo de urbanização afeta o gerenciamento da bacia hidrográfica, considerando suas entradas e saídas de energia e matéria, e como ela responde as modificações propiciadas pela ocupação antrópica.

A bacia hidrográfica do Córrego da Servidão, com exceção de seu baixo curso, nas proximidades do exutório, está envolvida pela ocupação urbana de Rio Claro – SP, recebendo todo o volume de água resultante do escoamento superficial e de seus tributários. Entretanto, o aumento significativo da impermeabilização de suas vertentes, provoca uma alteração na relação chuva-vazão por meio dos processos de infiltração e escoamento superficial. Atualmente, resultante desse processo, o volume de água pluvial escoado diretamente para o córrego tem se tornado muito maior do que sua capacidade de fluxo, assim, em dias com precipitação intensa, a produção de escoamento superficial é acelerada e o seu leito torna-se insuficiente, acarretando no acúmulo e posterior extravasamento da água em determinados pontos do canal, originando as enchentes.

Os eventos de enchentes, em determinados setores da bacia, são relatados frequentemente pelos noticiários da imprensa local e pela população. Deste modo, a realização deste trabalho tornou-se uma contribuição, uma vez que os resultados obtidos apontam a direção da evolução da cidade em torno da bacia hidrográfica e as alterações decorrentes do seu processo de urbanização, enfocando áreas com maiores graus de impermeabilização.

2. OBJETIVOS

No contexto da bacia hidrográfica do Córrego da Servidão (Rio Claro – SP), este trabalho tem como objetivo caracterizar a ocupação urbana de suas vertentes, em dois cenários selecionados, indicando os graus relativos de impermeabilização superficial do solo, tendo como suporte as técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas.

Para atender o objetivo geral, consideram-se os seguintes objetivos específicos:

- Utilizar técnicas de Sensoriamento Remoto, com ênfase em imagens aerofotogramétricas (cenários 1958 e 2006), para a extração de dados visando caracterizar e mapear a ocupação urbana na área da bacia hidrográfica, evidenciando os setores edificados e a cobertura vegetal intra-urbana.
- Considerando os cenários selecionados, indicar a intensificação de edificações na área da bacia.
- Indicar os graus relativos de impermeabilização das vertentes, pelo processo de ocupação urbana, e as áreas mais propensas ao escoamento superficial das águas pluviais, através da relação chuva x vazão, no contexto das categorias do Soil Conservation Service/ United State Departamento of Agriculture (S.C.S./USDA), considerando valores de CN (Curva-Número), ajustados para áreas urbanizadas.
- Estruturar e implementar, em ambiente de um Sistema de Informações Geográficas, um banco de dados georelacional para suporte às análises e integração de dados temáticos.
- Caracterizar o uso e a ocupação do solo nas vertentes da bacia hidrográfica, conforme os cenários selecionados.
- Evidenciar as áreas mais impermeáveis das vertentes da bacia hidrográfica, considerando as categorias indicadas pelo S.C.S./USDA, conforme os cenários 1958 e 2006.
- Realizar análise comparativa da impermeabilização das vertentes, conforme os dois cenários.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os estudos de bacias hidrográficas em meio urbano tem se tornado cada vez mais importantes a medida que, uma série de problemas vinculados as mudanças propiciadas por fatores urbanos no comportamento hidrológico das mesmas, tem afetado de forma direta e indireta a população que reside nestas áreas. Desta forma, estes estudos visam contribuir com a gestão pública tanto na identificação de fragilidades, quanto na indicação de soluções que levem a conservação da bacia hidrográfica.

Buscando compreender a relevância dos fatores antrópicos sobre a bacia hidrográfica, este trabalho foi conduzido em conformidade com a abordagem geossistêmica, considerando a bacia hidrográfica como uma unidade natural. Em ambiente urbano este sistema natural passa a incorporar novos elementos à sua dinâmica, promovendo modificações em seu comportamento hidrológico, que podem ser evidenciadas através da aplicação do método Curva-Número. Neste contexto, as técnicas de Sensoriamento Remoto e os Sistemas de Informações Geográficas são fundamentais para a análise temporal e espacial de cenários comprovando as mudanças na bacia hidrográfica com relação aos elementos intra-urbanos que a envolve.

3.1. Teoria Geral dos Sistemas e a Geografia

A Teoria Geral dos Sistemas foi desenvolvida a partir das pesquisas do biólogo Ludwig von Bertalanffy nos Estados Unidos em 1932. Foi concebida, tendo como principal finalidade buscar compreender como se constituem as relações entre um determinado conjunto de elementos, considerando sua complexidade segundo os mecanismos e estruturas que apresentam (Ribeiro de Melo, 2001). Seus fundamentos básicos tornaram-se referência para diversas áreas da ciência, conduzindo estudos importantes no campo da Biologia e da Física, por exemplo.

Na Geografia, essa abordagem possui papel de destaque, com contribuições importantes, sobretudo no âmbito da Geografia Física, cujos estudos estão voltados à perspectiva geo-ambiental. O ajuste da Teoria Geral dos Sistemas aos estudos geográficos surgiu a partir da necessidade por bases teóricas que melhor explicassem a organização e a estrutura dos fenômenos naturais. A teorização sobre a dinâmica do meio físico, através da visão sistemática deu origem ao conceito de geossistemas.

O grande precursor da teoria geossistêmica foi o russo J.B.Sotchava, que em 1963 utilizou o termo para descrever a esfera físico-geográfica como um sistema (Ribeiro de Melo, 2011). Também a escola francesa, sobretudo a partir da iniciativa de Bertrand (1968) foi responsável por difundir esta abordagem à aplicação de vários outros estudos. Na Geografia, a difusão da abordagem sistêmica foi realizada principalmente no segmento da Geomorfologia, por meio dos estudos de Strahler (1959), John T. Hack (1960) e R. J. Chorley (1962). No Brasil, a iniciativa de desenvolver estudos tendo como base este referencial teórico é tida principalmente por Monteiro (1982, 1995, 2000), Rodrigues, (2001) e Christofolletti (1979).

No enfoque da Teoria Geossistêmica, os sistemas são organizados de forma hierárquica, concebendo-se assim que o todo é resultante da soma das partes. Nesta perspectiva de análise, Sothava, (1977 apud Rodrigues, 2001) ressalta que, embora os geossistemas sejam considerados como fenômenos naturais, eles devem ser entendidos em face de fatores sociais e econômicos, uma vez que influenciam a sistematização de sua estrutura. Desta forma, na análise do comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica envolvida pelo processo de urbanização, por exemplo, deve atentar-se para a inter-relação entre o sistema natural, da forma como foi organizado, e suas variáveis, sobretudo quando estas estão associadas a fatores antrópicos.

Christofolletti (1979) publicou uma obra inteira, na qual se dedicou a analisar e discutir a relevância do conceito de sistema em estudos de cunho geográfico. Conforme os preceitos básicos da abordagem sobre geossistema, ressalta que:

Duas idéias complementares são importantes para compreensão dos geossistemas. Todos os sistemas naturais são dinâmicos e capazes de modificar os seus estados através de transformações contínuas. Essas transformações são caracterizadas pelas transferências de massa e energia. (CHRISTOFOLETTI, 1979, p.12).

Em um sistema natural, a troca de matéria e energia se dá de maneira constante, em uma relação de equilíbrio entre perda e ganho, tanto no seu interior, quanto em relação a um sistema no qual esteja inserido, obedecendo a uma hierarquia. Neste sentido, a complexidade do funcionamento interno de um sistema, é proporcional a sua grandeza e abrangência, que são definidos em função de uma escala estabelecida pela influência direta ou indireta que possui.

Os sistemas também são diferenciados segundo alguns critérios adotados para determinados tipos de análise. No caso dos estudos cujo objeto seja uma bacia hidrográfica, por exemplo, do ponto de vista funcional ela é considerada uma unidade natural e um sistema aberto cujo funcionamento se dá por meio das relações entre seus elementos e características

que lhe são intrínsecas. De acordo com Christofolletti, (1979, p. 15), os sistemas abertos “são aqueles nos quais ocorrem constantes trocas de energia e matéria, tanto recebendo quanto perdendo”. Deste modo, uma bacia hidrográfica recebe (*input*) suprimento contínuo de energia e matéria, sobretudo pelo clima (precipitação, por exemplo), e por consequência perde (*output*) energia através da água e dos sedimentos que passam por ela. Nesta relação de entrada e saída, mantém-se uma condição natural de equilíbrio. Entretanto, em ambiente urbano, as condições de equilíbrio no sistema de uma bacia hidrográfica podem estar seriamente alteradas por conta das ações antrópicas, acarretando diversos impactos tanto para o meio natural, quanto para a própria população que nela está inserida.

3.2. A bacia hidrográfica e a urbanização

Estudos do comportamento hidrológico de bacias hidrográficas envolvidas pela ocupação urbana têm sido conduzido por diversos autores, por se tratar de uma situação específica de análise na compreensão do contexto do ciclo hidrológico. Segundo Tucci (et.al., 2009), o papel hidrológico da bacia hidrográfica seria o de transformar uma entrada de volume de água concentrada no tempo (precipitação), em uma saída de água (escoamento) de forma mais distribuída no tempo. Neste sentido, a área da bacia é um elemento fundamental para definir sua potencialidade hídrica e tem grande importância na sua resposta hidrológica.

Para Vilella e Matos (1975), as características físicas de uma bacia hidrográfica apresentam grande correlação com seu regime hidrológico, pois através de relações e comparações entre esses elementos pode-se determinar indiretamente valores de parâmetros hidrológicos em regiões onde esses dados são escassos. Assim, uma simples observação do leito da drenagem principal, como também de sua planície de inundação nos períodos de seca, são possíveis indicadores do volume que a mesma atinge no período de cheias, por exemplo.

Horton (1945) associa o desenvolvimento de sistemas hidrográficos, e suas bacias de drenagem, com processo de erosão hídrica dos solos, levando em consideração as relações entre infiltração e deflúvio, em conformidade com diferentes condições ambientais. Na concepção deste autor, para um dado terreno, a formação de canais inicia-se com a concentração de um determinado volume de deflúvio, o qual é derivado da existência de um comprimento mínimo de escoamento sobre a superfície.

Por sua vez, Tucci et. al., (2009) salientam que as bacias hidrográficas envolvidas pela malha urbana, passam a ser denominadas de drenagem urbana, necessitando de ações que se caracterizam, em um sentido mais amplo, como “o conjunto de medidas que tenham por

objetivo minimizar os riscos a que as populações estão sujeitas, diminuir os prejuízos causados por inundações e possibilitar o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e sustentável”. Com relação a aspectos e medidas em áreas urbanas, também Canholi (2005), chama a atenção para o descontrole da ocupação urbana no âmbito das bacias hidrográficas, particularmente impermeabilizando suas vertentes, além da ocupação de suas várzeas, que, na maior parte dos casos, são incorporadas às vias de circulação das cidades.

Neste sentido, a identificação e caracterização de superfícies impermeáveis no meio intraurbano, são importantes para o planejamento e ações voltadas às infraestruturas de drenagens no sentido de minimizar efeitos de eventos de inundações. Neste aspecto, Tucci et. al., (2009) complementam esta ideia enfatizando que “as melhores soluções para os problemas de inundação são alcançadas a partir de uma compreensão mais integrada do ambiente urbano e das relações entre os sistemas que o compõem”. (Tucci et. al., 2009, p.805).

Naturalmente, a água pluvial que chega a uma bacia hidrográfica também é infiltrada no solo até que este alcance o seu ponto de saturação. A partir deste momento, se houver persistência da precipitação, as taxas de infiltração decrescem, e a água passa a ser escoada superficialmente na vertente até o leito da drenagem. Entretanto, em meio urbano esta relação natural é alterada em virtude da inserção de novos elementos e características que podem acarretar uma série de problemas. Desta maneira, entende-se que o alto grau de impermeabilização da superfície do solo urbano e, conseqüentemente, a perda da sua função e capacidade de reter água pluvial, pode ocasionar um aumento imediato no escoamento superficial, interferindo na intensidade e velocidade desse processo. Nessa situação os processos que configuram a dinâmica da água dentro de uma bacia hidrográfica são amplamente modificados onde há adensamento da ocupação urbana (COSTA; ROSSI; COELHO, 2005).

Na dinâmica do ciclo hidrológico, a qual as condições das bacias hidrográficas exercem papel significativo, destaca-se o escoamento superficial das águas pluviais, principalmente considerando-se o ambiente urbano. O escoamento superficial direto, como um dos resultados da impermeabilização das vertentes em bacias hidrográficas urbanas, contribui para aumentar o volume das cheias ao longo dos canais fluviais. As inundações, segundo Tucci (1995), ocorrem quando a precipitação é intensa, posto que a quantidade de água que chega ao curso d'água pode ser superior a sua capacidade de escoamento através do leito principal, ocorrendo, dessa maneira, o extravasamento para sua zona de várzea,

caracterizando como outro agravante do crescimento urbano desordenado. Deste modo, Tucci et. al., (2009), caracterizam o escoamento superficial, como segue:

(...) é impulsionado pela gravidade para as cotas mais baixas, vencendo principalmente o atrito com a superfície do solo. O escoamento superficial manifesta-se inicialmente na forma de pequenos filetes de água que se moldam ao microrelevo do solo. A erosão de partículas de solo pelos filetes em seus trajetos, aliada a topografia pré-existente, molda, por sua vez, uma microrrede de drenagem efêmera que converge para redes de cursos de água mais estável, formada por arroios e rio. A presença de vegetação na superfície do solo contribui para obstaculizar o escoamento superficial, favorecendo a infiltração em percurso. A vegetação também reduz a energia cinética de impacto das gotas de chuva no solo, minimizando a erosão. (TUCCI et. al., 2009, p.37).

Para Tucci (2000, apud Vendrame et. al., 2005), o aumento significativo nos coeficientes de escoamento superficial pode ser compreendido como um dos efeitos mais diretos da urbanização sobre uma bacia hidrográfica. Segundo estes autores, um habitante produz em média cerca de 49m² de área impermeável numa bacia, e cada 10% de aumento na área impermeável, ocorre cerca de 100% de aumento no coeficiente de cheia e no volume de escoamento superficial. Considera-se que as áreas onde há maior adensamento de edificações e arruamentos com revestimento possuem taxas mais altas de impermeabilização, por outro lado, constata-se que a infiltração da água no solo destas áreas é praticamente inexistente. Assim, nestas áreas, a atuação do escoamento superficial torna-se predominante.

Para estimativas do escoamento superficial das águas pluviais existem diferentes métodos, sendo que um deles comumente utilizado é o da Curva-Número (ou Número da Curva), desenvolvido pelo Soil Conservation Service do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (S.C.S/USDA, 1964).

3.3. Método da Curva-Número

Para dimensionar as obras de drenagem urbana, que se baseiam nos dados de vazão, utiliza-se, entre outros métodos sintéticos de determinação da vazão de projeto, o Método da Curva-Número (CN), do Soil Conservation Service, do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (S.C.S/USDA, 1964). Dentre os vários métodos existentes para a determinação do escoamento superficial direto, este é bem difundido, sendo seu principal parâmetro a CN, que leva em consideração o uso e a ocupação do solo na bacia hidrográfica (Lombardi Neto et. al., 1994; Tucci et. al., 2009). Além das condições do solo, o cálculo de CN também está baseado nos níveis de precipitação e escoamento produzido.

Considerando a relação entre estes três fatores, o S.C.S./USDA determinou para o cálculo de CN, quatro grupos hidrológicos de solo: grupo A, grupo B, grupo C, e grupo D. De acordo com Lombardi Neto et. al., (1994) e Tucci et. al., (2009), os grupos hidrológicos de solo podem ser definidos da seguinte maneira:

Solo A: produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração quando completamente molhados. São solos arenosos profundos, com pouca argila e silte.

Solo B: são solos com taxa de infiltração moderada, contudo, menos permeáveis do que o grupo anterior. São arenosos e variando de profundos a moderadamente profundos.

Solos C: solos que geram escoamento superficial acima da média, com capacidade de infiltração abaixo da média quando completamente molhados. Apresentam um percentual acentuado de argila e silte.

Solos D: solos que contém argilas expansivas, pouco profundos que apresentam alto potencial para o escoamento superficial, e capacidade de infiltração muito baixa quando totalmente molhados.

A determinação da Curva-Número baseia-se em valores estabelecidos em uma escala com variação de 1 a 100. Com este critério, têm-se que para superfícies muito impermeáveis atribui-se os valores próximos a 100 (limite superior); no outro extremo (limite inferior), os valores de Curva-Número próximos a 1, representam superfícies com boa capacidade de infiltração. Com os valores de CN também é possível estimar o escoamento superficial das águas pluviais produzido em determinada superfície, seja ela impermeabilizada ou com cobertura vegetal, por exemplo.

Embora este método seja amplamente utilizado, alguns estudos o consideram limitado, uma vez que a estimativa de CN não leva em conta fatores relativos à percolação da água pluvial nas camadas do solo, bem como a recuperação da capacidade de infiltração do mesmo (PEDROLLO et. al., 2005). Também Lombardi et. al., (1989, apud por Sartori et. al., 2005), mencionam a dificuldade da aplicação deste método para solos cujas condições hidrológicas diferem das definidas pelos quatro grupos hidrológicos do S.C.S./USDA. Segundo estes autores, o Brasil possui classes de solo argilosos e arenosos que apresentam características de permeabilidade e produção de escoamento, que pouco condizem com as condições hidrológicas constatadas nos solos dos Estados Unidos. Desta forma, um estudo baseado nos solos encontrados no estado de São Paulo, propõe uma adequação dos grupos hidrológicos do S.C.S./USDA conforme as características identificadas nos solos brasileiros (Lombardi et. al., 1989). Considerando esta proposta, a estimativa dos valores de CN também devem ser ajustados para as áreas urbanas e rurais.

