



Ministério da
Ciência e Tecnologia



MODELAGEM DINÂMICA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL DA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE SANTA MARIA - RS

Daniel Borini Alves

Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq/INPE), orientado pela
Dr^a. Tania Maria Sausen.

INPE
Santa Maria
2010



MODELAGEM DINÂMICA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL DA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE SANTA MARIA - RS

**VERSÃO PRELIMINAR DO RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE
INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC/CNPq/INPE)**

Daniel Borini Alves (UFSM, Bolsista PIBIC/ CNPq)
E-mail: danielborini@terra.com.br

Dr^a. Tania Maria Sausen (CRS/ INPE-MCT, Orientadora)
E-mail: tania.sausen@crs.inpe.br

COLABORADORA

Dr^a. Maria Silvia Pardi Lacruz (CRECTEALC/INPE)

Junho de 2010

RESUMO

A pesquisa tem por objetivo analisar o potencial de escoamento superficial na área urbana do município de Santa Maria (RS), baseado na aplicação do modelo *curve number*, desenvolvido pelo *Soil Conservation Service (SCS)*, utilizando geoprocessamento. Essa metodologia se baseia na análise integrada de informações relativas ao uso e cobertura da terra, juntamente com os tipos de solos reclassificados segundo grupos hidrológicos propostos pelo *SCS*. Sendo assim, os procedimentos metodológicos se desenvolveram primeiramente a partir da capacitação para utilização do *software SPRING*, seguindo com uma caracterização física da área do município, com fins a identificação das diferentes características geomorfológicas e litológicas da localidade. Prosseguindo, foi montado um banco de dados junto ao referido *software*, no qual foram registradas e processadas imagens *CCD/CBERS*, *HRC/CBERS* e *SRTM*. As imagens *CBERS* foram segmentadas e classificadas com o intuito de obter o mapa de uso e cobertura da terra do perímetro urbano de Santa Maria; a imagem *SRTM* permitiu obter informações sobre os diferentes declives. Foram identificadas diferentes classes de uso e cobertura da terra, divididas conforme tabela de referência disposta na literatura. O mapa com os grupos hidrológicos de solo foi elaborado a partir de um mapa de tipos de solos já existente, sendo estes reclassificados segundo as suas características texturais. Para cada combinação dos grupos hidrológicos e uso e cobertura da terra foram agregados valores correspondentes ao seu potencial de escoamento superficial (*curve number*), espacializados junto à base geográfica elaborada. Por fim, realizou-se o cruzamento deste mapa de potencial de escoamento superficial com as informações de declividade, com o intuito de identificar as áreas potenciais a alagamentos na área urbana do município de Santa Maria. A aplicação do modelo *curve number* demonstrou-se eficiente para a obtenção das características do escoamento superficial da localidade, permitindo gerar os resultados esperados.

DYNAMIC MODELLING OF THE SURFACE FLOW IN THE URBAN AREA OF SANTA MARIA - RS

ABSTRACT

The research aims to analyze the potential surface flow in urban area of Santa Maria (RS), based on the application of the curve number model, developed by the Soil Conservation Service (SCS) using geoprocessing. This methodology is based on integrated analysis of information regarding land use and land cover, along with reclassified types of soil according to hydrologic groups proposed by SCS. Therefore, the methodological procedures were developed primarily from the capacity for the utilization of the software SPRING, followed with a physical characterization of the municipal area, with the purpose to identify the different geomorphological and lithological characteristics of the locality. Continuing, it has been assembled a database along with that software, in which images were recorded and processed CCD / CBERS, HRC / CBERS and SRTM. CBERS images were segmented and classified in order to obtain the map of land use and cover of the urban area of Santa Maria, the SRTM image admitted to obtain information about the different declines. It has been identified different classes of use and land cover, divided according to the reference table disposed in the literature. The map of hydrologic soil groups was formulated from a map of existent soil types, these were reclassified according to their textural characteristics. For each combination of hydrological groups and use and land cover were aggregated values corresponding to its potential surface flow (curve number), spatialized with the elaborate geographic base. Finally, it was realized the crossing of this map of potential surface flow with the declivity information, in order to identify the most potential areas to flooding in the urban area of Santa Maria. The application of curve number model was efficient to obtain the characteristics of the surface flow from the locality, allowing to generate the expected results.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE TABELAS	
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	12
1.1 Apresentação	12
1.2 Caracterização física da área de estudo	13
CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1 Drenagem urbana e o escoamento superficial	15
2.2 O modelo <i>curve number</i>	16
2.2.1 Definição e estimativa do parâmetro <i>curve number</i>	16
2.2.2 <i>Curve number</i> utilizando geoprocessamento	17
CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E ANÁLISES	26
4.1 A rede de drenagem da área urbana de Santa Maria	26
4.2 O mapa de uso e ocupação do solo	28
4.2.1 Classificação da imagem <i>CCD/CBERS 2B</i>	28
4.2.2 Classificação da imagem <i>HRC/CBERS 2B</i>	31
4.3 O mapa de grupos hidrológicos de solo	34
4.4 O mapa de potencial de escoamento superficial	37
4.5 Identificação das áreas potenciais a alagamentos.....	40
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS	43
REFERÊNCIAS	45

LISTA DE FIGURAS

Pág.

1.1	Localização do município de Santa Maria no estado do Rio Grande do Sul, com o perímetro urbano destacado.....	14
3.1	Sub-imagem <i>HRC/CBERS-2B</i> de parte do município de Itajaí com erro de imageamento.....	21
3.2	Ampliação do contraste da sub-imagem <i>CCD/CBERS-2B</i>	22
3.3	Segmentação da sub-imagem <i>HRC/CBERS-2B</i>	24
4.1	Mapa da rede de drenagem do perímetro urbano de Santa Maria	27
4.2	Mapa de uso e cobertura da terra – <i>CCD/CBERS 2B</i>	30
4.3	Mapa de uso e cobertura da terra – <i>HRC/CBERS 2B</i>	32
4.4	Mapa de Grupos Hidrológicos de Solo	36
4.5	Mapa de potencial de escoamento superficial	39
4.6	Mapa de declividade da área urbana de Santa Maria	41
4.7	Mapa de áreas potenciais a alagamentos da área urbana de Santa Maria.....	42

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
2.1 Tipos de solos segundo os quatro grupos hidrológicos	17
2.2 Número de deflúvio de acordo com as diferentes superfícies	18
2.3 Condições anteriores de umidade do solo	19
4.1 Comprimento da hidrografia por ordens de drenagem.....	28
4.2 Classificação do uso e cobertura da terra da imagem CCD/CBERS 2B.....	29
4.3 Classes de uso e cobertura e suas definições.....	31
4.4 Medida de classes da classificação da imagem <i>HRC/CBERS 2B</i>	33
4.5 Reclassificação dos tipos de solo segundo os grupos hidrológicos.....	34
4.6 Distribuição numérica das classes de Grupos Hidrológicos de Solos.....	37
4.7 Valores <i>curve number</i> para bacias urbanas, em condições de umidade II	37
4.8 Medida de classes do mapa de potencial de escoamento superficial.	38
4.9 Distribuição numérica das classes de Grupos Hidrológicos de Solos.....	40
4.8 Medida de classes do mapa de potencial de escoamento superficial.	37

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

Os estudos relacionados a problemáticas ambientais em áreas urbanas revelam-se como grandes desafios para a comunidade científica. Os distintos usos e coberturas da terra, com superfícies cada vez mais impermeabilizadas, tornam a análise do ciclo hidrológico mais complexa, e conseqüentemente dificultam a produção de informações sobre o comportamento do escoamento superficial, que são imprescindíveis no processo de apropriação urbana do espaço.

Neste contexto, afirma-se que o crescente processo de urbanização dos municípios brasileiros tem dado origem a determinados impactos sobre a rede de drenagem intra-urbana, associados com a alteração do pico de vazão e com o aumento do escoamento superficial. Esses impactos, segundo Tucci (2000) têm deteriorado a qualidade de vida da população, através do aumento da frequência e do nível das inundações, redução da qualidade da água e aumento de materiais sólidos no escoamento pluvial.

Estas condições apresentadas resultam de fatores tais como a impermeabilização dos lotes e a conseqüente alteração da cobertura vegetal, que modificam intensamente o ciclo hidrológico natural. Estes processos são desencadeados principalmente devido à forma como as cidades se desenvolvem, com projetos de drenagem urbana inadequados.

Diante desta realidade, diversos modelos hidrológicos de precipitação-vazão têm sido desenvolvidos para realizar prognósticos dos principais efeitos da urbanização nas bacias. Entre eles, destaca-se o elaborado pelo *Soil Conservation Service (SCS)*, que permite a partir do parâmetro *curve number*, identificar características referentes ao potencial de escoamento superficial nas diferentes superfícies (PICKBRENNER et al., 2005).

Sendo assim, esta pesquisa tem como objetivo geral analisar o potencial de escoamento superficial na área urbana do município de Santa Maria (RS), baseado na aplicação do modelo *curve number*, desenvolvido pelo *SCS*, utilizando geoprocessamento. Busca-se desta forma a produção de informações referentes ao uso e cobertura da área urbana de Santa Maria, procurando identificar áreas onde o escoamento superficial ocorre com mais intensidade, gerando riscos a alagamentos de acordo com as condições antecedentes de umidade e as condições de declive.

Visa-se com o desenvolvimento da pesquisa à produção de referenciais cartográficos que auxiliem no planejamento local no que se refere ao aspecto hidrológico inserido dentro da área urbana do município.

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- Analisar e interpretar as características da rede de drenagem do município de Santa Maria no estado do Rio Grande do Sul;
- Elaborar um mapa de uso e cobertura da terra da área urbana desse município, como resultado do processamento de imagens de alta resolução;
- Elaborar um mapa de escoamento superficial a partir da análise e classificação de áreas com diferentes números de deflúvios;
- Determinar as áreas potenciais a alagamentos da cidade de Santa Maria a partir da análise do referencial cartográfico resultante das etapas anteriores.

1.1 Caracterização física da área de estudo

O município de Santa Maria (Figura 1.1) está situado em uma área de transição de compartimento geomorfológico entre a depressão central do Rio Grande do Sul e o planalto meridional brasileiro, possuindo uma formação vegetal típica da paisagem de mata atlântica, estando parte de sua área inserida dentro da Reserva Natural da Biosfera da Mata Atlântica. Esta diversidade denota a existência de diferentes tipos de solo e padrões de drenagem.

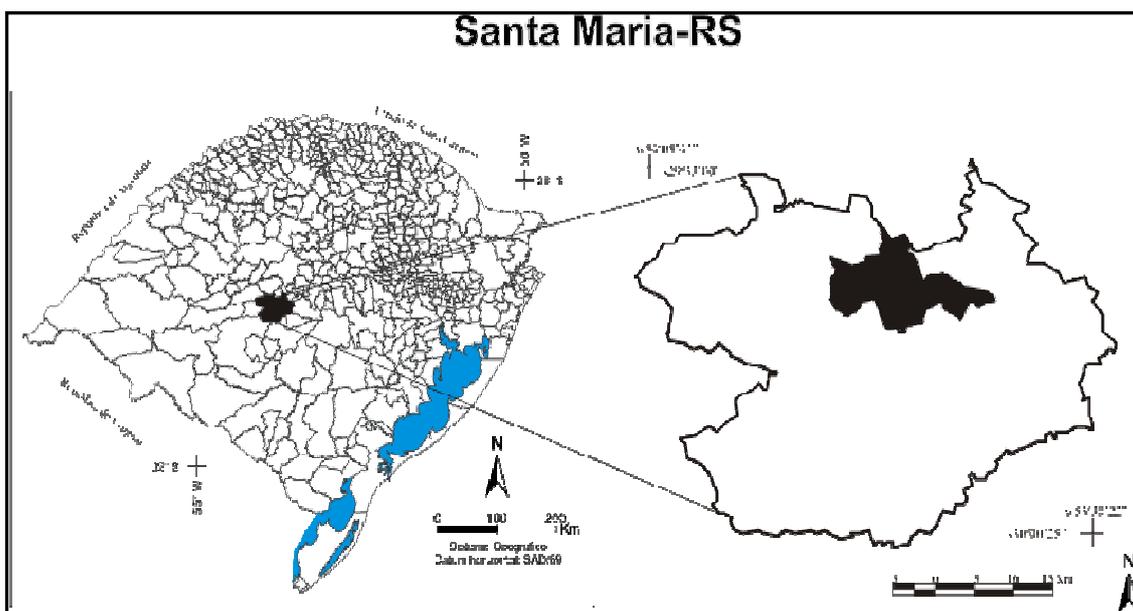


Figura 1.1 - Localização do município de Santa Maria no estado do Rio Grande do Sul, com o perímetro urbano destacado.

Sartori (2009) caracteriza a situação geomorfológica do município de Santa Maria assinalando a transição de seqüência sedimentar de camadas vermelhas com derrames de lavas subseqüentes, resultando em duas unidades morfoesculturais: a Depressão Periférica e a Serra Geral.

As características climáticas são levantadas por Heldwin et al (2009), que ao seguir a classificação de Köppen identifica o clima como subtropical úmido com verões quentes, sem estação seca definida.

Associando as características geomorfológicas, Dalmolin e Pedron (2009) identificam os diferentes tipos de solos. No Rebordo do Planalto encontram-se os neossolos litólicos e regolíticos, com algumas associações nos topos de morros. Ainda no rebordo, no seu terço inferior identificam-se argissolos. Na área de Depressão Central, em seu terço superior, é possível identificar Argissolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos. Já em seu terço inferior das coxilhas encontram-se Argissolos Amarelos, Acinzentados e Bruno-Acinzentados. Nas várzeas fluviais, surgem os Planossolos Háplicos, podendo estar associados à Gleissolos Háplicos e Neossolos Flúvicos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para o desenvolvimento deste projeto foi realizada uma revisão bibliográfica que tratou de temas relacionados à drenagem urbana e ao escoamento superficial, em consonância com o modelo *curve number*.

2.1 Drenagem urbana e o escoamento superficial

Nas discussões referentes a sistemas de drenagens urbanos, entende-se por drenagem as instalações destinadas a escoar o excesso de água, seja em rodovias, zonas rurais ou na malha urbana (CARDOSO NETO, 1998).

O crescente processo de urbanização nos municípios brasileiros, na maioria das vezes, não vem acompanhado de um planejamento dos sistemas de drenagens intra-urbanos. Desta forma, a constante impermeabilização dos lotes acarreta em sérios riscos aos resultados do escoamento da água, principalmente em áreas onde o gradiente superficial apresenta índices baixos, aumentando as probabilidades de alagamento.

Tucci (2000) considera que o escoamento superficial é a parcela do ciclo hidrológico em que a água se desloca na superfície até encontrar uma drenagem definida, sendo a presença de cobertura vegetal relevante para a infiltração da água.

Neste sentido, ao analisar o escoamento superficial, é necessário obter informações referentes ao uso e cobertura da ocupação urbana, podendo contrastar com os tipos de solos predominantes. Pedron et al (2007) destacam a importância do levantamento do tipo de solo urbano, visto que esse desempenha diversas funções, tais como suporte e fonte de materiais para obras civis, sustento da agricultura urbana, descarte de resíduos e armazenamento e filtragem das águas pluviais.

Considerando a drenagem urbana como fator essencial a será analisado para prática do planejamento local, observa-se que os projetistas se deparam frequentemente com a

indisponibilidade de dados de vazão, necessários para o dimensionamento da maioria das obras hidráulicas (TASSI et al, 2006).

2.2 O modelo *curve number*

2.2.1 Definição e estimativa do parâmetro *curve number*

Visto a indisponibilidade de dados de vazão, como apontado anteriormente, observa-se que diferentes modelos de precipitação-vazão têm sido desenvolvidos com o intuito da produção de informações confiáveis sobre o comportamento das redes de drenagens urbanas.

O *SCS runoff curve number (CN)* é um parâmetro utilizado em hidrologia para estimar o escoamento direto ou infiltração do excesso de precipitação desenvolvido pelo *USDA¹ Natural Resources Conservation Service (SCS, 1972)*. Os valores de *CN*, também conhecido como número de deflúvio, resultam em função do tipo e do uso e cobertura da terra, variando desde uma cobertura muito permeável (limite inferior, valor = 0) até uma cobertura completamente impermeável (limite superior, valor = 100).

O cálculo da variável *CN* é feito através da Equação 2.1, onde *P* representa precipitação (mm) e *S* é a retenção potencial do solo (mm). Numa relação seguinte, Equação 2.2, é possível relacionar o valor de retenção em função do parâmetro *CN*. (TIBÚRCIO; CASTRO, 2007)

$$Pe = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{P + 0,8 \cdot S} \quad (2.1)$$

$$S(mm) = 25,4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (2.2)$$

¹ Unites States Department of Agriculture – Departamento de Agricultura dos Estados Unidos.

Desta forma, os valores *CN* variam de acordo com o tipo e ocupação do solo nas diferentes superfícies, sendo os tipos de solos reagrupados segundo Grupos Hidrológicos, que indicam as características texturais dos solos (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 - Tipos de solos segundo os quatro grupos hidrológicos.

Grupo Hidrológico de Solo	Descrição do Solo	Condutividade Hidráulica (mm/h)
Tipo A	Baixo potencial de escoamento superficial. Solos arenosos com pouco silte e argila. Solos muito arenosos.	8-12
Tipo B	Moderado a baixo potencial de escoamento superficial Solos arenosos e menos profundos que A.	4-8
Tipo C	Moderado a alto potencial de escoamento superficial. Solos rasos com significativa quantidade de argila.	1-4
Tipo D	Alto potencial de escoamento. Solos com grande quantidade de argilas expansivas 2:1 e solos com camada inferior impermeável.	0-1

Fonte: Risso et al. (2008).

2.2.1. *Curve number* utilizando geoprocessamento

Técnicas de geoprocessamento têm sido crescentemente utilizadas para a determinação do parâmetro *CN*, a partir do cruzamento de mapas (PICKBRENNER et al., 2005).

Em um estudo recentemente realizado na cidade de Porto Alegre Risso et al. (2008) elaboraram, a partir do cruzamento de mapas de tipo de solo e uso e cobertura da terra, um mapa da variável *CN*. Para a realização deste procedimento, os tipos de solos identificados precisam ser reclassificados em grupos hidrológicos, de acordo com as suas diferentes características de infiltração.

Os grupos hidrológicos são combinados com o uso e ocupação da terra que predominam em um determinado local, gerando o número de deflúvio diferencial de acordo com os

tipos de superfícies. Na literatura existem tabelas geradas em condicionamentos urbanos americanos que apresentam este relacionamento de informações (TUCCI, 1997).

Germano e Tucci (1995) determinaram os valores *CN* de 24 bacias urbanas brasileiras, analisando eventos de precipitação-vazão, concluindo que os valores obtidos não diferiam significativamente dos valores tabelados comumente utilizados.