Em contrapartida, o método CN pode ser muito relevante em estudos de bacias hidrográficas urbanizadas, pois permite uma análise clara e simples dos níveis de impermeabilização das superfícies, indicando por meio de valores tabelados, ou mapeados, as áreas mais susceptíveis ao escoamento superficial.

3.4. Sensoriamento Remoto e SIG's aplicados à análise de uma bacia hidrográfica

A dinâmica da água nas vertentes de uma bacia hidrográfica, considerando precipitação, infiltração, escoamento superficial (runnof) e o deflúvio nos canais fluviais, envolve dados e informações que podem ser em parte, obtidos e analisados através de técnicas de Sensoriamento Remoto e de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Autores como Jensen (2009), Novo (2008) e Moreira (2005), contribuem significativamente com os estudos de Sensoriamento Remoto, discorrendo de forma ampla e objetiva sobre esse assunto, como também destacam a relação das técnicas de Sensoriamento Remoto com a água, elemento primordial nas abordagens hidrológicas.

Dessa forma, para o desenvolvimento de estudos das bacias hidrográficas envolvidas pela malha urbana, as técnicas de Sensoriamento Remoto e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), constituem ferramentas importantes que auxiliam e agilizam o desenvolvimento de trabalhos temáticos, pois permitem a caracterização, monitoramento e análise das alterações que ocorrem no meio urbano.

O Sensoriamento Remoto, difundido no Brasil particularmente pelo trabalho de Novo (1992, e 2008), envolve a obtenção de dados sobre alvos de interesse, contribuindo para o levantamento e monitoramento dos recursos terrestres, particularmente através de sistemas sensores imageadores. No caso específico dos sistemas sensores a nível orbital, devido a sua resolução temporal (repetitividade de imageamento de uma mesma área), permite o monitoramento de alvos que possuem dinamicidade ao longo de um período. Por sua vez, as fotografias aerofotogramétricas obtidas através de aerolevantamentos, também são de grande valia para a análise desses dados, sobretudo pela resolução espacial de que dispõem. Na interpretação de aerofotografias, deve-se considerar os diversos objetos registrados, identificando-os e analisando através de procedimentos de interpretação convencional, para posteriormente realizar seu mapeamento.

No Brasil, vários trabalhos têm sido realizados utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto para caracterizar processos de inundação, particularmente desenvolvidos no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), podendo-se exemplificar: Pinto e Niero (1985),

Pinto et. al. (1985), Florenzano et. al., (1998), Florenzano (2000), Pinto et. al. (1998), e Silva et. al. (1990).

Para os estudos intra-urbanos destacam-se as imagens orbitais de alta resolução espacial, como as *IKONOS* e *QuickBird*, caracterizadas por uma alta capacidade de discriminação dos alvos de pequena dimensão no terreno. Em estudos nas áreas urbanas, essas imagens são imprescindíveis, pois são fontes de informações de alta resolução espacial, como também alta resolução radiométrica. Dessa maneira, “a combinação destas duas características permite a detecção dos elementos que compõem o espaço intra-urbano e, por conseguinte, apresenta grande aplicabilidade para mapeamentos de cobertura e uso do solo intra-urbano” (PINHO; KUX, 2004).

Com relação às técnicas dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), Bascke e Kux (2007) organizaram em um livro vários capítulos referentes a esse tema, percorrendo sobre as diversas possibilidades e campos de abrangência de uso dessa tecnologia. O SIG caracteriza-se como uma ferramenta computacional (software) criada para a manipulação de dados e armazenamento de informações espacialmente distribuídas em um computador. Atualmente, esta tecnologia vem sendo empregada em diversos estudos devido às possibilidades de integração e análise das informações obtidas pelo usuário.

Câmara e Monteiro (2001) referem-se a esta tecnologia, utilizada também para estudos de áreas urbanas, como sendo interdisciplinar e destinada a analisar, integrar e representar esses dados. Além de compor um sistema de processamento e apresentação de dados, ele possui módulos para a realização de operações analíticas, cruzamento de informações e sobreposição. Os SIG's comportam um banco de dados, que permite a associação de atributos e a realização de consultas, possibilitando a análise e modelagem de informações espacialmente distribuídas (FERRAZ; MILDE. MORTATTI, 1999). Segundo BECKER apud SCHIAVETTI; CAMARGO et. al., (2002), os benefícios trazidos pela aplicação de SIG ao manejo de bacias hidrográficas:

(...) relacionam-se a sua capacidade de armazenar e manipular e visualizar uma grande quantidade de dados em um contexto espacializado, de seu potencial de integração com modelos hidrológicos, de geração de dados derivados para outras análises e também por apresentarem formas de consulta e visualização de resultados que facilitam a comunicação entre profissionais de diversas formações. (p. 91).

Especificidades na utilização dessas ferramentas, como suporte aos estudos de recursos hídricos são abordadas no trabalho organizado e publicado por Singh e Fiorentino

(1996), que contribuem exemplificando análises diagnósticas e prognósticas, bem como a integração de dados aplicados ao planejamento ambiental relativos ao tema recursos hídricos.

4. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo selecionada para a realização deste trabalho refere-se a bacia hidrográfica do Córrego da Servidão, afluente do rio Corumbataí, localizada no município de Rio Claro (SP), entre as coordenadas 22° 05'' e 22° 40'' S, 47° 30'' e 47° 55'' W, na região centro-leste do estado de São Paulo.

Envolvida pelo sítio urbano da cidade de Rio Claro (SP), a bacia hidrográfica do Córrego da Servidão compreende uma área aproximada de 19,7 Km² (1967,85 ha). Sua forma é alongada na direção norte-sul, tendo seu eixo principal cerca de 13,5 Km e a maior largura no médio curso (direção E – W) de aproximadamente 2,5 Km. A Figura 1 ilustra a localização, forma e dimensão dessa bacia hidrográfica.

Esta área possui um desnível altimétrico de cerca de 110 m entre seu divisor de cabeceira principal e a foz do canal do córrego, com respectivamente 645 m e 535 m de altitude, conforme indicada na carta topográfica da Folha Rio Claro, do IBGE (1:50.000). A bacia hidrográfica do Córrego da Servidão caracteriza-se por uma topografia suave e apresenta do ponto de vista geológico, uma composição de materiais sedimentares relativos à Formação Rio Claro, com predomínio de arenitos e argilitos, constituindo assim, solos com textura mais arenosa. Por esta razão, a maior parte da área da bacia hidrográfica possui em condições naturais, boa permeabilidade para a infiltração da água pluvial. Com relação a pedologia, a área de estudo é predominantemente constituída por Latossolo Vermelho-Amarelo, com perfis de solo bem desenvolvidos.

No que diz respeito aos aspectos climáticos, a área de estudo pode ser caracterizada pelo clima do tipo tropical, com duas estações definidas: o período que vai de maio a setembro é marcado por temperaturas mais amenas e chuvas mais escassas. Já o período entre novembro a abril apresenta temperaturas mais elevadas, com chuvas mais intensas. Segundo dados da Estação Meteorológica do CEAPLA/UNESP/Rio Claro, a média de temperatura anual registrada é de 22,3° C. De acordo com o sistema de classificação climática de Koppen, o clima da cidade de Rio Claro pode ser enquadrado na zona tipo Cwa, no qual a temperatura do mês mais frio é inferior a 18°C e a do mês mais quente ultrapassa os 22°C. Em relação ao regime de chuvas, a média de precipitação anual registrada na cidade é de aproximadamente 1450 mm, com chuvas mais concentradas no período relativo aos meses de outubro a abril.

No que se refere mais especificamente ao processo de urbanização da cidade de Rio Claro (SP), os dados disponíveis na página virtual da Fundação Sistema Estadual Análise de

Dados (SEADE), demonstram que até o ano de 2010, a taxa de urbanização do município era de 97,57%.

A ocupação por edificações quase que plena do sitio urbano de Rio Claro (SP) reflete-se consideravelmente na área da bacia hidrográfica do Córrego da Servidão, que se encontra, na sua maior parte, incorporada á via de circulação da cidade, a qual possui grande importância para a dinamicidade do município.

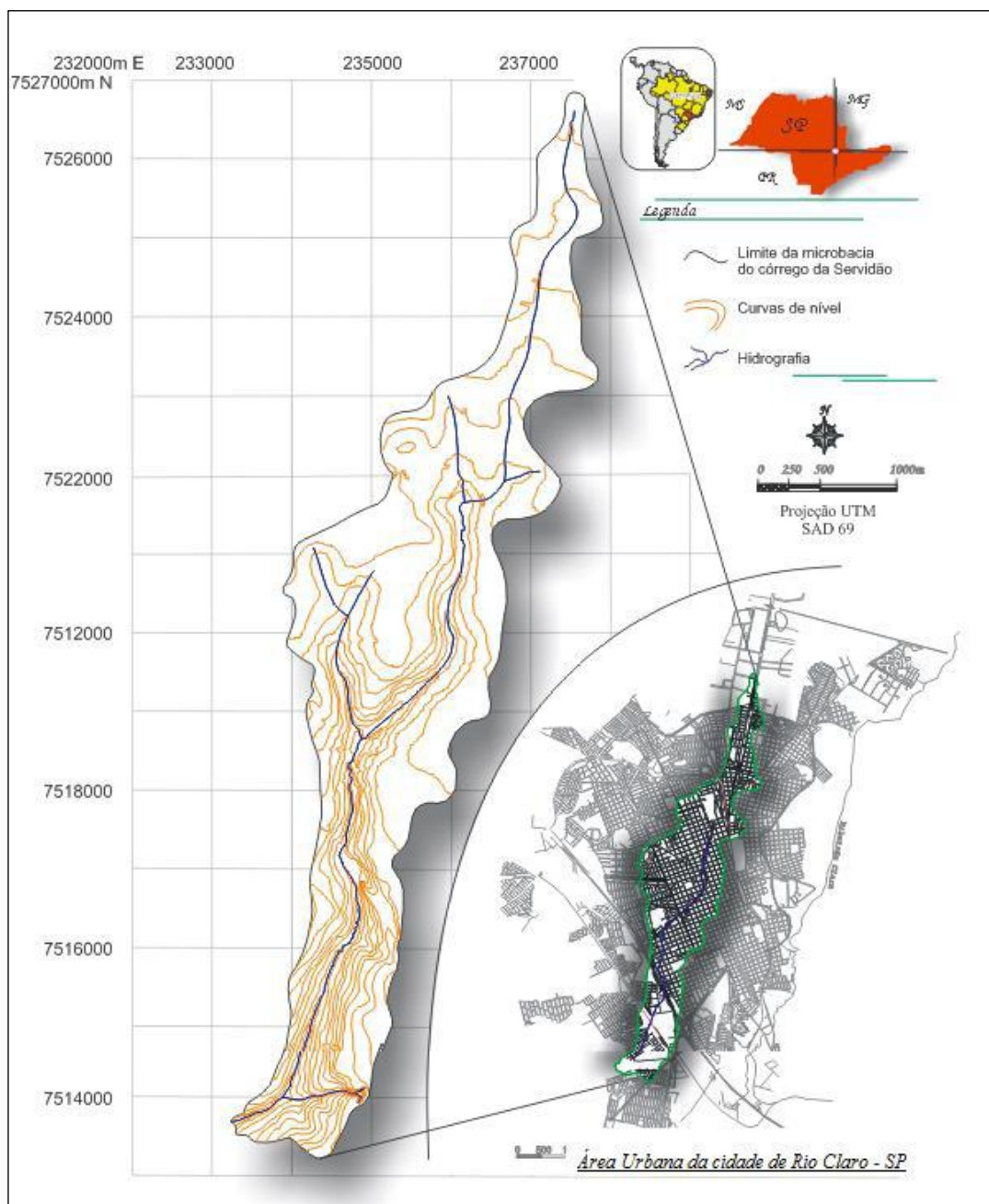


Figura 1. Localização da Área de Estudo

Fonte: (MORUZZI, et. al. (2007)).

5. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

5.1. Materiais

Para o desenvolvimento deste trabalho, conforme proposto, foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos:

- Fotografias aéreas referentes aos aerolevamentos de 1958 (pancromática/1:25.000) e 2006 (colorida/1:30.000) em meio analógico e digital, respectivamente.
- Planta cadastral da cidade de Rio Claro, formato analógico e digital, na escala de 1:10.000 (base IGC/SP), e folhas topográficas da carta da cidade de Rio Claro – 1:10.000 (IGC/SP).
- Folha da carta topográfica da cidade de Rio Claro, na escala 1:50.000 (IBGE).
- Sistema Computacional e softwares de processamento de imagens e SIG (SPRING, ArcGIS e Idrisi).
- Sistema de Posicionamento Global – GPS.
- Estereoscópio.

5.2. Procedimentos Metodológicos

Em conformidade com os objetivos propostos para a realização deste trabalho, foram desenvolvidas atividades, estruturadas em seis etapas 1) Aquisição do material cartográfico; 2) Pré-processamento digital das fotografias aéreas; 3) Processamento digital das fotografias aéreas; 4) Geração de mapas temáticos; 5) Aplicação do método da Curva - Número; e por fim 6) Análise dos resultados obtidos.

A cada etapa, foram adotados procedimentos específicos, que serão descritos a seguir.

5.2.1. Aquisição do Material Cartográfico

A etapa inicial deste trabalho consistiu basicamente no levantamento da bibliografia referente ao tema de pesquisa, bem como de toda a documentação cartográfica necessária.

As fotografias aéreas foram obtidas por meio do CEAPLA/UNESP – Rio Claro, tendo sido feita a opção pelo material referente aos aerolevamentos de 1958 (pancromática/1:25.000) e 2006 (colorida/1:30.000) em meio analógico e digital respectivamente. Para a realização do mapeamento de uso do solo urbano de Rio Claro (SP),

foram selecionados estes cenários, com maior lapso de tempo, quase cinco décadas, sobre a ocupação urbana na bacia hidrográfica, indicando, significativamente, situações diferenciadas de ocupação da bacia hidrográfica, destacando-se o adensamento de edificações e a consequente impermeabilização das vertentes, bem como indicando-se os locais onde a cobertura vegetal intra-urbana se manteve.

5.2.2. Tratamento, Manipulação e Extração dos dados

5.2.2.1. Pré-processamento Digital das Imagens

Com a seleção das imagens aerofotogramétricas, procedeu-se a extração e manipulação dos dados de interesse com suporte do software SPRING 4.3.3., uma vez que as imagens dos dois períodos já se encontravam em meio digital. Desta forma, procedeu-se a delimitação da área da bacia hidrográfica do Córrego da Servidão, com apoio das cartas topográficas (1:10.000). Para compor a área de estudo, inicialmente foi realizada a mosaicagem das imagens que recobrem a bacia hidrográfica para ambos os cenários selecionados. Após a execução deste procedimento, pode-se delimitar e recortar a área de abrangência da bacia hidrográfica, sendo posteriormente importada como um novo plano de informação no ambiente do SPRING.

Com a composição dos mosaicos para os cenários de 1958 e 2006, procedeu-se a aplicação de técnicas para melhorar a qualidade visual das imagens. Para tanto, foi aplicada a opção de equalização do histograma para balancear o contraste dos alvos segundo a composição das bandas espectrais. Também foi aplicada a opção de realçamento por ampliação linear de contraste, considerada a mais adequada, possibilitando melhor visualização dos objetos contidos nas imagens. Através da aplicação destes procedimentos, os alvos apresentados puderam ser identificados de modo mais seguro e preciso, evitando assim, que algumas confusões fossem geradas na fase de classificação.

5.2.2.2. Processamento Digital das Imagens

Nesta etapa foram utilizados aplicativos referentes a segmentação e classificação temática das imagens, que serão apresentadas a seguir:

5.2.2.2.1. Processo de Segmentação

O aplicativo de segmentação é uma função disponível em todas as versões do software SPRING. Tem como intuito facilitar e agilizar a fase de classificação, uma vez que identifica e pré-determina objetos espectralmente semelhantes. Neste trabalho aplicou-se este procedimento com a finalidade de auxiliar na delimitação dos alvos, separando-os conforme seus níveis de cinza, e possibilitando que fossem agrupados em regiões espectralmente homogêneas, conforme salienta Moreira, (2005).

Especificamente nesta etapa, o êxito no processo de segmentação dependeu da adequação dos valores para os parâmetros de distinção dos níveis de cinza. Estes parâmetros são definidos pelos valores de similaridade e de área. Neste sentido, quanto menor o valor escolhido para a similaridade dos pixels, mais distinções ele fará entre os níveis de cinza, quanto maior o valor, menores serão estas distinções. Segundo Costa et. al., (2007), “o ajuste destes valores é em geral realizado por um procedimento lento e subjetivo de tentativa e erro”. (p.129).

Após a realização de vários testes foram adotados dois pares de parâmetros de área e similaridade de pixels que melhor possibilitaram a distinção dos alvos de interesse. Os pares selecionados foram: 30;15 e 30;12, respectivamente para alvos urbanos e rurais. Para chegar aos valores mais adequados, foi considerado principalmente a heterogeneidade dos objetos encontrada na primeira (urbano) e a homogeneidade apresentada na segunda (rural).

Como resultados da segmentação foram geradas imagens com inúmeros polígonos de separação dos alvos. A partir das imagens segmentadas, foi aplicado o processo de classificação, por meio do qual se obteve duas imagens temáticas onde os objetos imageados foram incluídos em classes temáticas.

5.2.2.2.2. Processo de Classificação

Entende-se por classificação digital o processo no qual as informações são extraídas de uma imagem por meio de um software de processamento de imagens, com a finalidade de identificar padrões e objetos homogêneos, para a obtenção de mapas temáticos (SPRING, 2011). Neste trabalho, a classificação digital da imagem foi realizada utilizando a edição manual, sem a aplicação de um classificador exclusivamente automático. A opção pela classificação por edição manual teve como intuito obter uma imagem classificada, minimizando os erros resultantes do uso de um classificador automático. Este procedimento

se justifica porque o ambiente intra-urbano contém alvos diversificados e que podem apresentar respostas espectralmente similares, ou muito próximas, e que são incluídas erroneamente em uma mesma classe por um classificador automático.