Na Tabela 2.2 se identificam os diferentes valores de *CN* de acordo com as características da superfície e o grupo hidrológico para o estudo de Porto Alegre, anteriormente citado.

Tabela 2.2 - Número de deflúvio de acordo com as diferentes superfícies.

Tipos de uso do solo/tratamento/condições hidrológicas	Grupo Hidrológico			
	A	B	C	D
<i>Uso residencial de tamanho médio:</i>				
Até 500m ²	77	85	90	92
500m ² - 1.000m ²	61	75	83	87
1.000m ² - 1.500m ²	57	72	81	86
<i>Estacionamentos pavimentados, telhados</i>				
	98	98	98	98
<i>Ruas e estradas:</i>				
Pavimentadas, com guias e drenagem	98	98	98	98
Com cascalho	76	85	89	91
De terra	72	82	87	89
<i>Áreas comerciais (85% de impermeabilização)</i>				
	89	92	94	95
<i>Distritos industriais (72% impermeável)</i>				
	81	88	91	93
<i>Espaços abertos, parques, jardins:</i>				
Boas condições, cobertura de grama maior que 75%	39	61	74	80
Condições médias, cobertura de grama maior que 50%	49	69	79	84

Fonte: Risso et al. (2008).

Tratando-se de uma variável dinâmica, o parâmetro *CN* varia de acordo com as condições anteriores de umidade. A tabela apresentada acima, como às demais tabelas presentes na literatura, refletem a condição II de umidade. De acordo com Risso et al.

(2008), são três as condições de umidade estabelecidas de acordo com os índices pluviométricos (Tabela 2.3).

A simulação dinâmica do escoamento superficial pode contribuir para o planejamento e gerenciamento em bacias hidrográficas que carecem de dados hidrológicos e estão ainda sujeitas as constantes mudanças de uso e cobertura da terra (RUHOFF, 2007).

Tabela 2.3 - Condições anteriores de umidade do solo.

Condições anteriores de umidade do solo	Características
Condição I	Solos secos: os índices pluviométricos dos últimos cinco dias não ultrapassaram 15 mm.
Condição II	Umidade do solo média: os índices pluviométricos dos últimos cinco dias totalizaram entre 15 e 40 mm.
Condição III	Solo úmido: os índices pluviométricos nos último cinco dias superaram e as condições meteorológicas foram desfavoráveis a altas taxas de evaporação.

Fonte: Risso et al (2008).

Os cálculos de conversão das condições de umidade anteriores são com base nos parâmetros apresentados nas tabelas (condição II), e são adquiridos a partir de algumas relações matemáticas (Equações 2.3 e 2.4).

$$CN(I) = \frac{4,2 \cdot CN(II)}{10 - 0,058 \cdot CN(II)} \quad (2.3)$$

$$CN(III) = \frac{23 \cdot CN(II)}{10 + 0,13 \cdot CN(II)} \quad (2.4)$$

Convém ressaltar, tal qual afirmam Freitas e Porto (1990), que a discretização temporal dos dados de vazão e precipitação bem como a variabilidade espacial da precipitação e infiltração implicam, obviamente, em determinadas imperfeições.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Seguindo o cronograma de atividades proposto para a pesquisa, inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica a respeito dos temas que envolvem o trabalho, tais como sistemas de drenagem urbana, escoamento superficial e modelos hidrológicos de precipitação-vazão.

A segunda etapa consistiu na capacitação para uso do *software* SPRING versão 5.1.2. Desta forma, a partir da consulta ao tutorial do SPRING desenvolvido pela Divisão de Processamento de Imagens do INPE (disponível para *download* no sítio <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/manuais.html>>), e também do contato junto a pesquisadores do grupo Geodesastres-Sul, foram realizadas atividades relacionadas ao registro de imagens, criação e edição de planos de informação, geração de grades de modelo numérico de terreno (MNT), realce e interpretação de imagens de diferentes resoluções espaciais, segmentação e classificação supervisionada de diferentes atributos identificados.

Após a fase de treinamento, partiu-se para a identificação das características físicas que envolvem os municípios de Itajaí e Balneário Camboriú, com o intuito de analisar a rede de drenagem que abrange a área em estudo.

Ainda nesta fase, foram feitos *downloads* das imagens de diferentes resoluções espaciais que abrangem a área estudada: imagem *Geocover TM Landsat 5* (30 m de resolução espacial) disponível para *download* em <<https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>> ; *CCD/CBERS 2B* (20 m de resolução espacial), disponível para *download* em <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>; *HRC/CBERS 2B* (2,5 m de resolução espacial), disponível para *download* em <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>; *SRTM* (90m de resolução espacial), disponível para *download* em <<http://photojournal.jpl.nasa.gov/mission/SRTM?start=10>>.

Inicialmente, no projeto que foi aprovado, a área em estudo correspondia às áreas urbanas dos municípios de Itajaí e Balneário Camburiú no Estado de Santa Catarina. No entanto, a imagem de alta resolução *HRC/CBERS-2B* apresentou uma falha de imageamento de cinco colunas, a qual atravessa a área urbana de Itajaí (Figura 3.1). Em virtude deste erro e da falta de outra imagem de alta resolução *CBERS* deste município, optou-se por uma nova área de estudo que corresponde ao perímetro urbano de Santa Maria no Rio Grande do Sul.

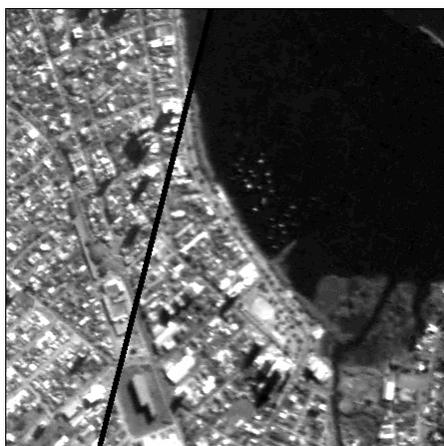


Figura 3.1 - Sub-imagem *HRC/CBERS-2B* de parte do município de Itajaí com erro de imageamento.

Como consequência da mudança de área de estudo, foi necessário repetir as fases de estudo das características físicas e *download* das imagens para a nova área de Santa Maria.

Posteriormente, iniciou-se a fase de montagem do banco de dados para o processamento de imagens e a elaboração de referenciais cartográficos propostos. Neste sentido, o banco de dados foi estruturado a partir da definição das coordenadas geográficas que envolvem a área do município de Santa Maria. Apesar do problema com as imagens e a necessidade de repetir algumas fases para a nova área em estudo, a montagem do banco de dados foi realizada entre os meses de outubro e novembro de 2009, de acordo com o cronograma estabelecido inicialmente.

Com o banco de dados estruturado, iniciou-se a fase de registro das imagens no SPRING. Primeiramente, foi importado o mosaico *Geocover* da *NASA* o qual foi utilizado para georeferenciar a imagem *CCD/CBERS-2B*, a partir da aquisição de pontos de controle. Para o registro da imagem *HRC/CBERS-2B* foi necessário à obtenção de pontos com um *GPS* a partir de um trabalho de campo, devido a que o registro desta imagem com o mosaico da *Geocover* apresentava um erro muito grande.

Após ampliação do contraste (Figura 3.2), a imagem *CCD/CBERS-2B* foi segmentada utilizando um algoritmo de crescimento de regiões e posteriormente classificada com um algoritmo por regiões baseado na distância de Bhattacharya, a partir da aquisição de amostras de treinamento e teste. As amostras foram agrupadas em cinco classes distintas: florestas, área agrícola, solos expostos, área urbana e água. O mapa de uso e cobertura resultante desta classificação serviu como base na identificação de determinados elementos para a classificação da imagem *HRC/CBERS-2B* e como subsídio para o entendimento dos processos que ocorrem fora do perímetro urbano do município e que influenciam de alguma forma, os processos internos.

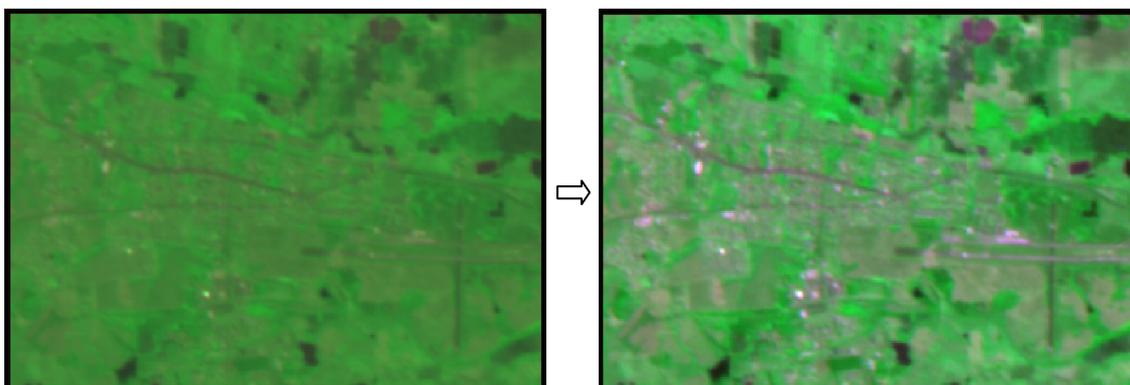


Figura 3.2 - Ampliação do contraste da sub-imagem *CCD/CBERS-2B*.

Utilizando uma fusão das imagens *HRC/CBERS 2B* e *CCD/CBERS 2B* e o mapa do perímetro urbano do município de Santa Maria (disponível junto ao *site* da prefeitura <<http://www.santamaria.rs.gov.br/index.php?secao=downloads>>) foram digitalizados os limites urbanos da localidade.