Desta forma, como primeiro passo, foi criado um plano de informação (arquivo) de cada cenário para armazenar os dados extraídos das imagens. Este novo plano de informação foi denominado “Uso e cobertura da terra”, incluindo todos os tipos de ocupação das vertentes da bacia hidrográfica, sejam eles naturais ou implantados pela ocupação antrópica. Esse plano de informação resultou no mapeamento de Uso da terra na bacia hidrográfica em estudo. Para isso, foi elaborada uma legenda temática para o mapeamento das imagens, sendo consideradas preliminarmente as classes:

- Vegetação arbórea (consideram-se nesta classe todas as espécies de arbórea nativas e plantadas, as quais estão incluídos os Reflorestamentos, Citrus e Café).
- Vegetação graminóide (herbáceas).
- Gramíneas com solo exposto.
- Solo exposto.
- Arruamento asfáltico (pavimentado).
- Arruamento com solo exposto (não pavimentado).
- Áreas com edificações (foram incluídas nesta classe todos os tipos de construções).
- Lago.

Com as classes temáticas definidas, procedeu-se a classificação temática das imagens, realizada com base nos elementos de fotointerpretação pelo método convencional. Este método consiste em visualizar e identificar os elementos presentes numa imagem, atribuindo-lhes um significado (FLORENZANO, 2002). Esta identificação é conduzida considerando o comportamento espectral específico dos alvos, registrados em variações de níveis de cinza.

Além do comportamento espectral, a fotointerpretação convencional, tomou-se por base os seguintes atributos:

Padrão – está relacionado à disposição espacial dos alvos (MOREIRA, 2007).

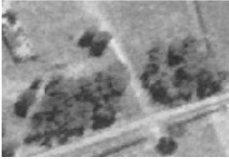
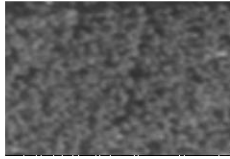


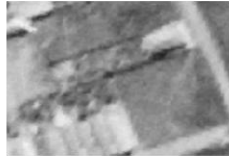

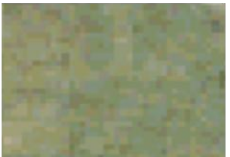
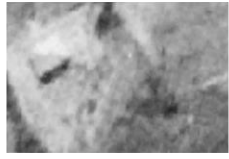
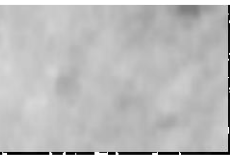



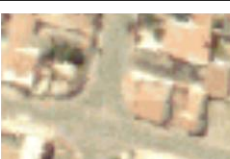

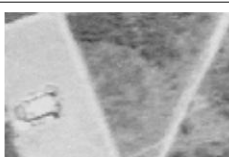



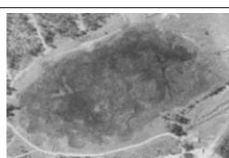


Forma – se refere à forma propriamente dita dos objetos, contudo este atributo deve estar associado a outro, uma vez que outros alvos apresentam formas parecidas.

Tamanho - atributo mais associado com a forma, e facilmente distinguível.

Textura – é caracterizada pelo agrupamento de vários alvos de mesma natureza, ou pela variabilidade de níveis de cinza.

Desta forma o quadro 1 apresenta as chaves de interpretação definida para realizar a classificação temática dos alvos. Considerando as características apresentadas por cada objeto imageado ou agrupamento aplicando a função edição vetorial, do software SPRING, através da qual, os polígonos representativos dos objetos ou seus agrupamentos foram associados às classes temáticas pré-estabelecidas.

Quadro 1: Chaves de interpretação para identificação e classificação dos alvos imageados.

Chaves de Interpretação para a Classificação Temática				Classes Temáticas
1958 - Escala 1:25 000		2006 - Escala 1:30 000		
				Vegetação Arbórea
				Vegetação Graminóide
				Gramíneas com Solo Exposto
				Solo Exposto
				Arruamento Asfáltico
				Arruamento com Solo Exposto
				Edificação
				Lago

5.2.2.3. Geração dos mapas temáticos de uso da terra

Com a realização da classificação temática das imagens, obtiveram-se como resultado preliminar, os mapas temáticos em formato vetorial do uso da terra na bacia hidrográfica do Córrego da Servidão para os dois cenários. A partir destes produtos procedeu-se a conversão dos dados de vetores para matriz, na qual foi possível corrigir os erros gerados durante a etapa de identificação e classificação dos alvos. Desta forma, nesta etapa do trabalho, foram realizados os procedimentos referentes à edição matricial dos dados temáticos.

A edição matricial é uma função do software SPRING que possibilita a manipulação dos dados no formato matricial, isto é, na matriz dos pixels. Neste sentido, o processo de edição do mapa temático pode ser realizado de forma rápida, visto que operações de ajuste de linhas e poligonização tornam-se desnecessárias (MOREIRA, 2007). Este processo permite que algumas adequações de classes temáticas sejam feitas, contribuindo para a obtenção de resultados mais plausíveis e confiáveis.

Cabe ressaltar que, embora a classificação tenha sido feita manualmente, observou-se que alguns polígonos agruparam pixels de alvos distintos. Assim, nesta etapa, estes erros puderam ser corrigidos, associando os pixels às classes corretas. Além disso, o uso deste aplicativo também possibilitou a adequação de alguns polígonos às classes temáticas estabelecidas.

Após serem realizados os procedimentos concernentes à edição matricial, os dados foram exportados em formato *raster* para o ArcGIS. Neste software foram realizados os procedimentos referentes ao layout.

5.2.2.4. Medida das classes temáticas

Com o mapeamento temático referente ao uso da terra para os dois cenários selecionados, foi possível obter os valores de áreas referentes a representatividade de cada classe temática. Para tanto, utilizou-se um dos comandos adicionais contidos dentro do modelo de dados *Temático* do software Spring, denominado *Medidas de Classes*. O cálculo é realizado com base no número de pixels que compõe cada classe temática, e considera como parâmetro tanto dados do tipo vetorial (mapa vetorial), quanto dados matriciais (imagem temática). Por se tratar de um cálculo de área, os valores finais podem ser fornecidos em metros e quilômetros quadrados, ou hectares.

As medidas de classes foram geradas com base na imagem temática (formato matricial dos dados) para os dois cenários. A partir dos valores fornecidos foi possível realizar o cálculo percentual para cada classe temática, cuja finalidade foi constatar a abrangência de cada classe em relação à área total da bacia hidrográfica do Córrego da Servidão.

5.2.2.5. Mapa de Declividade

Para gerar o mapa temático com a representação das classes de declividade foi necessário primeiramente, realizar a vetorização de todas as curvas de nível da bacia hidrográfica tendo como suporte a carta topográfica da cidade de Rio Claro (escala 1:10.000). Após a vetorização dos dados, o arquivo em formato *shapefile* foi importado para o software Spring, como um novo plano de informação denominado “Curvas de Nível”, o qual foi inserido na categoria “Curvas de Nível” no modelo de dados MNT (Modelo Numérico do Terreno).

Neste modelo, procedeu-se a geração de uma grade retangular, a partir da função do Spring designada *Geração de Grade Retangular*. Os dados de entrada foram indicados pela amostra com os valores das curvas de nível vetorizadas. Como resultado obteve-se uma grade com a distribuição dos valores altimétricos, sobre a qual foi gerada uma imagem em nível de cinza.

O passo seguinte foi gerar uma grade de declividade tendo como referência a grade retangular dos dados altimétricos. Para realizar esta operação o aplicativo *Declividade* foi ativado, tendo sido estabelecido como dados de entrada a grade retangular e como dados de saída a declividade. A partir da geração desta nova grade, procedeu-se a realização do fatiamento da imagem segundo as classes de declividade estabelecidas. Este processo foi realizado através da função *Fatiamento*, que se encontra inserido dentro do modelo de dados MNT. Com base nos valores altimétricos, foram definidas sete fatias, posteriormente associadas às classes de declividade criadas no modelo de dados Temático apresentados por valores percentuais. Desta forma, considerando o relevo suave que predomina na bacia hidrográfica do Córrego da Servidão, as classes de declividade adotadas foram: de 0 a 2%, de 2 a 4%, de 4 a 6%, de 6 a 10%, de 10 a 18%, de 18 a 42% e, acima de 45%.

5.2.3. Indicação da relação chuva-vazão pelo método da Curva-Número

A estimativa do escoamento superficial direto produzido na bacia hidrográfica do Córrego da Servidão para os dois cenários selecionados (1958 e 2006) foi realizada com base no método Curva-Número (CN) do Soil Conservation Service (S.C.S.), do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (S.C.S., 1964).

Para determinar os valores de CN em áreas urbanas e rurais, considera-se importante o tipo de solo (granulometria, saturação, composição etc.), bem como o uso e ocupação do mesmo, além do volume de chuva precipitado. De acordo com o S.C.S., os tipos de solo podem ser classificados em função de quatro grupos hidrológicos de solos A, B, C e D, cuja variação se dá pela composição e propriedades hidrológicas que apresentam.

Nesta pesquisa, a indicação dos grupos hidrológicos do S.C.S./USDA foi realizada com base em análises de amostras de solo coletadas ao longo de toda a bacia hidrográfica. Para os fins desta pesquisa, foi adotada a classificação dos solos da bacia hidrográfica do Córrego da Servidão dentro dos grupos hidrológicos de solos, segundo o trabalho realizado por MORAES, 2011¹. No referido trabalho foram coletadas 22 amostras de solo em diferentes pontos da bacia hidrográfica, tanto em superfície quanto em profundidade, cuja variação foi de 0,60m a 1,50m da superfície. A escolha dos pontos para a coleta das amostras foi pautada pela presença de uma área relativa de solo original que estivessem com cobertura preservada, ou seja, isentos de revestimentos impermeáveis.

Para que as duas áreas desconsideradas pudessem ser enquadradas em um grupo hidrológico, optou-se por considerar os pontos de coleta de solo referentes às amostras 4 para o setor do extremo norte, e 22 e 24 para o setor de exutório da bacia hidrográfica, por expressão similar dessas áreas. A adoção destas amostras como pontos de referência para classificação do solo segundo um grupo hidrológico pautou-se nas características hidrológicas que estas áreas apresentam, e que também predominam nos setores adjacentes a elas.

No trabalho de Moraes (2011), as amostras foram analisadas em laboratório e caracterizadas segundo as propriedades apresentadas pelas mesmas. De acordo com as propriedades hidrológicas identificadas em cada amostra foi possível enquadrá-las em um dos quatro grupos hidrológicos. Para classificar as amostras segundo os grupos hidrológicos de solo, foi adotado como parâmetro de análise o percentual de argila encontrado em superfície, embora tenha sido constatado que apenas diferenças consideráveis de concentração de argila em camadas mais profundas provocaram alterações nos tipos de solo (MORAES, 2011, p.59).

Na tabela 1 estão especificadas a profundidade em que cada amostra de solo foi coletada, o percentual de argila, silte e areia encontrados nas mesmas, além do enquadramento segundo a classificação proposta pelo S.C.S/USDA. O mapa da figura 2 mostra distribuição espacial das amostras coletadas por Moraes (2011), bem como os grupos hidrológicos de solo predominantes em toda a bacia hidrográfica do Córrego da Servidão.

Tabela 1: Classificação das amostras de solo da Bacia Hidrográfica do Córrego da Servidão

AMOSTRA	Profundidade	ARGILA%	SILTE %	AREIA%	Grupos Hidrol.
1	Superfície	16	2	82	B
	1,50 m	22	6	72	
2	Superfície	16	2	82	B
	1,50 m	20	2	78	
3	Superfície	16	8	76	B
	1,50 m	18	0	82	
4	Superfície	19	12	69	B
	1,00 m	18	2	80	
5	Superfície	24	3	73	C
	1,30 m	25	3	72	
6	Superfície	19	1	80	B
	1,50 m	26	1	73	
7	Superfície	18	2	80	B
	1,50 m	20	1	79	
8	Superfície	12	3	85	B
	1,20 m	19	3	78	
9	Superfície	24	2	74	C
	1,20 m	27	7	66	
10	Superfície	30	6	64	C
	0,80 m	36	4	60	
11	Superfície	42	0	58	C
	1,15 m	39	4	57	
12	Superfície	38	0	62	C
	1,50 m	64	5	31	
13	Superfície	27	11	62	C
	1,50 m	57	4	39	
14	Superfície	52	2	46	C
	1,50 m	34	2	64	
15	Superfície	47	10	43	C
	1,50 m	32	4	64	
16	Superfície	20	9	71	C
	1,50 m	34	2	64	
17	Superfície	28	1	71	C
	1,50 m	32	4	64	
18	Superfície	37	2	61	C
	1,20 m	44	1	55	
19	Superfície	36	4	60	C
	0,70-0,80 m	44	2	54	
20	Superfície	23	6	71	C
	0,80 m	24	4	72	
21	Superfície	22	4	74	C
	0,60 m	25	5	70	
22	Superfície	18	12	70	B
	1,00 m	18	4	78	

Fonte: (MORAES, 2011).

Grupos hidrológicos de solos (SCS - 2004)

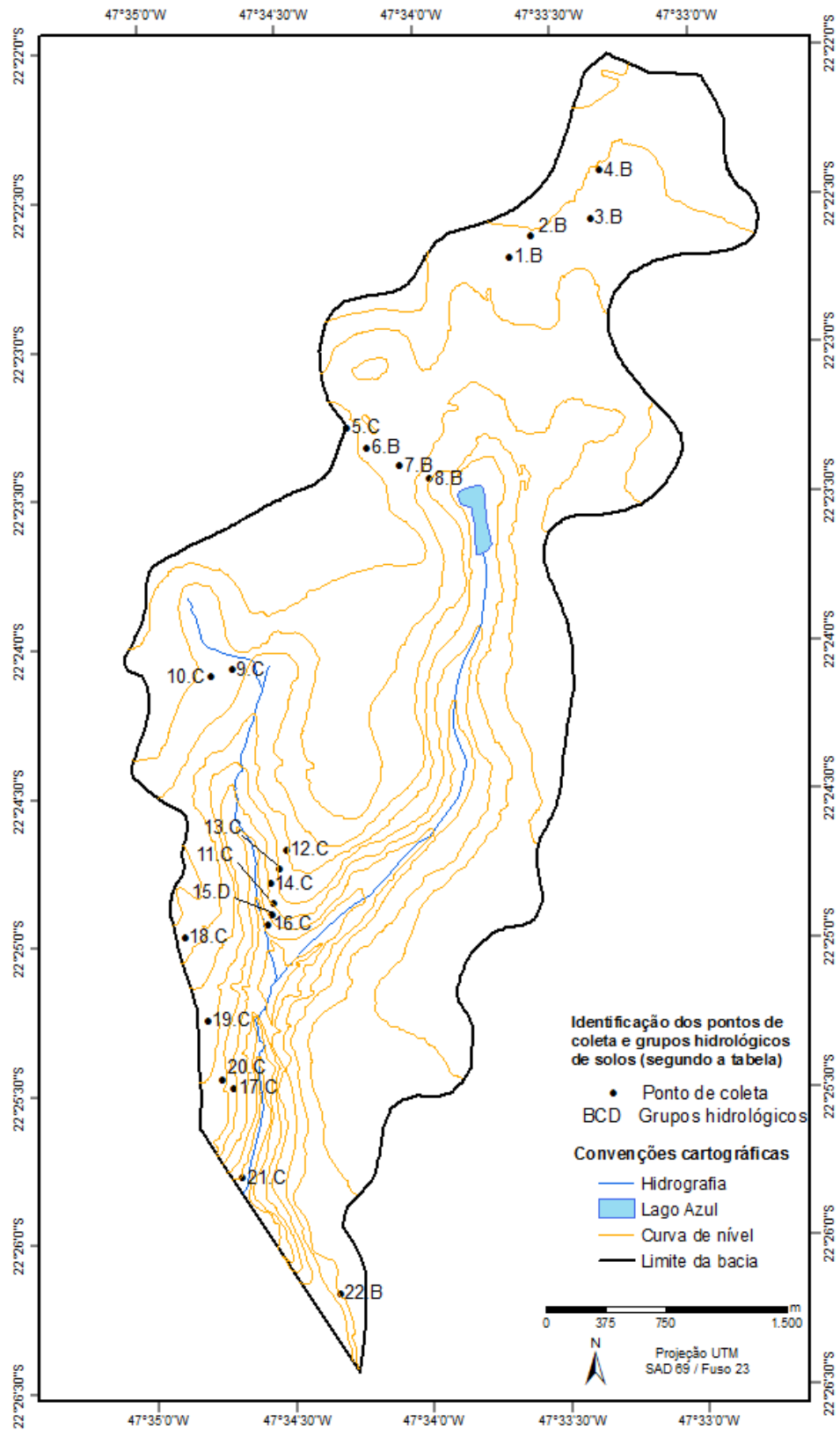


Figura 2: Mapa com os pontos de coleta das amostras de solo, e a classificação segundo os Grupos Hidrológicos de Solo.

Fonte: (MORAES, 2011).

Tendo como princípio os parâmetros estabelecidos pelo S.C.S/USDA, as amostras analisadas foram associadas a dois grupos hidrológicos de solo: B e C, os quais indicam níveis intermediários de permeabilidade do solo, e uma produção de escoamento superficial mais significativa, para o caso do solo do tipo C em relação à categoria B. Através da identificação destes dois grupos hidrológicos, foi possível obter maior conhecimento sobre as condições de infiltração e escoamento proporcionadas pelos solos em relação ao sistema de drenagem, sobretudo quando consideram-se diferentes níveis de impermeabilização.