A partir da delimitação da área urbana do município, visando à elaboração do mapa de uso e cobertura do solo em escala detalhada, partiu-se para o procedimento de classificação supervisionada das diferentes classes temáticas presentes nesta localidade. A divisão das classes foi baseada nas tabelas de valores *curve number*, visto que o mapa vem com o intuito da obtenção dos diferentes parâmetros de escoamento superficial.

Desta forma, primeiramente foram sendo obtidos polígonos sob a base cartográfica da imagem *HRC/CBERS-2B*, identificando as áreas predominantemente residenciais. Observa-se ainda, que as áreas que apresentavam dificuldades de interpretação foram discernidas a partir da visualização da imagem *Quick Bird* de acesso disponível a partir do *software Google Earth 5.0 TM*, datada de julho de 2009. Após definidas as áreas predominantemente residenciais, estas foram divididas de acordo com o tamanho médio de seus lotes.

Utilizando a mesma metodologia de obtenção de polígonos, foi agrupado o predomínio das seguintes classes: áreas de comércio, serviços e instituições; áreas industriais; espaços abertos: parques, praças, cemitérios e campos de futebol.

Após essa elaboração desses diferentes polígonos, partiu-se para o processamento automático da imagem *HRC-CBERS-2B*. Sendo assim, a imagem foi primeiramente recortada utilizando como máscara o plano de informação da delimitação urbana do município. A partir daí, foi realizada a ampliação de contraste da imagem, seguida de sua segmentação (Figura 3.3) sob o algoritmo de crescimento de regiões, utilizando os parâmetros de similaridade e área de valor 10 e 20, respectivamente.

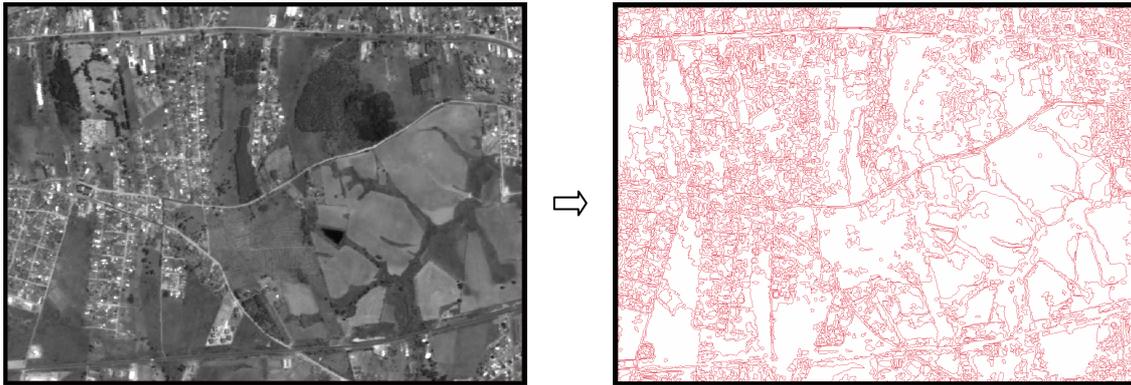


Figura 3.3 - Segmentação da sub-imagem HRC/CBERS-2B.

A partir da segmentação partiu-se para a extração de atributos por regiões em formas de amostra de treinamento e teste, distinguindo as áreas de acordo com as seguintes classes: florestas de cobertura boa; terrenos em más condições (solo exposto); Campos em boa condição.

A partir do mosaico das classes obtidas na digitalização dos polígonos e na classificação automática, foi obtido o mapa de uso e ocupação do solo do município de Santa Maria. Para o prosseguimento das atividades, foi necessário obter um mapa de tipo de solos do município de Santa Maria. Para isso, contou-se com o trabalho realizado por Dalmolin e Pedron (2009), que trabalhou com a predominância de tipos de solo dentro da área urbana do município. O mapa por eles cedido no formato “*.jpg”, foi georeferenciado e disposto sob a base cartográfica desenvolvida no *software* SPRING, sendo digitalizado e sua classificação adaptada.

A partir da análise das características texturais dos diferentes tipos de solos propostos pelos autores, estes foram reagrupado segundo o grupo hidrológico correspondente, necessário para o cruzamento com o mapa de uso e ocupação do solo. Esse procedimento permitiu a elaboração Mapa dos Grupos Hidrológicos de solo de Santa Maria.

O cruzamento dos dois mapas gerados (uso e ocupação do solo x grupos hidrológicos de solo) foi realizado para permitir agregar os valores correspondes ao *curve number* das

diferentes superfícies. Esse cruzamento foi realizado a partir da análise “Legal” do *software* SPRING, logo após a conversão dos dados vetoriais em matriciais, com a mesma resolução (2,5x2,5m). O resultado desse cruzamento resultou no mapa de escoamento superficial da área urbana do município de Santa Maria (mapa *curve number*).

Visando ainda a identificação de áreas potenciais a alagamentos, foi elaborado o mapa clinográfico da área urbana do município, que denotou o grau de inclinação das superfícies. Esse mapa foi elaborado a partir do processamento da imagem *SRTM*, que teve sua resolução ampliada de noventa para dez metros. Utilizando as classes de declividade propostas por De Biasi (1992), foram levantadas informações sobre os declives da área urbana do município.

O cruzamento deste último com o mapa de escoamento superficial permitiu identificar as áreas onde o risco de alagamento é maior. Este cruzamento também foi realizado a partir da interface “Legal” do SPRING. Para isso, definiu-se como parâmetro de análise que as áreas potenciais a alagamentos são as que apresentam um alto índice de escoamento superficial e uma baixa declividade. Esse procedimento permitiu a determinação das áreas potenciais a alagamentos.

4 RESULTADOS

4.1 A rede de drenagem da área urbana de Santa Maria

O perímetro urbano de Santa Maria conta com uma rede de drenagem densa, inserida dentro dos limites da bacia hidrográfica do Vacacaí-Vacacaí Mirim (Figura “Bacias Hidrográficas do RS”). O rio Vacacaí-Mirim tem o seu fluxo corrente pelo perímetro urbano do município, sendo o seu percurso desde a área norte, no Bairro Campestre do Menino de Deus, onde é barrado (Barragem do Departamento Nacional de Obras e Saneamento), seguindo pela área nordeste, passando pelos bairros Presidente João Goulart, Km 3, Pé-de-Plátano e Camobi, onde em grande parte de seu curso funciona como limite da área urbana do município.

Além do rio Vacacaí-Mirim, os principais cursos de água que percorrem a área urbana do município de Santa Maria são os arroios Ferreira, Cadena e Cancela. O primeiro deles delimita a área leste do perímetro urbano, passando pelos bairros Boi Morto, Tancredo Neves e Agroindustrial. O arroio Cadena, que passou por recentes obras de canalização, cruza grande parte da área centro-oeste do perímetro urbano do município, na direção sul, sendo também responsável pela delimitação urbana do município em seu curso pelos bairros Urlândia e Lorenzi. O arroio Cancela deságua no arroio Cadena, e tem passagem por áreas de grande densidade demográfica, tais como os bairros Nossa Senhora das Dores, Nonoai e Nossa Senhora Medianeira.

Um mapa da rede de drenagem da área urbana do município de Santa Maria foi elaborado (Figura 4.1), contando com a classificação dos canais em ordens, de acordo com o método de Strahler (1979). Este método considera que quando dois cursos de água de ordem semelhante se encontram, dão lugar a outro curso de água com ordem maior. Por exemplo: quando dois cursos de água de primeira ordem se encontram, a sua continuação será um canal de segunda ordem.

MAPA DA REDE DE DRENAGEM DA ÁREA URBANA DE SANTA MARIA - RS

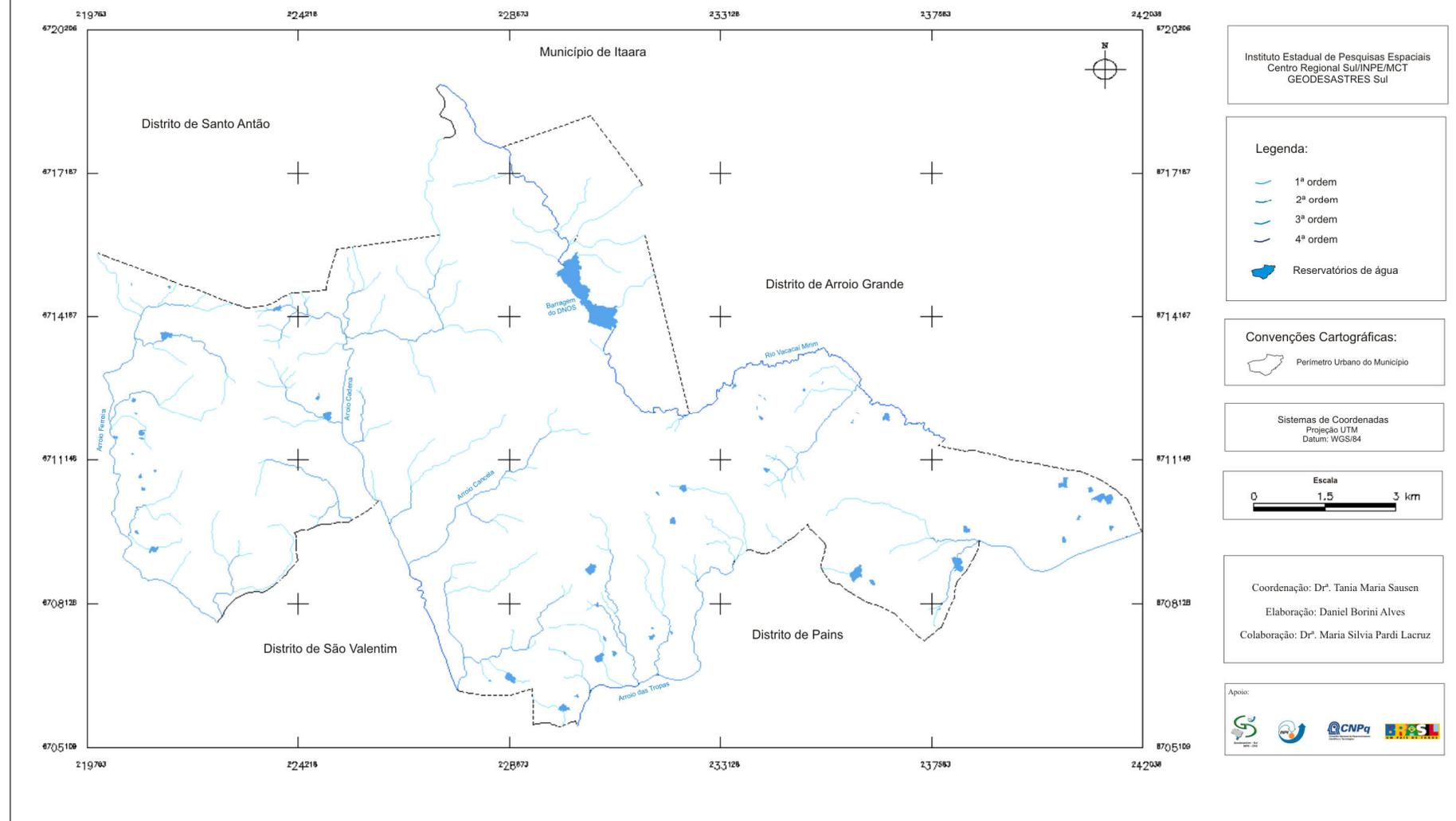


Figura 4.1 - Mapa da rede de drenagem do perímetro urbano de Santa Maria.

Gerando a medida de classes da rede de drenagem do município (Tabela 4.1), podemos observar a predominância em extensão de canais de primeira ordem, e a existência de vários reservatórios de água derivados do represamento da água dos canais, que totalizam aproximadamente 111 hectares da área urbana do município.

Tabela 4.1 - Comprimento da hidrografia por ordem de drenagem.

Ordens dos canais	Comprimento (km)
1ª ordem	95,34
2ª ordem	43,47
3ª ordem	27,34
4ª ordem	22,60
Total	188,75

A tabela acima apresenta aponta a extensão linear da rede de drenagem hierarquizada elaborada neste estudo, sendo que o mapa da rede de apresenta a distribuição dos cursos de água segundo a sua ordem. Constata-se um total de aproximadamente 189 km de extensão o comprimento da rede de drenagem do município.

4.2 O mapa de uso e cobertura da terra

Visando a elaboração do mapa de uso e cobertura da terra do perímetro urbano de Santa Maria, foram analisadas e classificadas duas imagens: *CCD/CBERS 2B* (20 m de resolução) e *HRC/CBERS 2B* (2,7 m de resolução). A primeira classificação

4.2.1 Classificação da imagem *CCD/CBERS 2B*

Para a classificação de uso e cobertura da terra da imagem *CCD/CBERS-2B* foram definidas cinco classes: florestas, solo exposto, área agropecuária, áreas edificadas e água. A classe de áreas agropecuárias foi subdividida em três sub-classes, de acordo com as diferentes respostas espectrais em função do tipo e estágio de crescimento dos cultivos.

Assim, foram separadas as áreas agropecuárias em fase inicial, áreas com a cultura ou a pastagem predominando e, por conseguinte, menor influência do solo e áreas de plantio de

arroz, que ocorrem a partir de planícies de inundação. A medida de classes (Tabela 4.2) apresenta a classe predominante de área agropecuária, com aproximadamente 57% da área total.

Tabela 4.2 - Classificação do uso e cobertura da terra da imagem CCD/CBERS 2B

Classes de uso e cobertura da terra	Área (ha)	Proporção (%)
Florestas	3765,89	29,09
Área agropecuária	7485,60	57,82
Área edificada	1442,52	11,14
Solos Expostos	171,22	1,32
Água	81,11	0,63
Total	12.946,34	100

O mapa de uso e cobertura da terra (Figura 4.2), gerado a partir da classificação automática dessa imagem, permitiu um bom discernimento das zonas de floresta densa das demais classes presentes dentro dos limites urbanos do município. Analisa-se ainda que a classe de áreas edificadas acabou muitas vezes sobreposta pelas classes de áreas agropecuárias e solo exposto.

Esta sobreposição resulta da grande dificuldade de uma classificação em escala detalhada realizada com uma imagem de baixa resolução. Porém, observa-se que o processo de elaboração deste mapa serviu como uma boa base para realizar os procedimentos de classificação da imagem *HRC/CBERS 2B*, com maior resolução.

MAPA DE USO E COBERTURA DA TERRA DA ÁREA URBANA DE SANTA MARIA - RS - CCD/CBERS 2B

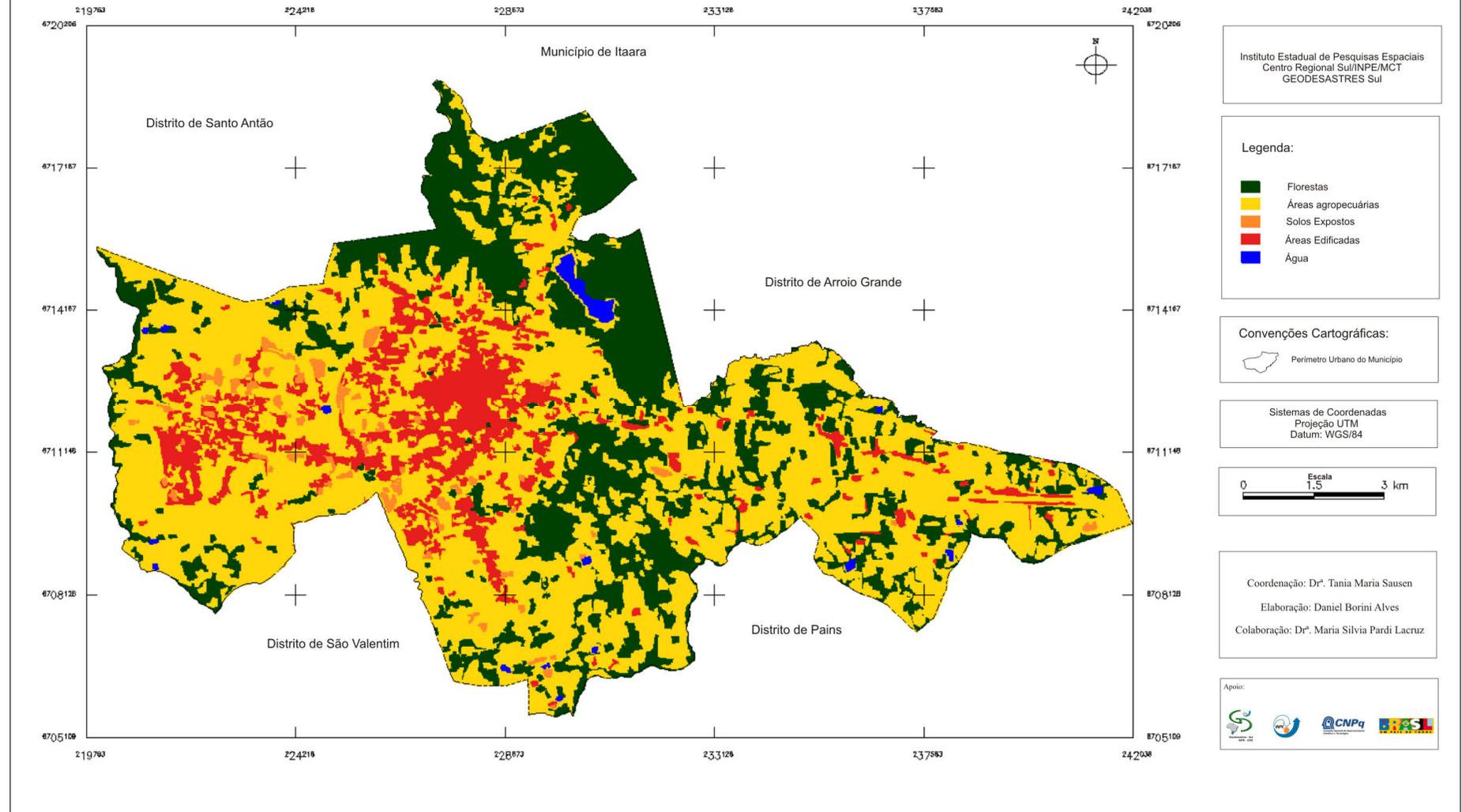


Figura 4.2 - Mapa de uso e cobertura da terra – CCD/CBERS 2B.

4.2.2 Classificação da imagem *HRC/CBERS 2B*

A imagem *HRC/CBERS 2B* teve a sua classificação em escala detalhada (1:10.000), com suas classes definidas a partir das tabelas existentes na literatura para mapeamento *curve number*. Dessa forma, foram definidas sete classes de uso e cobertura da terra (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 - Classes de uso e cobertura e suas definições.