Após a identificação das categorias hidrológicas dos solos, procedeu-se a indicação da relação chuva x runoff, por meio da aplicação do método da Curva-Número (S.C.S/USDA), para os segmentos urbano e rural. Inicialmente, foram adquiridos os registros dos dados de pluviosidade anual relativos ao período analisado, disponibilizados pelo CEAPLA – Centro de Análise e Planejamento Ambiental. Os dados referem-se à dois postos pluviométricos, um localizado na Floresta Estadual Edmundo Navarro Andrade que dispõe de dados mensais, e o outro situado no campus da UNESP/Rio Claro, onde constam dados diários desde 1994. A série histórica de pluviosidade da bacia hidrográfica foi estruturada conforme o total anual de chuva, sendo utilizados os registros procedentes da estação do Horto Florestal (Floresta Estadual Edmundo Navarro Andrade) até o ano de 1993, e nos anos posteriores as medidas de chuva provenientes da estação meteorológica do CEAPLA/UNESP – Rio Claro.

De forma geral, os dados pluviométricos indicam que o sistema de drenagem do Córrego da Servidão recebe um volume significativo de precipitação anual conforme a figura 3. Através desse pluviograma, observa-se que a média de pluviosidade para o período analisado foi de 1.486,3 mm. O total anual mensal de chuva para a série aponta o ano de 1983 como o mais chuvoso do período com um total de 2.672,5 mm. Em contrapartida, o ano mais seco foi o de 1961, com apenas 699,5 mm de chuva.

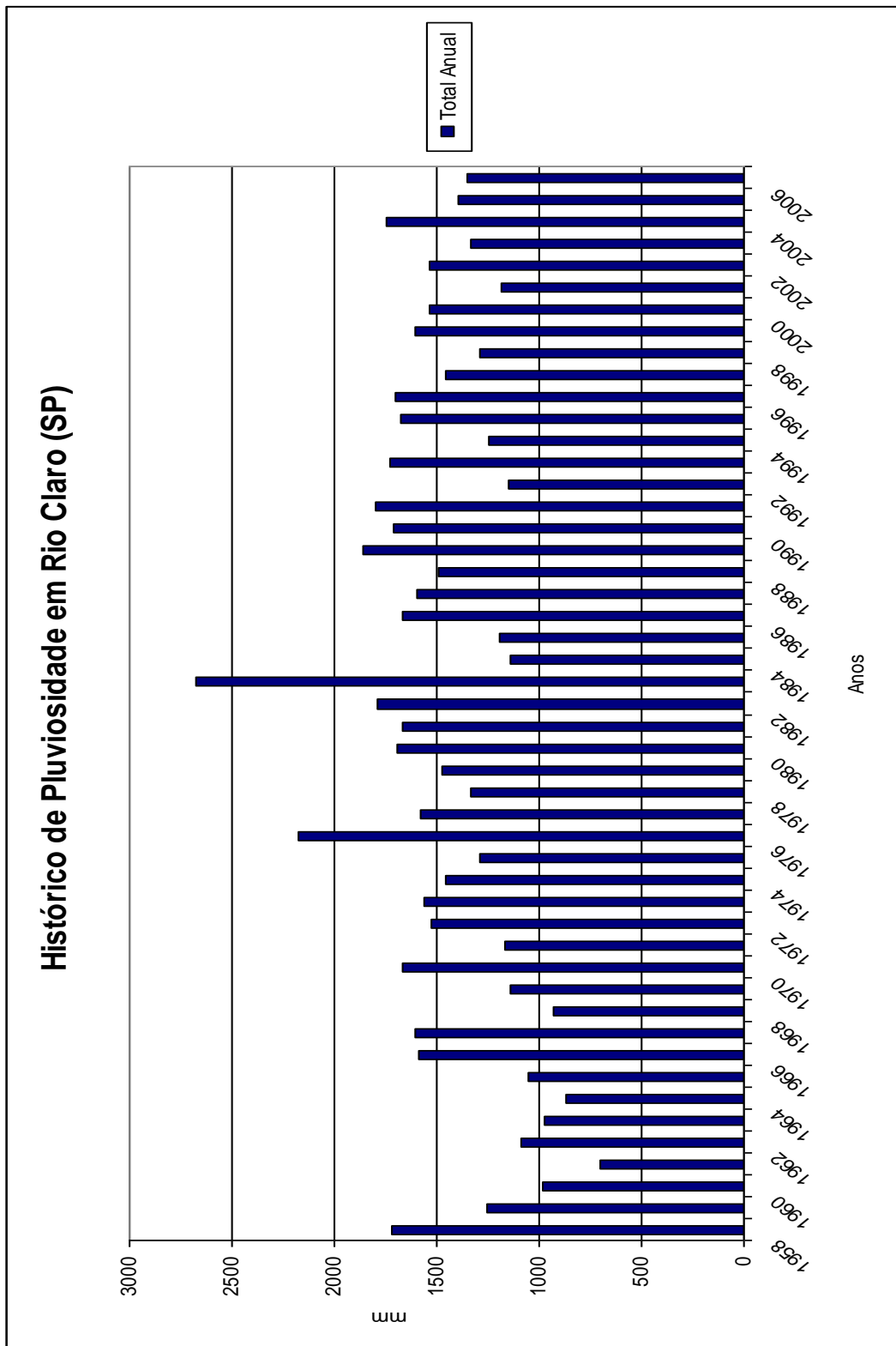


Figura 3: Série histórica de pluviosidade anual (1958 - 2006)

Fonte: (CEAPLA, 2011).

A indicação de valores da Curva-Número foi realizada com base na proposta de Canholi (2005), a qual sugere que os valores de CN sejam ajustados, adequando-os aos solos encontrados no Brasil. Nesta perspectiva, os valores de CN para a bacia hidrográfica do Córrego da Servidão foram definidos conforme o tipo de uso do solo e condições hidrológicas dos solos e faixas de declividade. Para tanto, adotou-se como parâmetros a estimativa de CN para áreas rurais e urbanas estabelecida pelo S.C.S/USDA e adaptada para o caso do Brasil por Canholi (2005), conforme ilustrado na tabela 2.

Tabela 2: Valores de CN para cada tipo de uso, proposta pelo S.C.S/USDA.

Tipo de Solo/Ocupação e Condição Hidrológica	Área Impermeável (%)	Grupo Hidrológico			
		A	B	C	D
Áreas livres					
Condições ruins (gramados < 50%)		68	79	86	89
Condições normais (gramados de 50% a 75%)		49	69	79	84
Condições excelentes (gramados >75%)		68	79	86	89
Áreas impermeáveis					
Estacionamentos pavimentados, telhados, estradas e ruas		98	98	98	98
Pavimentadas com sistema de drenagem		98	98	98	98
Pavimentadas sem sistema de drenagem		83	89	92	93
Cascalho	76	85	89	91	
Terra	72	82	87	89	
Áreas urbanas					
Áreas comerciais	85	89	92	94	95
Áreas industriais	72	81	89	91	93
Áreas Residenciais (em função da parte impermeável)					
Área residencial Tipo 1	65	77	85	90	92
Área residencial Tipo 2	38	61	75	83	87
Área residencial Tipo 3	25	54	70	80	85
Área residencial Tipo 4	20	51	68	79	84
Área residencial Tipo 5	12	45	65	77	82

Fonte: (Canholi, 2005).

Para a aplicação do método CN tomou-se como fator principal as classes temáticas definidas para a classificação de uso da terra na bacia hidrográfica, que foram associadas aos valores de CN disponíveis na tabela 2. Assim, considerando as condições de infiltração propiciadas por cada tipo de uso, as classes foram associadas às características de escoamento superficial indicadas pelos valores de CN. O quadro 2 mostra as classes de uso da terra definidas neste trabalho, e suas características conforme S.C.S/USDA.

Quadro 2: Adaptação das classes temáticas para as classes de uso do solo do S.C.S./USDA

Classes de uso da terra	Tipo de solo/ocupação definidas pelo S.C.S./USDA
Vegetação arbórea	Vegetação natural, reflorestamentos, silvicultura em condições normais
Vegetação graminóide	Campos, pastagens, cultivo de cana-de-açúcar em condições normais
Gramíneas com solo exposto	Pastagens e terrenos desocupados em condições normais
Solo exposto	Pastagens e terrenos desprovidos de cobertura superficial, em condições ruins
Arruamento asfáltico	Arruamentos pavimentados com sistema de drenagem
Arruamento com solo exposto	Arruamentos não-pavimentados com superfície de terra
Edificação	Área residencial Tipo 1 (65% de impermeabilização)

A definição dos valores de curva-número para a bacia hidrográfica foi realizada a partir do cruzamento do mapa referente a classificação do solo segundo os grupos hidrológicos do S.C.S./USDA, com o mapa de uso e cobertura da terra, para os dois períodos selecionados. Para tanto, os dados de interesse que se encontravam no software Spring 4.3.3 foram importados em formato matricial para o software Idrisi32, no qual foram efetuados todos os procedimentos concernentes a esta etapa do trabalho.

Alguns parâmetros tiveram de ser estabelecidos a fim de possibilitar a manipulação dos dados em um novo ambiente SIG. Desta forma, de início, foi indicada a mesma projeção UTM do projeto inicial, bem como foram estabelecidas as coordenadas do retângulo envolvente da área de estudo. A resolução das imagens adotada no projeto do banco de dados do Spring também foi preservada, tendo sido verificado se o número de linhas e colunas de pixels representados nos mapas temáticos de referência coincidiam entre si.

Antes de realizar a sobreposição dos planos de informação, as legendas temáticas tiveram que ser editadas, isto é, passaram por um processo de re-classificação, no qual as classes definidas no mapeamento foram associadas às classes rotuladas pelo software Idrisi32. Após a edição das classes, realizou-se a operação de intersecção entre os layers, através do módulo *Overlay*. Neste processo, o mapa dos grupos hidrológicos foi indicado como primeira imagem (referência), e o mapa referente ao uso e cobertura da terra como segunda imagem. Desta operação, resultou um mapa com vinte e quatro combinações entre as oito classes temáticas e os dois grupos hidrológicos de solo determinados para a bacia hidrográfica.

A adequação das combinações entre as classes representativas do novo mapa gerado, foi realizada através de uma re-classificação da legenda temática, associando as novas classes

as classes temáticas pré-determinadas. A partir desta edição, o número de combinações foi reduzido para quinze e dezesseis classes para os cenários de 1958 e 2006 respectivamente. A nova legenda temática gerada foi associada a uma escala de cores, para melhor distinção das classes representadas.

Com a definição das classes geradas pelo cruzamento dos dados de classificação segundo os grupos hidrológicos de solo, e o uso da terra na bacia hidrográfica do Córrego da Servidão, foi realizada uma associação entre estas e os valores de CN estabelecidos para cada tipo de uso e expressos em uma tabela.

Com a determinação de CN para as classes de uso da terra, foi realizada a estimativa do volume de escoamento superficial para a área da bacia hidrográfica, tendo como parâmetros os valores de CN e o índice de pluviosidade para o período. Neste caso, tomou-se como referência, a média de precipitação total para o ano de 1958 e 2006. Cabe dizer que os resultados obtidos com o cálculo das médias de pluviosidade foram arredondados para números inteiros, uma vez que facilita a manipulação e integração dos dados para estimar o escoamento superficial da área analisada.

A determinação do escoamento superficial foi realizada com o auxílio do ábaco proposto pelo método de CN (figura 4). A média de precipitação foi associada a um valor de CN, apontando assim, para um valor de escoamento superficial e sendo obtidos os valores de CN para todas as classes de tipo de uso e cobertura.

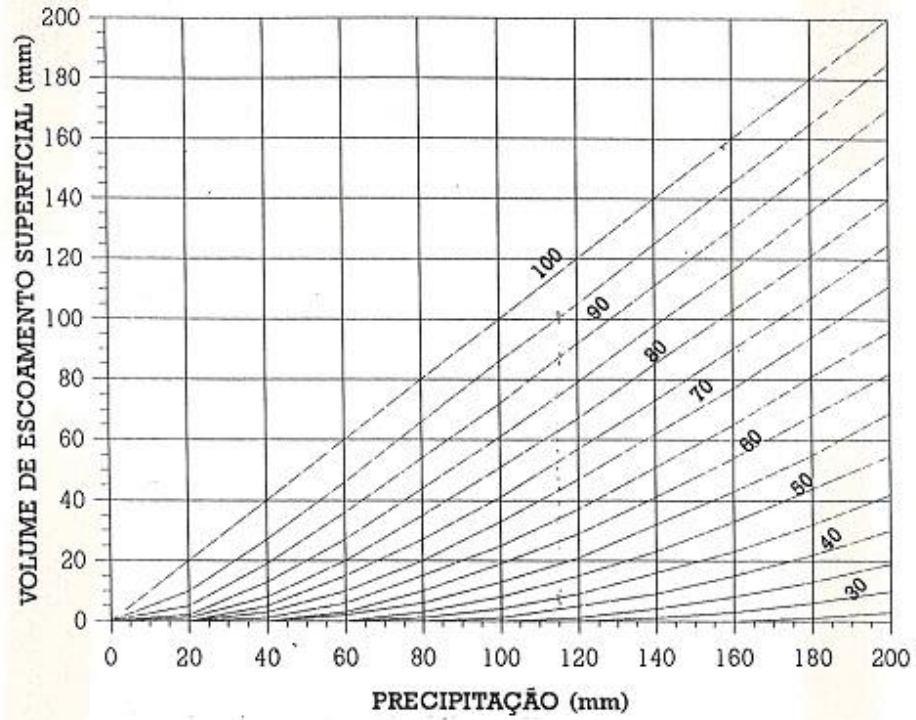


Figura 4: Ábaco para estimativa do escoamento superficial de acordo com o método da Curva-Número do S.C.S./USDA.

Fonte: (PINTO, 1995).

6. RESULTADOS

A partir dos resultados obtidos e a todo referencial teórico-metodológico consultado, foi realizada uma análise com base nos dados e produtos cartográficos gerados, que serão apresentados a seguir.

6.1. Extração de dados e mapeamento de uso da terra por imagens

Os produtos obtidos pelo processo de mosaicagem de imagens (cenários 1958 e 2006) encontram-se ilustrados pelas figuras 5 e 6. Através das figuras, fica explícita a forma alongada e estreita dessa bacia, em particular o forte estreitamento de seu alto curso, resultando em um fato pouco comum em bacias hidrográficas, especialmente àquelas de padrão dendrítico.

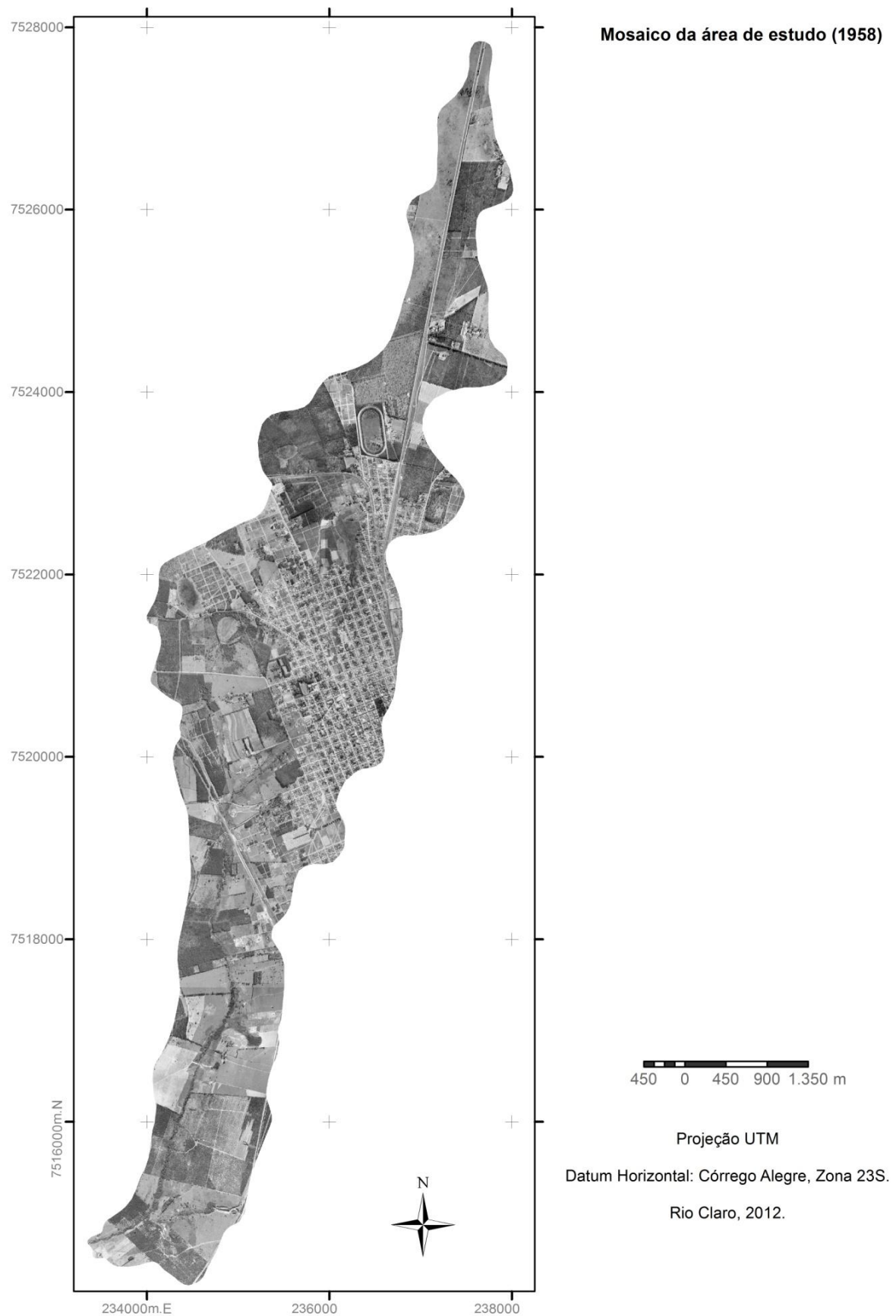


Figura 5: Mosaico com a área total da Bacia Hidrográfica do Córrego da Servidão realizado com suporte do Software Spring 4.3.3. (Cenário 1958).