Classes de uso e cobertura da terra	Definição
Florestas de cobertura boa	Representam as áreas com predomínio vegetal de florestas.
Vegetação rasteira (campos) em boas condições	Representam as áreas de predomínio de vegetação rasteira, sendo incluídos os terrenos baldios próximos a áreas edificadas.
Áreas predominantemente residenciais	Representam as áreas onde o uso é predominantemente residencial, que foi subdividida segundo o tamanho médio dos lotes: <500m ² ; 1000m ² e 2000m ² .
Áreas de comércio, serviços e instituições	Representam as áreas de predomínio de uso comercial ou institucional.
Áreas industriais	Representam as áreas de uso de indústrias.
Espaços abertos	Representam as áreas de parques, praças, cemitérios ou campos de futebol, subdivididas segundo as suas condições: boa em áreas com relva maior que 75%; médias para áreas com relva entre 50 e 75%.
Arruamentos e áreas asfaltadas	Representam as principais vias de circulação presentes na área, e outras áreas asfaltadas, como a pista de pouso da Base Aérea.

A partir da distinção destas classes dentro da área urbana de Santa Maria, acrescidas dos planos de informação referentes à rede de drenagem, foi possível gerar o mapa de uso e cobertura da terra em escala detalhada (Figura 4.3).

MAPA DE USO E COBERTURA DA TERRA DA ÁREA URBANA DE SANTA MARIA - RS - HRC/CBERS 2B

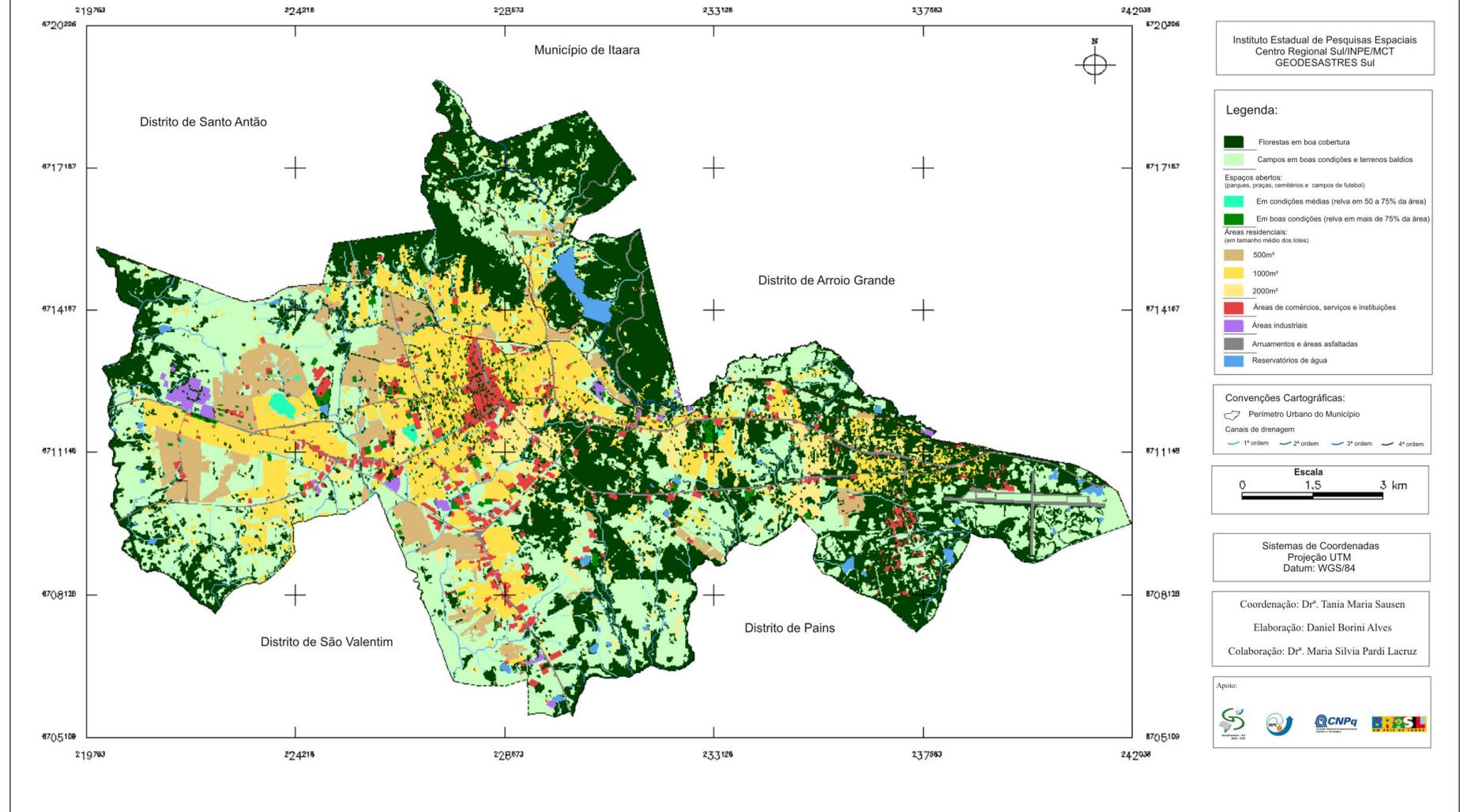


Figura 4.3 - Mapa de uso e cobertura da terra – HRC/CBERS 2B.

Gerando a medida de classes (Tabela 4.4), podemos observar numericamente a distribuição das classes de uso e cobertura da terra apontada no mapa.

Tabela 4.4 - Medida de classes da classificação da imagem *HRC/CBERS 2B*.

Classes de uso e cobertura da terra	Área (ha)	Proporção (%)
Florestas de cobertura boa	3579,47	27,65
Vegetação rasteira (campos) em boas condições	5383,01	41,58
Áreas predominantemente residenciais: (tamanho médio dos lotes)		
<500m ²	790,06	6,10
1000m ²	1790,91	13,84
2000m ²	433,31	3,35
Áreas de comércio, serviços e instituições	460,83	3,56
Áreas industriais	76,52	0,59
Espaços abertos: parques, praças, cemitérios e campos de futebol:		
Em boas condições (relva em mais de 75% da área)	106,95	0,83
Em condições médias (relva em 50 a 75% da área)	40,40	0,31
Arruamentos e áreas asfaltadas	130,92	1,01
Água		
Canais de 1ª ordem	21,67	0,16
Canais de 2ª ordem	9,90	0,07
Canais de 3ª ordem	6,19	0,05
Canais de 4ª ordem	5,14	0,04
Reservatórios de água	111,05	0,86
Total	12946,34	100

O mapa distingue bem a distribuição das áreas edificadas, tendo o espalhamento das áreas residenciais predominando para as zonas periféricas e sub-centrais, enquanto as áreas de comércio, serviços e instituições predominam nas zonas centrais e ao longo dos principais arruamentos.

As áreas florestadas representam uma boa proporção em relação à área total do município. Porém se devem levar em conta os altos índices de predominância desta classe na zona norte do município, região de presença de morros e pouco avanço das áreas edificadas, que elevam significativamente esta porcentagem em nível municipal.

4.3 O mapa de grupos hidrológicos de solo

Para obter o mapa de grupos hidrológicos de solos da área urbana de Santa Maria, foram reclassificados os tipos de solos a partir de uma base de informações já existente. Esta base trata-se do mapa de tipo de solos de Santa Maria, elaborado por Dalmolin e Pedron (2009), que teve a sua adaptação² digitalizada sobre a base georeferenciada de dados da presente pesquisa.

Desta forma, a adaptação do mapa de tipo de solos produzido pelos autores permitiu a distinção das classes de solo, que foram reclassificadas segundo as suas características físicas texturais (Tabela 4.5), de acordo com o seu devido grupo hidrológico de solos.

Acompanhando as descrições dos autores, os argissolos vermelhos e argissolos vermelho-amarelos, considerados bem drenados, foram reclassificados no Grupo Hidrológico B, enquanto os argissolos amarelos e bruno acinzentados, considerados mal drenados, foram reclassificados no Grupo Hidrológico C. Os planossolos, devido a apresentarem características de má drenagem e suscetibilidade a inundações, foram agrupados em sua maioria no Grupo Hidrológico D, variando para C quando de textura arenosa/argilosa. Os neossolos litólicos e regolíticos foram reclassificados no Grupo Hidrológico D devido à característica de contato lítico. Não se observaram solos com características do Grupo Hidrológico A.

Tabela 4.5 - Reclassificação dos tipos de solo segundo os grupos hidrológicos.

Tipo de solo	Grupo Hidrológico
Planossolo Háptico Eutrófico gleissólico textura média/argilosa A proeminente relevo plano	C
Argissolo Bruno-Acinzentado Alítico abrupto textura arenosa/média A moderado relevo suave ondulado e ondulado	C
Argissolo Vermelho Alítico típico textura média/argilosa A proeminente relevo suave ondulado	B
Argissolo Vermelho Ta Distrófico abrupto textura arenosa/média A proeminente	B

² A adaptação se deve ao fato da utilização de uma delimitação urbana distinta entre os mapas elaborados pelos autores e o banco de dados da pesquisa, e também na exclusão de algumas classes minoritárias que foram regionalizadas.

relevo suave ondulado	
Argissolo Bruno-Acinzentado Alítico típico textura média /argilosa A moderado relevo suave ondulado a ondulado	C
Argissolo Vermelho – Amarelo Ta Distrófico abruptico textura arenosa/argilosa A fraco relevo suave ondulado	B
Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário relevo forte ondulado a escarpado	D
Argissolo Vermelho Eutrófico espessarênico textura arenosa/argilosa A moderado relevo suave ondulado	B
Argissolo Amarelo Alítico típico textura média/argilosa A proeminente relevo suave ondulado	C
Planossolo Háptico Distrófico gleissólico textura arenosa/argilosa A proeminente relevo plano a suave ondulado	D
Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico típico típico textura arenosa/argilosa A moderado relevo suave ondulado	B
Argissolo Vermelho Alítico típico textura média/argilosa A proeminente relevo ondulado	B
Planossolo Háptico Distrófico gleissólico textura média A proeminente relevo plano	D
Neossolo Regolítico Eutrófico léptico textura média A chernozêmico relevo ondulado	D
Neossolo Litólico Eurófico fragmentário relevo plano e suave ondulado	D
Argissolo Amarelo Alítico abruptico textura arenosa/média A Crenozêmico Argilúvico Órtico saprolítico	C
Argissolo Amarelo Alítico abruptico textura arenosa/argilosa A moderado relevo suave ondulado	C
Argissolo Bruno-Acinzentado Alítico abruptico textura arenosa/média A moderado relevo ondulado a forte ondulado	C

A partir dessas constatações, foi possível gerar o mapa de grupos hidrológicos de solos da área urbana de Santa Maria (Figura 4.4), onde se observa a predominância dos Grupos Hidrológicos B e C alternando com algumas áreas de presença do Grupo Hidrológico D (Tabela 4.6).

Associando as condições geomorfológicas, analisa-se que na área norte do perímetro urbano de Santa Maria, de formação Serra Geral, os solos presentes foram reclassificados em sua maioria como Grupo Hidrológico D. Enquanto isso, na área de Depressão Central, a predominância é de Grupos Hidrológicos B e C.

MAPA DE GRUPOS HIDROLÓGICOS DE SOLOS DA ÁREA URBANA DE SANTA MARIA - RS

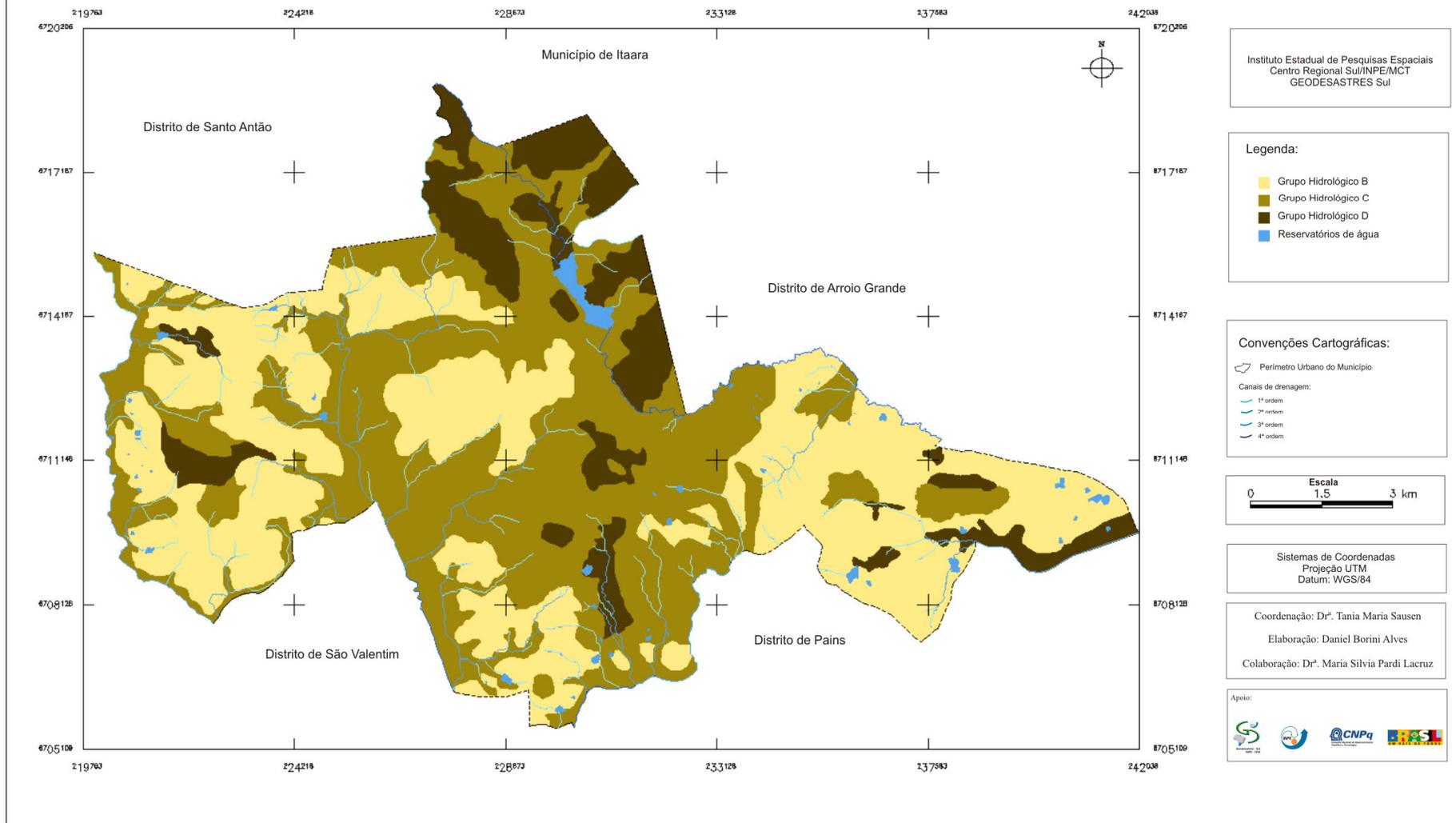


Figura 4.4 - Mapa de Grupos Hidrológicos de Solo.

Tabela 4.6 - Distribuição numérica das classes de Grupos Hidrológicos de Solos

Grupo Hidrológico de Solo	Área (ha)	Proporção (%)
B	5258,13	45,21
C	5853,61	40,62
D	1685,20	13,02
Água	149,40	1,15
Total	12946,34	100

4.4 O mapa de potencial de escoamento superficial

O mapa de potencial de escoamento superficial foi elaborado a partir do cruzamento das informações dos grupos hidrológicos e uso e cobertura da terra. Para cada cruzamento foi determinado um valor numérico, baseado no tabelamento *curve number* para bacias urbanas (Tabela 4.7).

Tabela 4.7 - Valores *curve number* para bacias urbanas, em condições de umidade II.

Tipo de uso e cobertura da terra e suas condições	Grupo Hidrológico			
	A	B	C	D
Floresta de cobertura boa	25	55	70	77
Vegetação rasteira (campos) em boas condições	30	58	71	78
Áreas predominantemente residenciais (tamanho médio dos lotes)				
<500m ²	77	85	90	92
1000m ²	61	75	83	87
2000m ²	54	70	80	85
Áreas de comércio, serviços e instituições	89	92	94	95
Áreas industriais	81	88	91	93
Espaços abertos: parques, praças, cemitérios e campos de futebol:				
Em boas condições (relva em mais de 75% da área)	39	61	74	80
Em condições médias (relva em 50 a 75% da área)	49	69	79	84
Arruamentos e áreas asfaltadas	98	98	98	98

Fonte: Adaptado a partir de Wilken (1978), Tucci (1997), Risso et al.(2008).

Considerando que os solos da área urbana de Santa Maria foram reclassificados entre os grupos hidrológicos B, C e D, o limite inferior de *CN* encontrado nos cruzamentos refere-se o de áreas de floresta de cobertura boa em grupo hidrológico B (valor 55), enquanto que o limite superior encontrado refere-se ao cruzamento da classe de arruamentos asfaltados com ambos os grupos hidrológicos (valor 98). Para o limite

inferior apresentado se desconsidera as superfícies de presença de água, pois esta classe foi conservada no cruzamento dos mapas para melhor visualização do escoamento superficial.

O cruzamento dos mapas de uso e cobertura da terra (*HRC-CBERS 2B*) e de grupos hidrológicos de solos, com os valores acima apontados, possibilitou a elaboração do mapa de potencial de escoamento superficial da área urbana de Santa Maria (Figura 4.5).

A partir da distinção numérica do parâmetro *curve number* para as diferentes superfícies, estas foram classificadas de acordo com os seguintes intervalos: <59; 60 – 66; 67 – 73; 74 – 80; 81 – 87; 88 – 94; >95. A distribuição numérica nas classes (Tabela 4.8) destaca a classes inferiores a 80, com uma proporção superior a 80% em relação à área total do perímetro urbano de Santa Maria.

Tabela 4.8 - Medida de classes do mapa de potencial de escoamento superficial.

Classes	Área (ha)	Proporção (%)
<59	3368,83	26,02
60 – 66	38,33	0,30
67 – 73	4349,51	33,60
74 – 80	2649,08	20,46
81 – 87	1277,48	9,87
88 – 94	971,50	7,50
>95	142,08	1,10
Água	149,53	1,16
Total	12946,34	100

As áreas com *curve number* superior a 88, que indicam um alto grau de escoamento superficial, somam aproximadamente 1260 hectares, que representam quase dez por cento da área total urbana do município. Estas áreas estão localizadas principalmente no centro urbano e em áreas residenciais a centro-oeste do perímetro urbano.