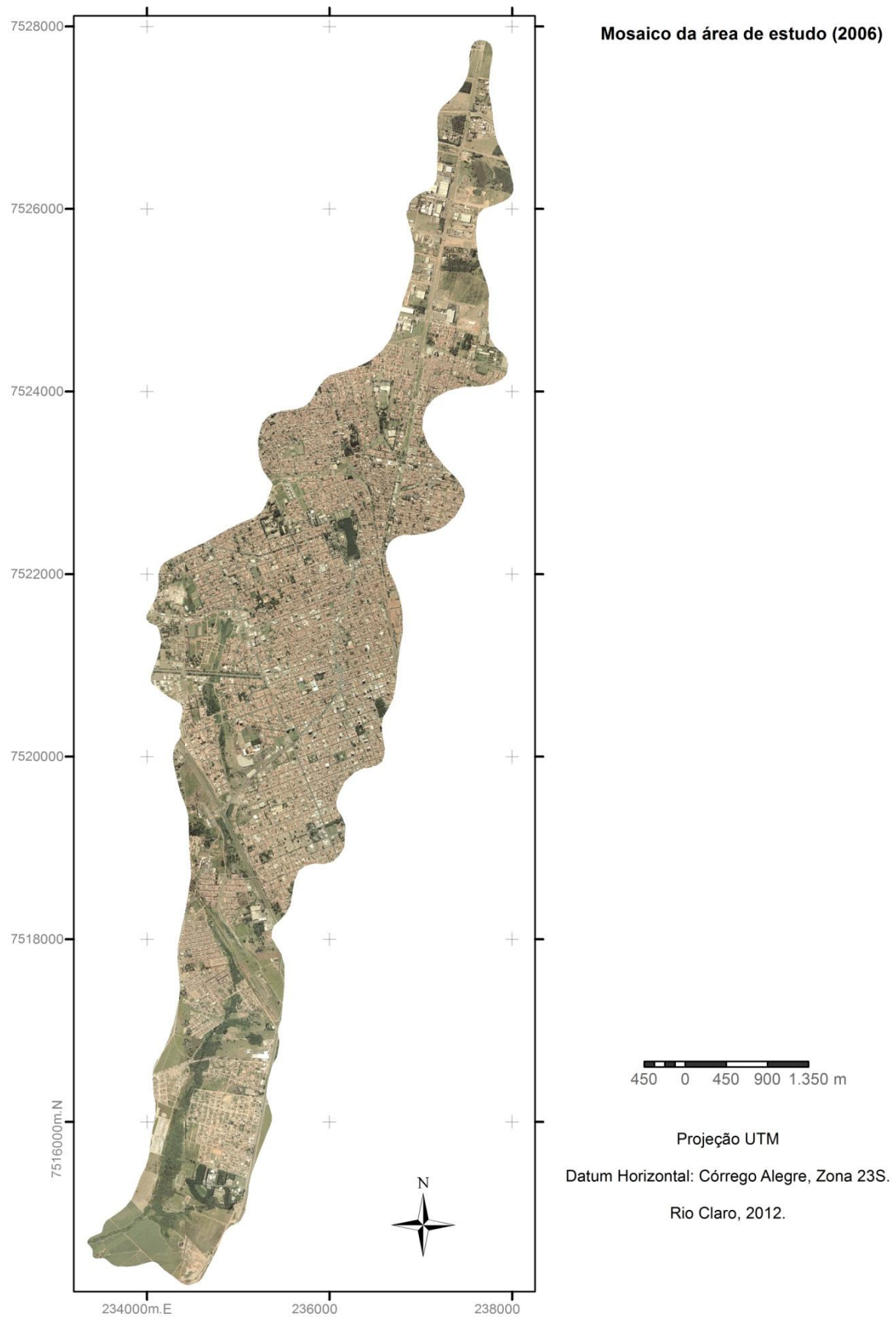





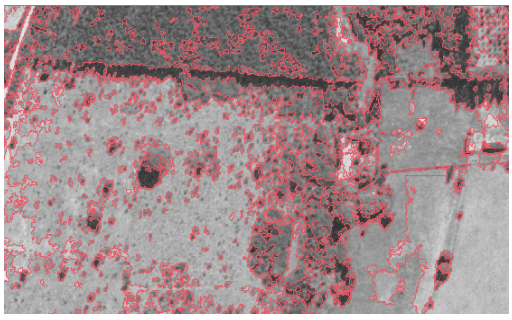




Figura 6: Mosaico com a área total da Bacia Hidrográfica do Córrego da Servidão realizado com suporte do Software Spring 4.3.3. (Cenário 2006).

Com relação ao procedimento de segmentação, que após a realização de vários testes, verificou-se que a segmentação que melhor separou os alvos temáticos urbanos de interesse, foi àquela resultante da aplicação dos valores 30 e 15 respectivamente para área e similaridade de pixels. Para a área que corresponde a porção rural da bacia hidrográfica, foram selecionados os valores de 30 para a área de pixel, e 12 para a similaridade. Os resultados desta segmentação estão apresentados no quadro 3.

Quadro 3: Segmentação das imagens para classificação temática

Ano	Porção da área imageada	Aplicação da Segmentação
	Urbana	Área: 30; Similaridade: 15
1958		
2006		
	Rural	Área: 30; Similaridade: 12
1958		
2006		

Observou-se que no cenário referente a 1958, as áreas com solo exposto apresentaram níveis de cinza muito semelhantes aos telhados de algumas edificações, por isso, em alguns

polígonos essa distinção teve que ser realizada manualmente. Outro erro determinado pela segmentação está relacionado à questão da sombra. Foi constatado que alguns polígonos gerados pertencentes à classe de vegetação arbórea, por exemplo, apresentavam uma área muito maior do que o objeto representado. Desta forma, em determinadas situações, os polígonos relativos à cobertura vegetal arbórea tiveram incorporadas as sombras associadas. A ocorrência de sombra também foi evidenciada nos polígonos que representavam a classe de áreas com edificações com mais de um pavimento.

Com relação ao cenário 2006, por se tratar de uma imagem aerofotogramétrica colorida não foram identificados muitos erros de segmentação, fato que facilitou o processo posterior de classificação temática. Quanto a representação das sombras, assim como já havia sido constatado na segmentação do cenário 1958, também foi verificada após a realização do mesmo processo, que determinados polígonos representativos de uma classe temática, como por exemplo, de arbóreas, e alguns tipos de edificações, apresentavam uma área maior devido a associação de sombras. Neste caso, a correção deste agrupamento indevido de pixels foi efetuada através da edição matricial, já na etapa final do mapeamento.

A classificação temática foi realizada por meio da técnica convencional de análise interpretativa, tendo como base a imagem segmentada. Considerando a heterogeneidade da cena imageada, a classificação manual esteve mais adequada às finalidades propostas nesta etapa do trabalho, uma vez que o intuito era a obtenção de um produto temático com maior nível de detalhamento, isto é, com a identificação mais legítima possível dos objetos presentes na imagem.

A partir dos resultados preliminares obtidos pela classificação, a edição matricial foi utilizada com a finalidade de corrigir alguns erros gerados a partir da classificação, detectados posteriormente a esta etapa. Para executar esta edição, os dados extraídos foram transformados do formato vetorial, no qual se encontravam, para o formato matricial. Com a conversão dos dados, as alterações puderam ser efetuadas na matriz dos pixels, adequando-os quando necessário, a uma classe temática. Embora alguns ajustes tenham sido feitos por meio da edição matricial, os resultados obtidos com a classificação temática mostraram-se satisfatórios e condizentes aos critérios de análise.

Com base nesses procedimentos, os resultados apresentados no mapa temático de uso da terra (Figura 7), indicam que a ocupação urbana das vertentes da bacia hidrográfica do Córrego da Servidão, no ano de 1958, apresentou um maior adensamento na sua porção de médio curso, que compreende o setor mais próximo ao centro da cidade naquele momento. Neste período, parte do canal do Córrego da Servidão já se encontrava envolvido pela malha

urbana, podendo-se inferir que o setor do seu médio curso destacava-se como o mais impermeabilizado.

Através desse mapeamento, foi possível constatar que a cobertura vegetal arbórea intra-urbana que compõe a bacia hidrográfica é pouco significativa, visto que a maior presença de arbóreas, por exemplo, ocorre apenas em algumas praças públicas ou em fundo dos quintais das residências. Por sua vez, a área rural apresenta uma cobertura arbórea muito mais significativa, porém concentrada em áreas reflorestadas ou por pequenas glebas de mata nativa residual.

No setor de várzea que se encontra envolvido pela malha urbana da cidade, a cobertura arbórea é quase inexistente. A ausência de cobertura arbórea próxima as margens de canais fluviais (mata ciliar) pode aumentar a vulnerabilidade destes, tornando-os mais susceptíveis a processos, que acarretam assoreamento de seus leitos. Também, nas áreas urbanas, a ausência da cobertura vegetal pode propiciar um aumento do escoamento superficial, visto que a vegetação, particularmente a de porte arbóreo, serve como proteção ao solo, impedindo o escoamento mais acelerado das águas pluviais.

Ainda com relação as áreas de várzea do Córrego da Servidão, constatou-se um predomínio da cobertura vegetal do tipo graminóide, inclusive nos setores urbanos da cidade. Essas áreas intra-urbanas com cobertura graminóide correspondem a espaços vazios que nesse período ainda não se encontravam ocupados. A presença de áreas vegetadas na mancha urbana auxilia diretamente na infiltração mais efetiva das águas pluviais, atenuando o escoamento superficial intenso e acelerado.

No segmento rural da bacia hidrográfica, a presença de cobertura vegetal do tipo gramínea também é significativa, uma vez que nesta categoria também se inclui a espécie vegetal da cana-de-açúcar. Nesse cenário a vegetação graminóide estava associada a campos de pastagens, conforme observado nas imagens.

Quanto à classe temática de solo exposto notou-se maior ocorrência na porção rural da bacia hidrográfica. Na maior parte, através de ocorrências em áreas localizadas, onde o solo encontra-se desprotegido, no contexto do manejo de cultivos ou de pastagens (colheita e/ou preparo do solo). Nesses casos, a ausência de cobertura vegetal faz com que o solo se torne mais susceptível as ações das águas pluviais, sobretudo com a retirada de suas camadas superficiais. Desta forma, as partículas de solo são carregadas até o leito dos canais fluviais, podendo provocar uma série de efeitos à jusante pela sobrecarga de sedimentos, inclusive de processos de inundação.

No segmento urbanizado da bacia hidrográfica (cenário 1958), a presença de algumas áreas com solo exposto na maior parte das vezes, apareceu associada à vegetação de gramíneas/herbáceas não cobrindo totalmente o solo (terrenos não ocupados). Nesse mapeamento, foram enquadradas na classe temática gramínóide com solo exposto. Em linhas gerais, esta classe temática apresentou-se pouco expressiva, considerando a área do setor urbanizado da bacia.

Quanto aos arruamentos, verificou-se que estes já se apresentavam pavimentados, sobretudo no interior da malha urbana envolvendo a bacia. Em determinados pontos mais periféricos, onde a ocupação urbana ainda não se encontrava consolidada, observou-se ausência de calçamento em algumas ruas secundárias. A impermeabilização dos arruamentos pela pavimentação, também favorece o escoamento superficial das águas pluviais. Com a restrição à infiltração, a água flui com maior rapidez para o fundo do vale, onde será receptada pelo curso d'água. A partir do momento que o córrego atingir seu pico de vazão, haverá o transbordamento da água para suas áreas adjacentes, acarretando em eventos de inundação.

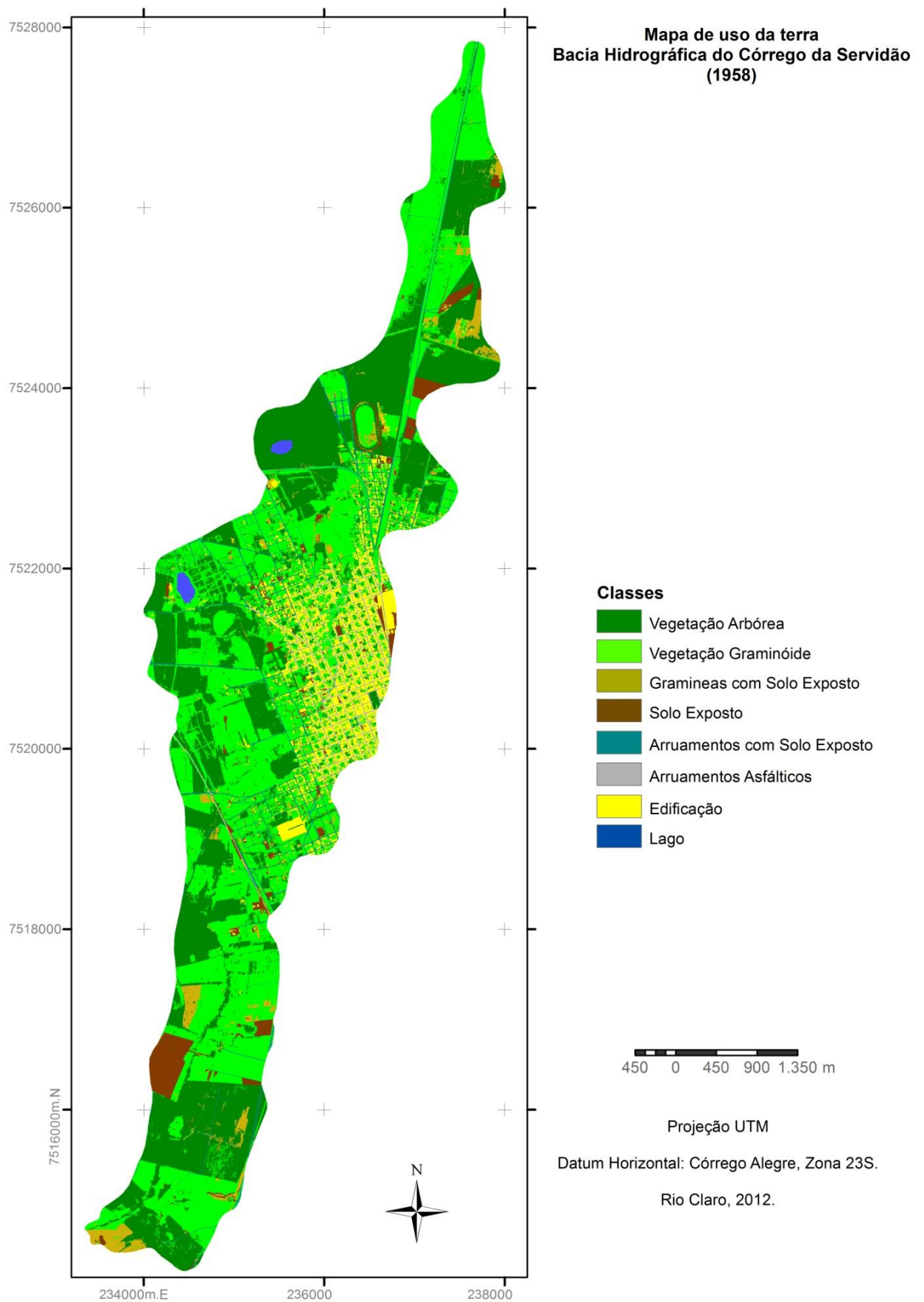


Figura 7: Mapa de uso da terra (cenário 1958)

Através do mapeamento temático do cenário de 2006 (Figura 8), constatou-se que a ocupação urbana da área da bacia hidrográfica do Córrego da Servidão cresceu demasiadamente, quando comparada a situação encontrada no cenário 1958. Nota-se que em seu médio curso, a urbanização se expandiu, sobretudo para oeste, uma vez que a leste, a bacia hidrográfica já possuía um adensamento considerável de edificações.

Uma das modificações mais expressivas da expansão e desenvolvimento urbano ao longo da bacia hidrográfica diz respeito à retificação e canalização de grande parte do canal do Córrego da Servidão. Sem dúvida, este tipo de intervenção antrópica afeta sobremaneira o fluxo e, por consequência, a dinâmica da água dentro de uma bacia hidrográfica urbana, uma vez que de forma geral, este tipo de obra reduz drasticamente o leito da drenagem por meio de paredes revestidas, promovendo a impermeabilização de suas margens. Deste modo, o escoamento superficial produzido nestas áreas totalmente modificadas torna-se mais acelerado, acentuando os picos de vazão, e conseqüentemente ocasionado em muitos casos os eventos de inundação (CANHOLI, 2005).

No caso do Córrego da Servidão, o trecho da drenagem que se encontra canalizado também está encerrado em uma galeria subterrânea, na qual já foram constatados inúmeros problemas de suporte referentes à vazão da água dentro do canal. Vale destacar que as obras de canalização e retificação da drenagem tiveram início na década de 1970, entretanto não estão finalizadas, uma vez que a juzante, no baixo curso do Córrego da Servidão estas obras ainda estão em andamento.

O principal trecho de canalização do canal corresponde às áreas onde a expansão urbana ocorreu de forma mais acentuada no período analisado (1958-2006). Justamente nesta área, de seu médio curso, o córrego encontra-se completamente envolvido pela malha urbana. Ainda com relação a este aspecto, nota-se que houve a supressão total da várzea nesta área da bacia hidrográfica, que foi substituída por uma importante via de circulação da cidade. Desta forma, tem-se a diminuição desproporcional das áreas destinadas “naturalmente” ao extravasamento e infiltração das águas pluviais, em detrimento de um aumento de áreas impermeabilizadas. Sendo assim, tanto os níveis de produção de escoamento superficial quanto a concentração das águas pluviais neste setor da bacia hidrográfica do Córrego da Servidão tornaram-se mais elevados.

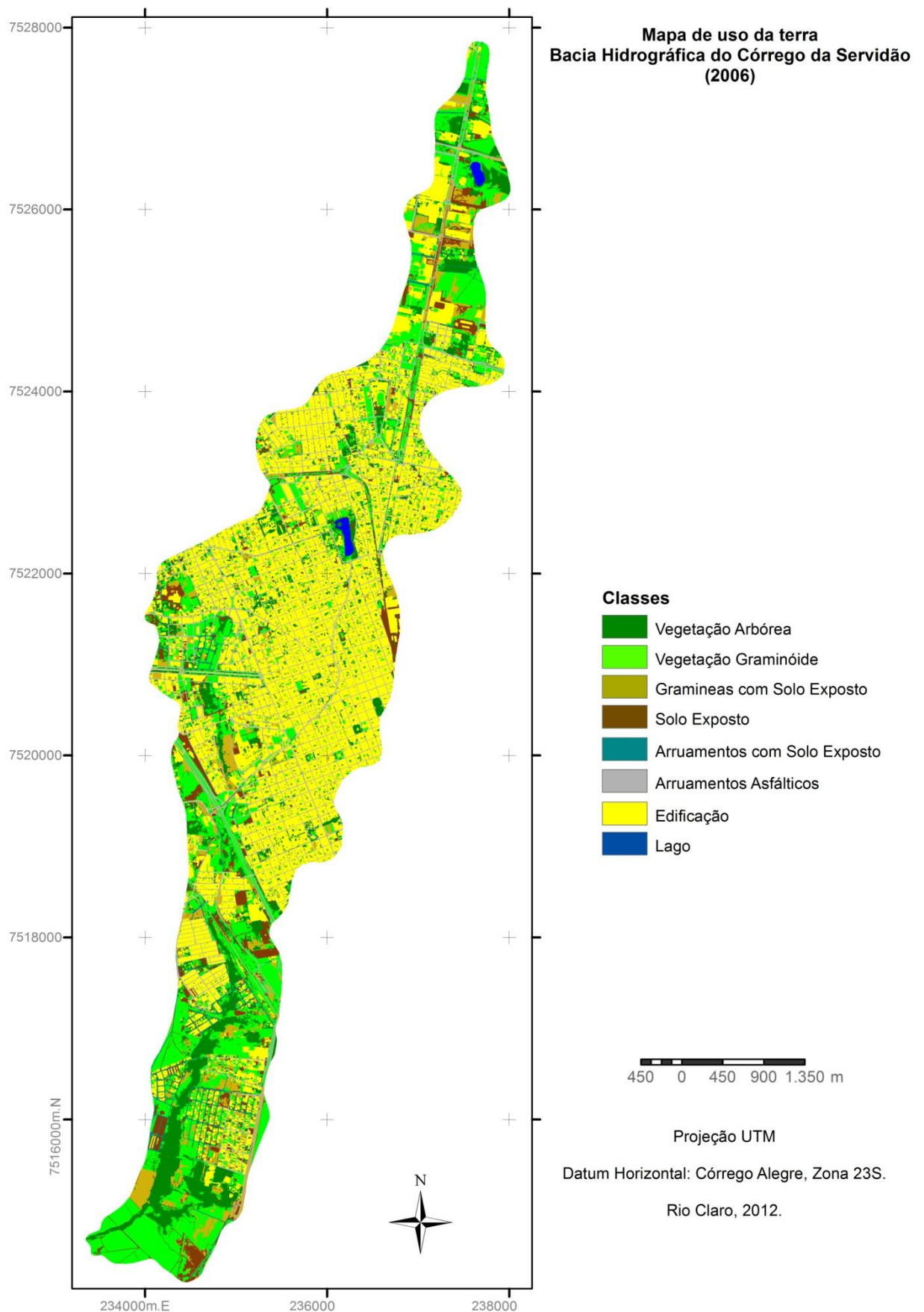


Figura 8: Mapa de uso da terra (cenário 2006).

No que se referem às ações antrópicas, de forma geral, compreende-se que é no setor de médio curso da bacia hidrográfica que as modificações, se mostraram mais intensas. Pode-se perceber que a ocupação urbana se fez presente em locais onde antes fora constatado a presença de corpos d'água (Figura 9). Tal fato é verificado em duas localidades diferentes, ambas na região oeste da bacia hidrográfica. Nos dois casos, os dois corpos d'água foram incorporados pela urbanização, a cobertura vegetal foi suprimida e praticamente toda a área tornou-se impermeabilizada pelo surgimento de dois bairros populares densamente edificadas, o Jardim Santa Eliza, e o Jardim Chervezon. Por conta da tendência natural que o local tem para reter água no solo, estes bairros sofrem constantemente com eventos de inundação. Somam-se a isto as altas taxas de impermeabilização da área que acabam contribuindo para um aumento na produção de escoamento superficial, agravando ainda mais a situação da população em dias chuvosos. Embora todos os fatores mencionados já levassem a uma condição anunciada, poucas foram as propostas de intervenção do poder público local para amenizar os danos causados pelas inundações constantes.

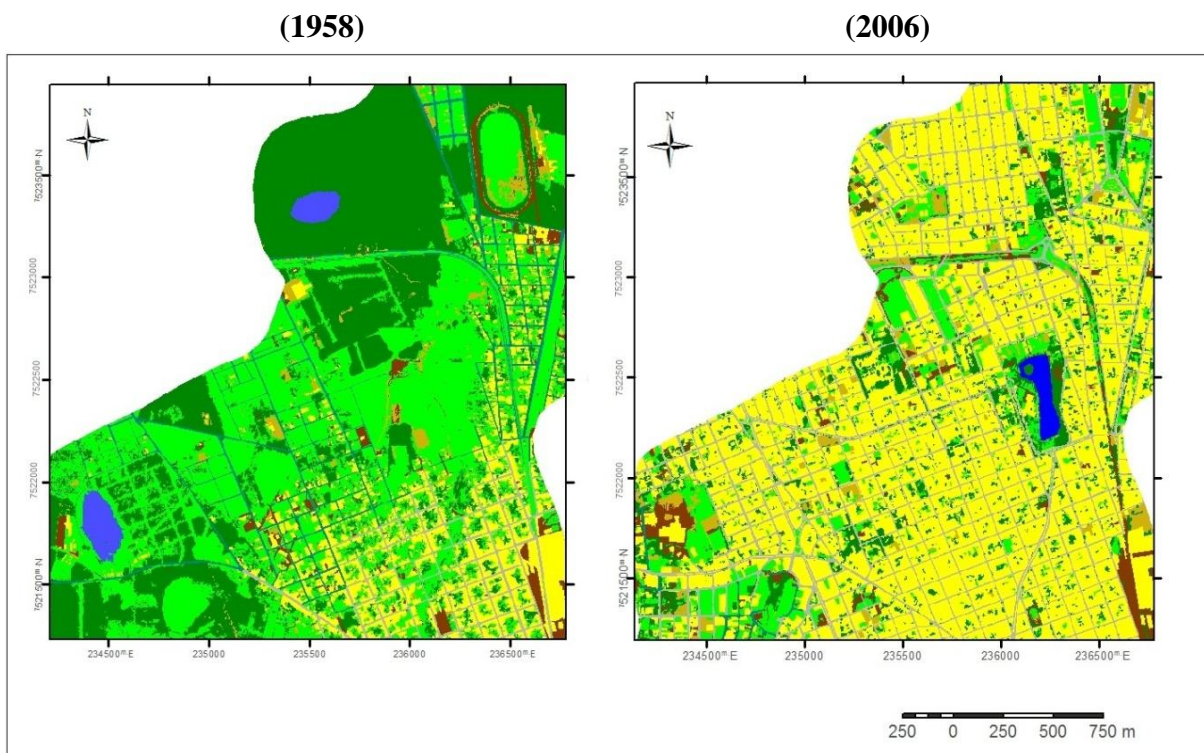


Figura 9: Incorporação dos corpos d' água pela ocupação urbana, e implantação do reservatório (Lago Azul) na cabeceira do Córrego da Servidão.

Em se tratando do setor norte da bacia hidrográfica, no seu alto curso, verificou-se que a urbanização progrediu além da área de cabeceira do Córrego da Servidão, estando sua nascente totalmente envolvida pela malha urbana da cidade. A incorporação desta área pelo

processo de crescimento urbano se deu através de obras de engenharia, propiciando modificações intensas na paisagem local. A cobertura vegetal de graminóides e arbóreas (em menor proporção) que predominavam na cabeceira do córrego em 1958, foram substituídas em grande parte por edificações e arruamentos pavimentados. O aumento de áreas impermeabilizadas afetou de forma direta a nascente do córrego, uma vez que o escoamento superficial das águas pluviais predomina em detrimento da infiltração que passou a ser insignificante.

Além da impermeabilização de áreas adjacentes, a nascente do Córrego da Servidão também sofreu uma intensa transformação proveniente da implantação de um reservatório de água. O projeto para a construção do reservatório foi concluído em 1972, e tinha como uma de suas finalidades absorver o grande volume de água proveniente das vertentes da drenagem, tendo em vista que a ocupação urbana já era significativa, e o córrego já se encontrava canalizado e incorporado por uma importante via de circulação da cidade. Desta forma, compreende-se que neste período, a bacia hidrográfica sofria com os impactos decorrentes da urbanização, e por consequência da impermeabilização do solo, fato que já acarretava na ocorrência de alguns eventos de enchentes e inundação. Atualmente, poucos são os efeitos desta obra em relação a contenção da água pluvial que chega ao leito do córrego. O lago que ocupa uma área de aproximadamente 130.000 m² tornou-se um local de lazer para a população, e dada todas as transformações decorrentes da ação humana, é visto como um dos lugares mais arborizados da cidade.

Evidenciou-se também, que este setor apresentou uma diminuição da cobertura vegetal, tanto de arbórea quanto de graminóide. As áreas onde fora identificada a atividade referente a silvicultura no período de 1958, transformaram-se em amplas áreas impermeabilizadas, o mesmo ocorrendo com a vegetação graminóide, que se limita a pequenas extensões. Deste modo, atualmente considera-se que o alto curso da bacia hidrográfica do Córrego da Servidão possui uma condição desfavorável aos processos de infiltração tendo, portanto, maior propensão à produção de escoamento superficial.

No que diz respeito a área de exutório da bacia hidrográfica em sua parte sul, constatou-se um avanço expressivo da ocupação urbana, devido principalmente ao surgimento de novos bairros e a implantação de loteamentos ainda em fase de consolidação. Em contrapartida, embora a cobertura vegetal tenha tido um decréscimo em decorrência da expansão urbana, foi observado que ao longo das margens do baixo curso do Córrego da Servidão a mata ciliar encontra-se preservada. Vale lembrar que uma série de impactos pode ser ocasionada pela retirada da mata ciliar, dentre eles destaca-se a erosão das margens, o

aumento de carga transportada pela drenagem, bem como o assoreamento do leito. Assim, é importante que a fiscalização ambiental seja eficiente, fazendo-se cumprir as leis que preservam estas áreas, imprescindíveis à conservação dos corpos d'água.

Ainda com relação as áreas identificadas com vegetação arbórea, o setor sul da bacia hidrográfica apresentou uma diminuição considerável deste tipo de cobertura, que acabou sendo substituída pela cultura agrícola da cana-de-açúcar, definida pela classe temática de vegetação graminóide. Impulsionada pela demanda, a produção de cana-de-açúcar avançou neste setor, e ocupou terrenos que em 1958 eram direcionados a reflorestamentos. Também nestas áreas identificou-se a presença de solo exposto, o qual foi atribuído como parte da atividade canavieira, uma vez que pode indicar tanto a colheita, quanto o preparo e o plantio deste gênero agrícola.

Embora a classe de solo exposto ocorra em pequenas extensões, é importante ressaltar que sem cobertura vegetal, o solo fica mais susceptível ao escoamento superficial das águas pluviais e, conseqüentemente o desenvolvimento de processos erosivos acelerados, como sulcos, ravinas e voçorocas, além de serem intensificados os efeitos decorrentes do impacto direto das águas pluviais no solo. Por esta razão, a presença de cobertura vegetal é fundamental para minimizar os efeitos causados pela ação da chuva, e que por consequência acarretarão em problemas de assoreamento, sobretudo a juzante do canal.

6.2. Caracterização da relação chuva, escoamento superficial e uso da terra

Comparando os cenários 1958 e 2006, em termos de ocupação antrópica, pode-se indicar que a bacia hidrográfica apresentou um aumento significativo de áreas impermeabilizadas, favorecidas, sobretudo, pelo estabelecimento de novos bairros, e por consequência pela abertura de novos arruamentos pavimentados. Por outro lado, as áreas cobertas com vegetação, mais propícias a infiltração das águas pluviais foram subtraídas, em grande parte devido a necessidade humana por novos espaços de ocupação. Neste aspecto, é importante ressaltar que o setor do médio curso da bacia hidrográfica manteve o predomínio de áreas edificadas, ainda que a expansão tenha se dado tanto no alto como no baixo curso do córrego.

O aumento das classes edificadas em relação as classes com vegetação fica evidente pelo cálculo da área que cada categoria alcançou no período. A tabela 3 apresenta os resultados, os quais apontam para o maior crescimento da classe referente à edificação que passou de aproximadamente 1,5 Km² para 8,5 Km², enquanto que a vegetação arbórea teve o

menor valor, passando de 7 Km² para cerca de 2,3 Km² no ano de 2006. O percentual relativo de áreas impermeabilizadas e não impermeabilizadas (tabela 4) demonstra claramente as modificações constatadas pela análise comparativa dos cenários. Neste sentido, tem-se que em 1958, as edificações representavam 7,8%, e os arruamentos pavimentados 1,9% da área total da bacia hidrográfica. Por outro lado, as áreas com vegetação arbórea ou graminóide correspondiam neste período, a 35,8% e 44% respectivamente. Em 2006, estes percentuais praticamente se inverteram, uma vez que as edificações passaram a representar 43,2% e os arruamentos pavimentados 10,7% da área total, enquanto que as superfícies cobertas com vegetação do tipo arbórea ou de graminóides abrangiam no cenário 2006, um percentual aproximado de 11,9% e 21,3% respectivamente. Neste sentido, pode-se dizer que o adensamento urbano ocorrido durante o período 1958-2006 não só propiciou níveis para a produção de escoamento superficiais mais elevados, como provavelmente promove a aceleração deste processo, intensificando a ocorrência de enchentes nesta área da cidade.

Tabela 3: Total da área abrangida por cada classe temática (Km²).

Classes Temáticas	Cenário 1958	Cenário 2006
Vegetação Arbórea	7042,683	2336,101
Vegetação Graminóide	8665,681	4200,621
Gramíneas com Solo Exposto	638,175	1100,288
Solo Exposto	749,367	1106,946
Arruamento Asfáltico (pavimentado)	377,900	2114,408
Arruamento com Solo Exposto (não pavimentado)	605,819	271,046
Edificações	1532,514	8491,808
Lago	75,579	66,611

Tabela 4: Percentual da área de cada classe temática em relação a área total da bacia hidrográfica

Classes Temáticas	Cenário 1958	Cenário 2006
Vegetação Arbórea	35,80%	11,90%
Vegetação Graminóide	44%	21,30%
Gramínea com Solo Exposto	3,20%	5,60%
Solo Exposto	3,80%	5,60%
Arruamento Asfáltico (pavimentado)	1,90%	10,70%
Arruamento com Solo Exposto (não pavimentado)	3,10%	1,40%
Edificações	7,80%	43,20%
Lago	0,40%	0,30%
Área Total	100%	100%

No que diz respeito à classificação do solo segundo os grupos hidrológicos do S.C.S/USDA, adotou-se como referência para este trabalho a classificação do solo da bacia hidrográfica do Córrego da Servidão realizada por MORAES (2011). Os setores de extremidade que foram desconsiderados no referido estudo foram associados aos grupos hidrológicos de solo apresentados nas áreas mais próximas, uma vez que apresentavam as mesmas características de composição e permeabilidade. Desta forma, com base nas propriedades e condições hidrológicas encontradas nas amostras, e estando de acordo com os resultados apresentados, constataram-se dois grupos hidrológicos de solo, sendo eles B e C (figura 10).

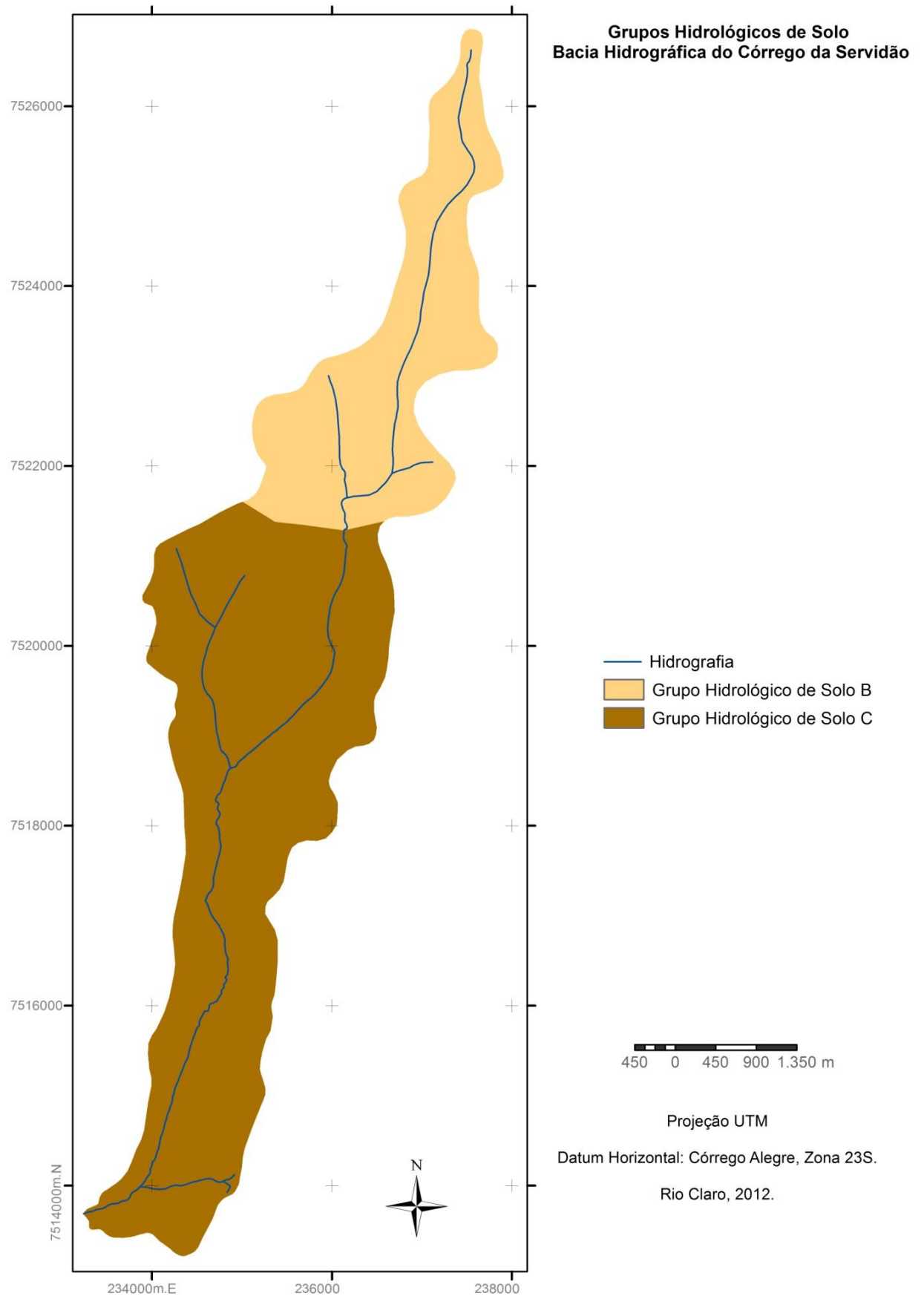


Figura 10: Mapa de classificação do solo nos Grupos Hidrológicos segundo o S.C.S/USDA.

Analisando a distribuição espacial destes dois grupos hidrológicos na bacia hidrográfica, pode-se dizer que há uma clara divisão de abrangência entre eles. No setor sul o predomínio se dá pelo Grupo C, o qual segundo o S.C.S/USDA possui baixa permeabilidade devido terem um percentual de argila considerável, elemento que diminui sua capacidade de infiltração significativamente. Neste sentido, estas áreas já indicam naturalmente maior tendência à produção de escoamento superficial, o que de fato pode ser agravado devido à acentuada presença de superfícies impermeabilizadas.

Em contrapartida, no setor norte da bacia hidrográfica houve predomínio do Grupo B, no qual estão presentes solos mais arenosos, que possuem boa permeabilidade indicando uma capacidade de infiltração mais favorável do que a encontrada no Grupo C. Por esta razão, os solos deste grupo apresentam naturalmente um potencial para a formação de escoamento superficial moderadamente baixo, o que de certa forma torna-se um fator importante para um sistema de drenagem que se encontra envolvido pela malha urbana, como é o caso do Córrego da Servidão.

É importante salientar que a determinação de tais grupos hidrológicos está pautada pela avaliação das propriedades físicas de um solo em condições teoricamente naturais, isto é, que apresentam o mínimo de superfície livre. No caso da bacia hidrográfica do Córrego da Servidão, a capacidade de infiltração determinada nos grupos hidrológicos B e C, torna-se totalmente comprometida devido a ampliação das áreas impermeabilizadas, nas quais o escoamento superficial é predominante. Desta forma, conforme a situação apresentada no cenário 2006, no qual a bacia hidrográfica se encontra altamente impermeabilizada, pode-se afirmar que a maior parte de sua área pode ser associada ao grupo hidrológico D, à medida que o escoamento superficial prevalece sobre os processos de infiltração das águas pluviais, embora o percentual de argila não esteja condizente aos valores determinados para este grupo. Vale ressaltar que algumas poucas extensões apresentam cobertura vegetal preservada, estando localizadas na região do seu exutório, e no seu extremo norte.

Através das características atuais de cobertura do solo identificadas, pode-se afirmar que a bacia hidrográfica apresenta condições pouco favoráveis para a infiltração das águas pluviais, devido, sobretudo, ao alto grau de impermeabilização de suas vertentes. Desta forma, tem-se que sua permeabilidade natural atribuída pelos grupos hidrológicos de solo B e C, mostra-se totalmente comprometida pelo adensamento de edificações, bem como pela pavimentação asfáltica.

Os processos de escoamento superficial se intensificam à medida que a drenagem do Córrego da Servidão recebe um grande volume de água pluvial provenientes das regiões mais

elevadas (interflúvios). Embora os níveis de declividade apresentados pela bacia hidrográfica sejam considerados baixos (Figura 11), já que a maior parte da bacia possui níveis menores que 10%, esta condição provoca, sobretudo em dias de chuva concentrada, um aumento progressivo e muito acelerado de escoamento superficial. Em decorrência, a velocidade com que a água chega ao leito da drenagem diminui, ao passo que o nível acumulado aumenta rapidamente, acarretando no extravasamento da água para áreas próximas, sendo estas ocupadas por construções urbanas e uma importante via de circulação da cidade, a Avenida Visconde de Rio Claro. Vale destacar, que as obras de engenharia de retificação e canalização implantadas ao longo da drenagem, promoveram modificações na velocidade de vazão das águas dentro do seu leito, uma vez que no baixo percurso há uma quebra de velocidade da água, sendo este um ponto de alagamento constante.

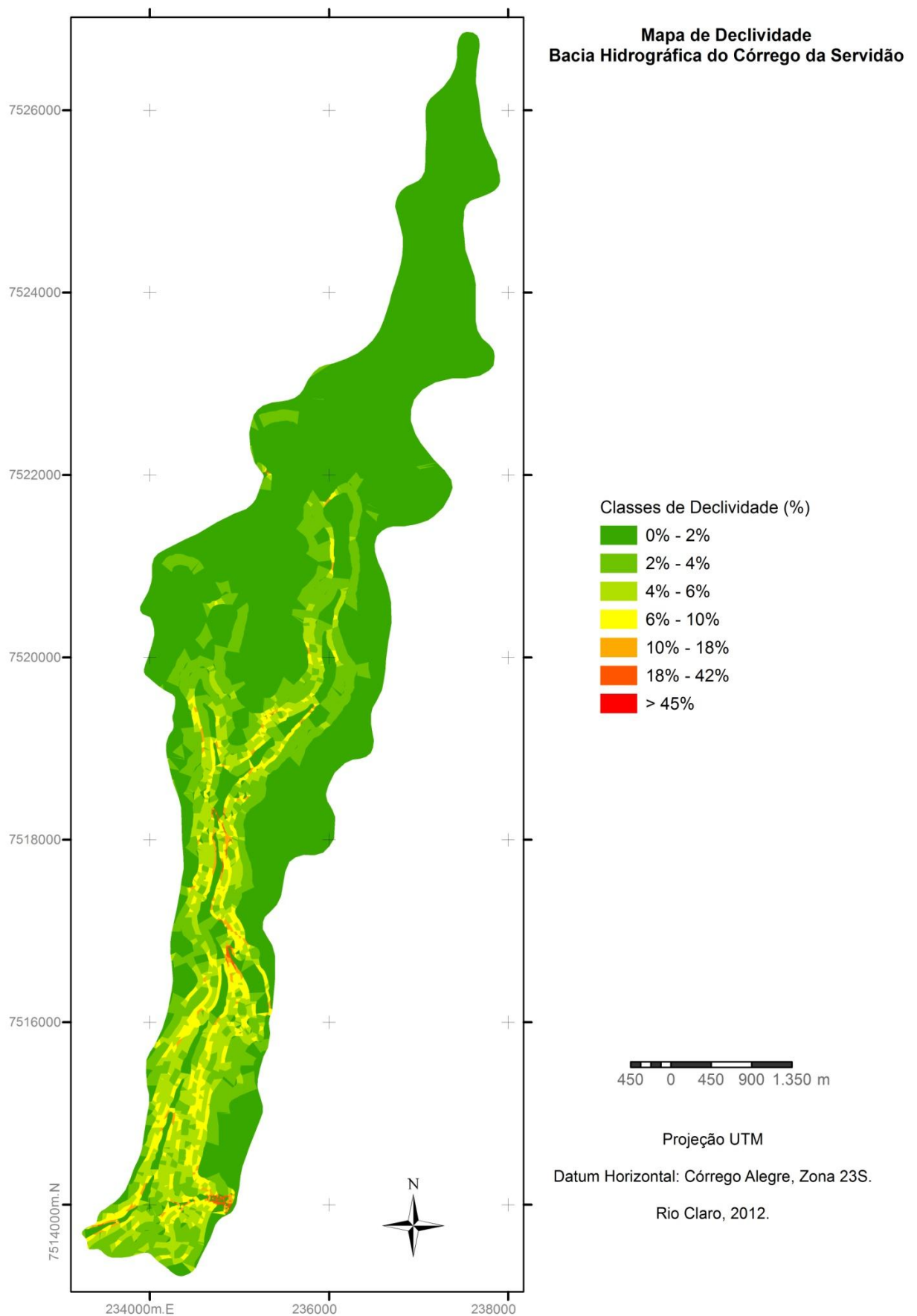


Figura 11: Mapa de Declividade da Bacia Hidrográfica do Córrego da Servidão.

Em se tratando de pontos de transbordamento na bacia hidrográfica, destaca-se o caso do Córrego Wenzel, tributário localizado no setor de médio curso da bacia hidrográfica, o qual tem se configurado em um grande problema em dias de chuva. O mapa de 2006 aponta a sua total incorporação deste córrego a malha urbana da cidade, inclusive com a drenagem das áreas onde estava localizado, dando lugar ao estabelecimento de um novo bairro significativamente edificado. Levando-se em consideração as propriedades hidrológicas, o solo apresenta naturalmente uma tendência para reter água, apresentando uma permeabilidade moderada, com taxas de infiltração abaixo da média. Neste caso, a produção de escoamento superficial é mais acentuada, a medida que a área amplamente impermeabilizada propicia maiores índices deste processo.

Com a aplicação do método Curva-Número do S.C.S/USDA, procurou-se evidenciar as áreas que apresentam maiores e menores índices de impermeabilização, tendo como parâmetro os valores de CN. Vale salientar que, estes valores são determinados com base em alguns fatores como condições hidrológicas do solo, tipo de uso e ocupação, precipitação e escoamento. Desta forma, através do cruzamento entre o mapeamento de uso da terra e o mapa de classificação segundo os grupos hidrológicos de solo, foi obtido um novo produto cartográfico, onde as classes temáticas estão associadas aos grupos hidrológicos B e C. As cores representativas de cada classe foram mantidas, entretanto, tendo em vista que na maior parte, um mesmo tipo de uso ocorre em ambos os grupos hidrológicos, a distinção foi feita pela diferenciação entre a tonalidade da cor. Assim, propôs-se que as tonalidades mais claras são representativas das classes de uso da terra presentes no grupo B, enquanto que as tonalidades mais escuras representam as classes de uso evidenciadas no grupo C (Figuras 12 e 13).

De maneira geral, observa-se que as condições hidrológicas no setor de médio e baixo curso não favorecem o adensamento urbano tão intenso como o ocorrido na bacia hidrográfica do Córrego da Servidão. Naturalmente a capacidade de infiltração do solo nestes setores é pouco favorável, sobretudo pelo percentual de argila que apresentam. Com a impermeabilização das superfícies, e a subtração de áreas vegetadas, a produção de escoamento superficial é mais acentuada, assim como sua velocidade, o que de certa forma acabará por chegar ao leito do córrego rapidamente, provocando o acúmulo de água pluvial nas partes mais baixas da bacia hidrográfica em dias de chuva intensa.

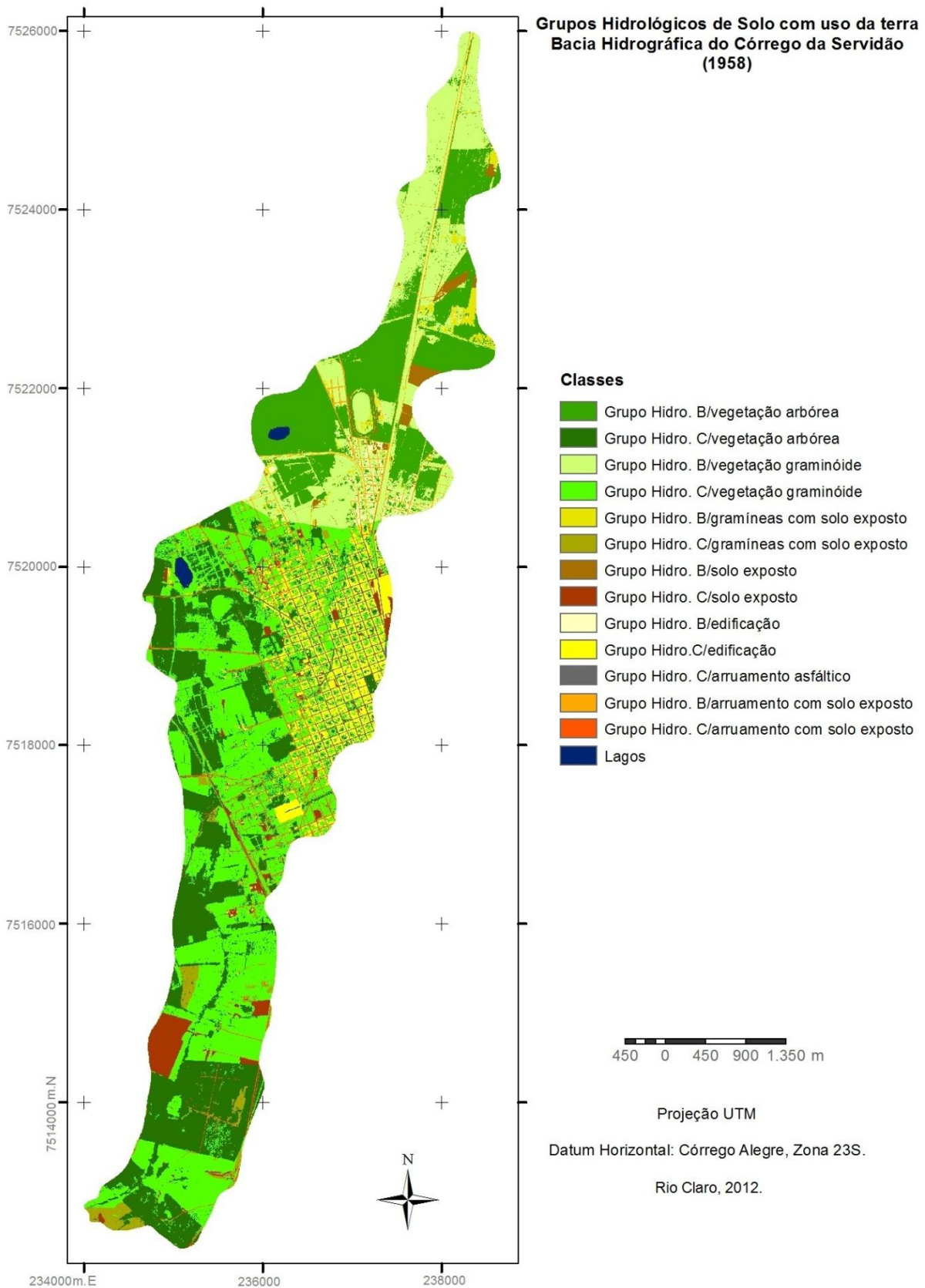


Figura 12: Mapa de uso e cobertura da terra associadas às classes de Grupos Hidrológicos de Solo (cenário 1958).

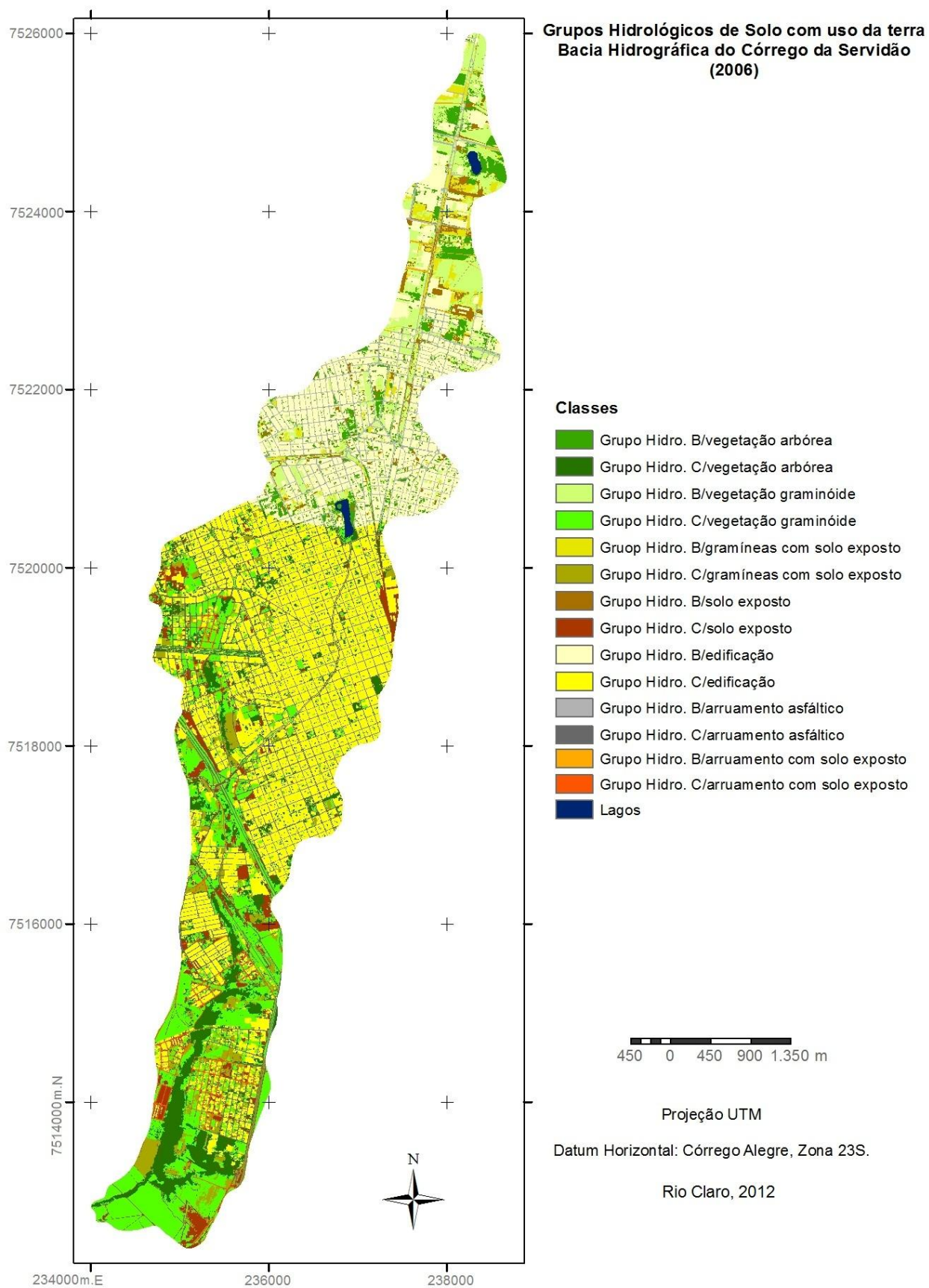


Figura 13: Mapa de uso e cobertura da terra associadas às classes de Grupo Hidrológico de Solo (cenário 2006).

Analisando os valores de Curva-número atribuídos a cada tipo de uso (tabela 5), nota-se que os maiores valores estão associados às classes que pouco ou nada favorecem os processos de infiltração, como as edificações (com valores de 85 para Grupo Hidrológico B, e 90 para o Grupo Hidrológico C) e os arruamentos com camada asfáltica, o qual apresenta valor de CN igual para ambos os grupos, 98. Com relação às áreas vegetadas, considerando que as classes referentes a vegetação arbórea, vegetação graminóide e gramíneas com solo exposto encontravam-se em condições normais, os valores de CN foram os mesmos, com valor de CN de 69 para os grupo B, e 79 para o grupo C.

Tabela 5: Valores de Curva-Número para tipo de uso e cobertura do solo

Classes de uso da terra	Grupo Hidrológico de Solo	
	B	C
Vegetação arbórea	69	79
Vegetação graminóide	69	79
Gramíneas com solo exposto	69	79
Solo exposto	79	86
Arruamento asfáltico	98	98
Arruamentos com solo exposto	87	89
Edificação	85	90

No que se refere a estimativa do escoamento superficial produzido, considerando os tipos de uso e cobertura vegetal identificados na bacia hidrográfica, os resultados evidenciam que de fato, os maiores índices deste processo estão relacionados às superfícies impermeabilizadas, como áreas edificadas e pavimentos asfálticos. É importante salientar que a produção de escoamento superficial está diretamente ligada à quantidade de chuva precipitada. Desta forma, considerando as médias anuais de pluviosidade, observou-se que em 1958 a média anual foi de 143,2 mm, enquanto que a média para 2006 foi de 112,8 mm.

De acordo com os valores estimados para o escoamento superficial, os maiores níveis estão relacionados às coberturas impermeabilizadas da superfície, como edificações e arruamentos pavimentados. Nota-se, que no ano de 1958 os valores de escoamento são mais elevados, embora o percentual referente às classes impermeáveis seja significativamente menor do que em 2006. Atribui-se a este fato, a quantidade de precipitação, que como citado anteriormente, foi maior no cenário mais antigo.

Por outro lado, as áreas vegetadas mostraram os menores níveis de escoamento, sobretudo no setor norte, onde as condições hidrológicas são menos favoráveis a este processo. Desta forma, como pode ser observado na tabela 6, a menor estimativa de

escoamento superficial para o ano de 1958 foi de 64 mm para as classes com vegetação correspondentes ao grupo hidrológico B, e 88 mm para o grupo C. Para as classes referentes a edificação e arruamentos pavimentados, o valor aproximado de escoamento para a média anual de precipitação foi de 140 mm. Já para 2006 (tabela 7), as classes com vegetação, tiveram uma produção de escoamento aproximada de 40 mm, para o grupo hidrológico de solo B, e 60 mm para o grupo C, enquanto que as classes relacionadas a edificação, e arruamento asfáltico, a lâmina d'água excedente foi de 110 mm para os dois grupos.

Tabela 6: Estimativa de escoamento superficial para 1958, utilizando os dados de precipitação média e os valores de Curva-Número.

Classes de uso da terra	Escoamento superficial produzido (mm)	
	Grupo Hidr. B	Grupo Hidr. C
Vegetação arbórea	64	88
Vegetação graminóide	64	88
Gramíneas com solo exposto	64	88
Solo exposto	88	105
Arruamento asfáltico	140	140
Arruamentos com solo exposto	109	113
Edificação	103	115

Tabela 7: Estimativa de escoamento superficial para 2006, utilizando os dados de precipitação média e os valores de Curva-Número.

Classes de uso da terra	Escoamento superficial produzido (mm)	
	Grupo Hidr. B	Grupo Hidr. C
Vegetação arbórea	40	60
Vegetação graminóide	40	60
Gramíneas com solo exposto	40	60
Solo exposto	60	73
Arruamento asfáltico	110	110
Arruamentos com solo exposto	74	82
Edificação	78	84

Em conformidade com os dados apresentados, pode-se dizer que, o setor de médio curso da bacia hidrográfica do Córrego da Servidão apresenta uma situação crítica, a medida que possui o maior grau de impermeabilização do solo, assim como maior potencial para a produção de escoamento superficial. A intensificação da ocupação urbana ao longo do tempo sem considerar às condições hidrológicas da bacia, é o grande fator desencadeante da maior parte dos problemas que ocorrem nos dias de chuva. Desta forma, tendo conhecimento das áreas mais críticas, é importante que a gestão municipal busque medidas efetivas que

amenizem os efeitos, sobretudo provenientes dos eventos de inundação do córrego. As áreas extremas do setor norte e sul podem ser apontadas como as mais favoráveis aos processos de infiltração, uma vez que possuem maior abrangência de áreas vegetadas, não oferecendo, portanto condições que propiciem a produção de escoamento superficial acelerado.

De certa forma, atualmente as drenagens urbanas tornaram-se um grande problema para a gestão pública, bem como para o consciente coletivo, pelo fato de que a ela é atribuída grande parte dos transtornos que decorrem de um período de chuva intensa com a ocorrência de eventos de enchentes e inundações. No entanto, esta sociedade e principalmente a administração pública não consideram que este tipo de situação é um produto das suas próprias ações.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A bacia hidrográfica do Córrego da Servidão foi submetida a um intenso processo de ocupação urbana, comparando os cenários de 1958 e 2006. Como constatado, no cenário de 1958, a bacia hidrográfica já apresentava uma área significativamente ocupada pelo processo de urbanização, com a presença de áreas impermeabilizadas, consequência da implantação de edificações e asfaltamento do sistema viário.

A cobertura vegetal intra-urbana, do tipo arbórea, era pouco expressiva, ocorrendo em áreas restritas, como praças, por exemplo. Por outro lado, a presença de áreas com cobertura vegetal do tipo gramínóide apresentou dominância ao longo do canal fluvial principal. Em 2006, a supressão de áreas vegetadas tornou-se mais evidente, sobretudo pelo aumento acentuado de edificações e arruamentos pavimentados com camada asfáltica.

Em 1958 alguns setores, sobretudo nas áreas de médio curso, a várzea do córrego já se encontrava ocupada pela malha urbana, e outras apresentaram um início do processo de ocupação, passando a interferir nas condições de infiltração e escoamento superficial, que passou a ser predominante. Ao longo dos quarenta e oito anos que marcam o tempo entre um cenário e outro, este setor sofreu grandes transformações, como a canalização e retificação do Córrego da Servidão. Com estas modificações, bem como com o alto grau de impermeabilização das vertentes da bacia hidrográfica, o escoamento superficial passou a ser mais acelerado, enquanto que a vazão no leito da drenagem não ocorreu na mesma velocidade. Desta forma, em determinados pontos, como na confluência do Córrego da Servidão com o Córrego Wenzel (tributário), na área de exutório da bacia, por exemplo, a água pluvial acumula-se, ocorrendo os eventos de inundação. Esta situação ocorre frequentemente em dias de chuva intensa e concentrada.

Em linhas gerais, o setor do baixo curso do Córrego da Servidão apresentou níveis menores de impermeabilização, principalmente pela ocorrência de áreas de cultivo agrícola, pastagens, e manutenção de fragmentos de mata ciliar ao longo de um pequeno trecho da drenagem. Cabe ressaltar que em 2006 esta situação ainda se manteve preservada, inclusive com o aumento da faixa de mata ciliar identificada anteriormente, embora a expansão urbana da cidade tenha impulsionado a implantação de novos bairros neste setor da bacia hidrográfica.

A classificação da área da bacia hidrográfica a partir dos grupos hidrológicos de solo propostos pelo S.C.S/USDA indica que, pouco mais da metade da área, isto é seu médio e baixo curso apresentam condições hidrológicas referentes ao Grupo C, no qual os solos tem

uma capacidade de infiltração reduzida. Soma-se a este fator, o alto grau de impermeabilização destas áreas que contribuem em maior parcela para a produção do escoamento superficial.

Em relação ao Grupo B, cuja abrangência se dá no setor sul da bacia, as condições hidrológicas do solo permitem bons índices de infiltração, entretanto, com a supressão da cobertura vegetal (arbóreas e gramíneas) predominante em 1958, e implantação de áreas edificadas e pavimentadas, os processos de infiltração ficam comprometidos.

No que diz respeito ao método da Curva-Número (CN), foram atribuídos valores que indicavam superfícies mais e menos impermeabilizadas. Desta forma, a classe referente aos arruamentos asfálticos deteve o maior valor 98, sendo, portanto o tipo de cobertura com o grau mais elevado de impermeabilização, enquanto que as classes referentes à vegetação apresentaram o menor valor 69. Considerando o adensamento urbano ocorrido no período analisado, infere-se que a maior parte da bacia hidrográfica possui um alto grau de impermeabilização de sua superfície.

De modo geral, os resultados obtidos ao longo desta pesquisa atenderam os objetivos propostos. Conforme os procedimentos adotados, destaca-se o uso das técnicas de Sensoriamento Remoto, assim como a utilização de um Sistema de Informações Geográficas para manipulação e integração dos dados de interesse. O uso destas ferramentas foi muito importante para o desenvolvimento das atividades desse trabalho, especificamente considerando a análise integrada dos dados de interesse temático e o foco espacial-temporal.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BECKER, F. G. Aplicações de Sistemas de Informação Geográfica em Ecologia e Manejo de Bacias Hidrográficas. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (Org.) **Conceitos de bacias hidrográficas: conceitos e aplicações**. Ecologia de Bacias Hidrográficas. Bahia: Editus, p. 91 – 110, 2002.
- BLASCHKE, T; KUX, H. **Sensoriamento remoto e SIG avançados: novos sistemas sensores: métodos inovadores**. Tradução Herman Kux. 2. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2007.
- CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. Conceitos básicos em Ciência da Geoinformação. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Ed.). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap2-conceitos.pdf>>. Acesso em: 25 jan. 2010.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de Sistemas em Geografia – Introdução**. São Paulo – HUCITEC: Ed. da Universidade de São Paulo, 1979.
- CANHOLI, A. P. (2005) **Drenagem urbana e controle de enchentes**. Oficina de Textos, São Paulo – SP, 2005. 302 p.
- COSTA, H. B.; ROSSI, M.; COELHO, R. M. Mapa de impermeabilização do solo da bacia do Ribeirão das Anhumas, Campinas-SP. In: **Anais do XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. USP, p. 876-895, 2005.
- CROSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas, SP: IG/UNICAMP, 1992. 170 p.
- FERRAZ, F. F. de B.; MILDE, L. C. E.; MORTATTI, J. Modelos hidrológicos acoplados a Sistemas de Informações Geográficas: um estudo de caso. **Revista de Ciência & Tecnologia**, p. 45 – 56, 1999.
- FLORENZANO, T.G.; PINTO, S. dos A.F.; FILHO, M.V.; NOVO, E.M.L. de M.; KUX, H.J.H. Utilização de dados TM-Landsat para o mapeamento de áreas submetidas à inundação na bacia do rio Parnaíba. São José dos Campos. INPE, 1988. 50 p.
- FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de texto, 2002. 102 p.
- FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS
<http://www.seade.gov.br/produtos/imp/index.php?page=tabela> Acesso em 03/06/2011.
- GENOVEZ, A.M., NETO, F.L., SARTORI, A. 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. In: **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.10 n.4 Out/Dez 2005, 05-18.
- GENOVEZ, A.M., NETO, F.L., SARTORI, A. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação

do Solo dos Estados Unidos Parte 2: Aplicação. In: **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos** Volume 10 n.4 Out/Dez 2005, 19-29

HARA, L.T. Técnicas de Apresentação de Dados em Geoprocessamento. Dissertação de Mestrado. São José dos Campos, INPE, 1997. Texto Completo disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/teses/lauro/cap2.pdf>>. Acesso em: 15/04/2010.

HORTON, R. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of American Bulletin**. New York, v. 56, n.3, p. 275 – 370, 1945.

JENSEN, J. R. **Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective**. London: Printice-Hall, 2009. 544 p.

JORNAL FOLHA DE SÃO PAULO <http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/908759-urbanizacao-atinge-a-maior-taxa-da-historia-mostra-censo.shtml> Acesso em 18/06/2011.

MENESES, P. R.; NETTO, J. da S. MADEIRA (Org.) (2001) **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília, DF: UnB; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 262 p.

MORAES, I. C. **Análise da dinâmica do uso da terra e sua interferência em inundações na cidade de Rio Claro (SP)**. 2012. 114 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional), Universidade Estadual Paulista-UNESP/IGCE, Rio Claro, SP, 2011.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3ª ed. Viçosa: UFV, 2005. 320 p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3ª ed. atual. ampl. - Viçosa: Ed. UFV, 2005. 320 p.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2ª Edição, 1992. 308 p.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Blucher, 3ª Edição revista e ampliada, 2008. 363 p.

PICKBRENNER, K.; PEDROLLO, M. C.; RISSO, A. **Determinação do CN utilizando geoprocessamento: simulação hidrológica na Bacia do rio Criciúma**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, João Pessoa, 2005. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/rehi/simposio/pa/Determinacao%20do%20CN%20utilizando%20geoprocessamento.pdf>>. Acesso em: 04/03/2010.

PINHO, C. M. D. de; KUX, H. J. H (2004). Dados do QuickBird para subsidiar o planejamento urbano: uma proposta metodológica, município de São José dos Campos, SP, Brasil. **Anais XI Simposio Latinoamericano sobre Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial**. Santiago, Chile, SELPER, 2004.

PINTO, S. dos A. F.; **Contribuição metodológicas para análise de indicadores da erosão do solo utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento e Modelo**

Predictivo. Tese de Livre Docência. Rio Claro, UNESP- INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS, 1995. 136 p.

RIBEIRO DE MELO, D. **Geossistemas: sistemas territoriais naturais.** Disponível em: <http://ivairr.sites.uol.com.br/dirce.htm>. Acesso em 20/11/2011.

ROSSETTI, L. A. F. G.; PINTO, S. dos A. F.; ALMEIDA, C. M. de. Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas no processamento de imagens aerofotogramétricas em áreas urbanas. **VI Seminário de Pós-Graduação em Geografia da UNESP**, p. 390-398, 2006.

SANTIM, Thiago G. S. **A evolução da ocupação do solo e sua influência na drenagem urbana de Ilha Solteira.** FEIS-UNESP, 2007. 91 p.

Soil Conservation Service (S.C.S./USDA) Estimation of direct runoff from storm rainfall. In: **National Engineering Handbook.** Section 4 – Hydrology. Chapter 10. Hydraulic Engineer, 1964. 30 p.

SINGH, V. P.; FIORENTINO, M. (Org.) **Geographical Information Systems in Hydrology.** Water Science and Technology Library, v. 26. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht/ Boston/ London, 1996.

“SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling” Camara G, Souza RCM, Freitas UM, Garrido J Computers & Graphics, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.

TAVARES, A. C.; SILVA, A. C. F. Urbanização, chuvas de verão e inundações: uma análise episódica. In: **Climatologia e Estudos da Paisagem.** Rio Claro, vol.3, n.1, janeiro/junho/2008, p. 4. Disponível em <http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/climatologia/article/viewFile/1223/1552>. Acesso em 17/06/2011.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.; BARRIOS, M. T. (Org.) **Drenagem urbana.** Porto Alegre, A.B.R.H./Editora da UFRGS, 1995. 428 p.

TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação.** 4ª ed. 1ª reimpressão - Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 4, 2009. 943 p.

TUTORIAL SPRING <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/segmentacao.html>
Acesso em 19/06/2011.

VENDRAME, I.F.; LOPES, W.A.B. **Análise do crescimento urbano e seus efeitos na mudança da dinâmica de escoamento superficial da bacia do Pararangaba.** Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, abril 2005, INPE, p. 2555-2562. Texto Completo disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.18.20.11/doc/2555.pdf>. Acesso em: 20/02/2010>.

VILELLA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada.** São Paulo: McGraw-Hill, 1975. 245 p.