MAPA DE POTENCIAL DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL DA ÁREA URBANA DE SANTA MARIA - RS

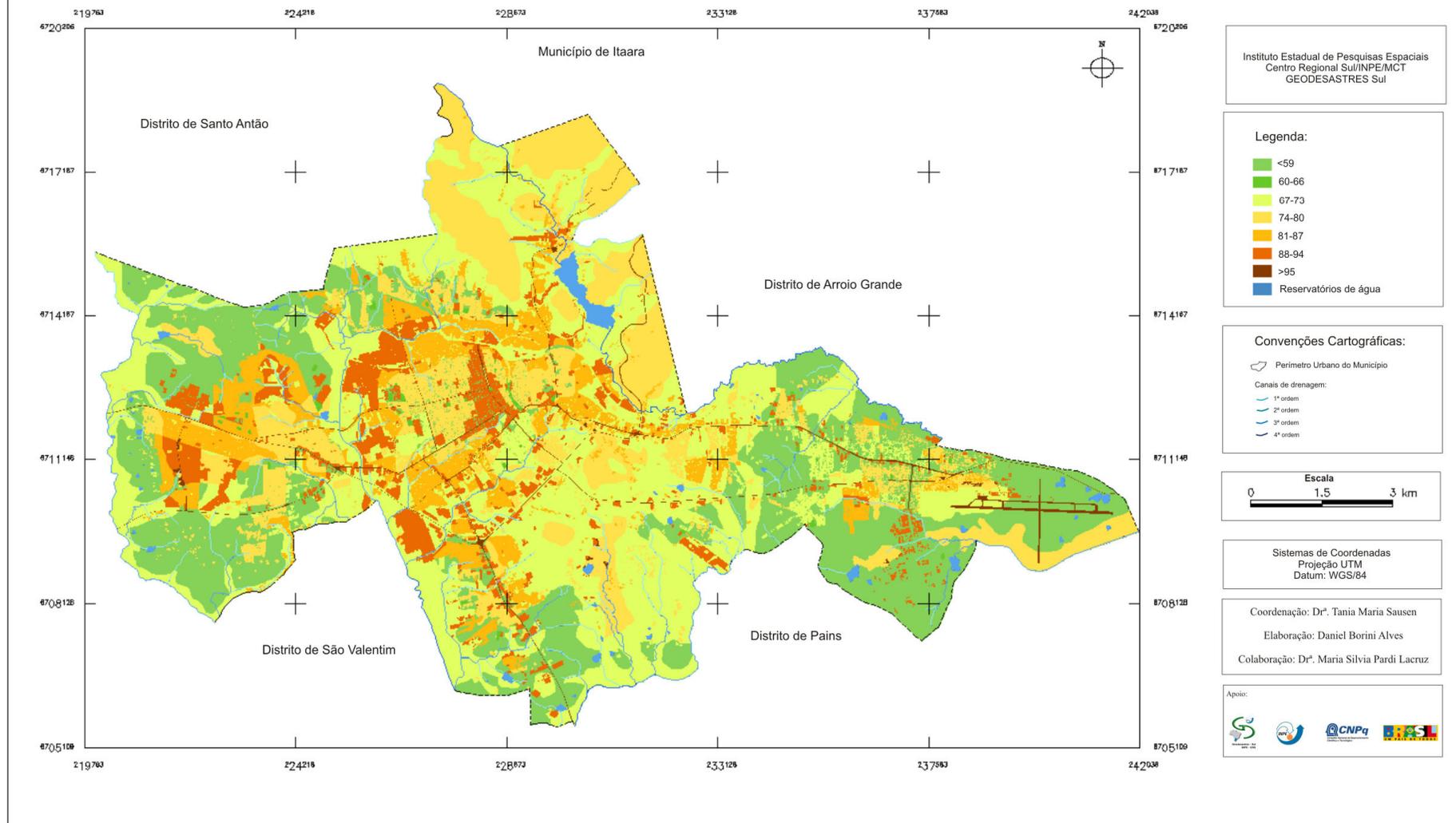


Figura 4.5 - Mapa de potencial de escoamento superficial da área urbana de Santa Maria.

4.5 Identificação das áreas potenciais a alagamentos

A identificação das áreas mais potenciais a alagamentos foi realizada a partir do cruzamento das informações potencial de escoamento superficial junto às características de declive.

Os declives foram extraídos a partir da imagem SRTM, gerando o mapa de declividade da área urbana de Santa Maria (Figura 4.6) sendo dividida de acordo com De Biasi (1992): <5%; 5 – 12%; 12 – 30%; 30 – 47%; >47%. As medidas de classes (Tabela 4.9) retratam a predominância de áreas de baixo declive. Na área norte do mapa, região de morros, encontram-se as declividade mais acentuadas do município.

Tabela 4.9 - Distribuição numérica das classes de Grupos Hidrológicos de Solos

Classes	Área (ha)	Proporção (%)
<5 %	6483,68	50,08
5-12 %	4350,13	33,60
12-30 %	1471,07	13,36
30-47 %	432,82	3,34
>47 %	208,59	1,16
Total	12946,34	100

O cruzamento foi realizado a partir do seguinte parâmetro: áreas com *curve number* alto (maior que 88 na condição II de umidade anterior) em área de declividade menor que doze por cento, foram consideradas potenciais a alagamentos.

Desta forma, o mapa de áreas potenciais a alagamentos (Figura 4.7), apresenta as superfícies de alto índice de escoamento superficial e baixa declividade, onde a retenção de água é maior. Sendo assim, se determinam algumas áreas de maior probabilidade de ocorrência de alagamentos, apontando a área central e algumas áreas residenciais a centro-oeste e oeste do município como tendência a terem problemas quando ocorrem períodos chuvosos. Essas áreas totalizaram cerca de 1040 hectares.

MAPA DE DECLIVIDADE DA ÁREA URBANA DE SANTA MARIA - RS

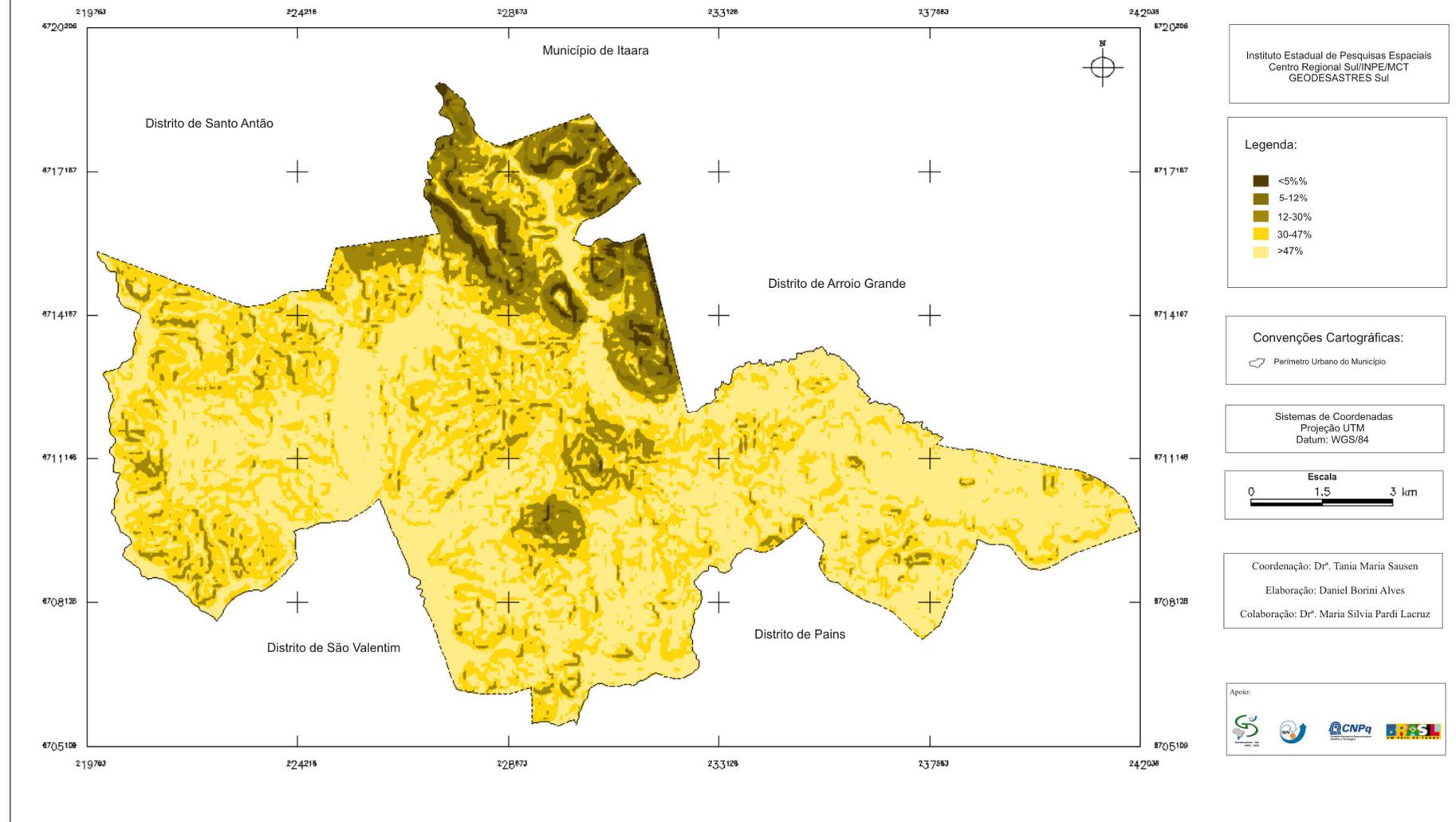


Figura 4.6 Mapa de declividade da área urbana de Santa Maria

MAPA DAS ÁREAS POTENCIAIS A ALAGAMENTOS NA ÁREA URBANA DE SANTA MARIA - RS

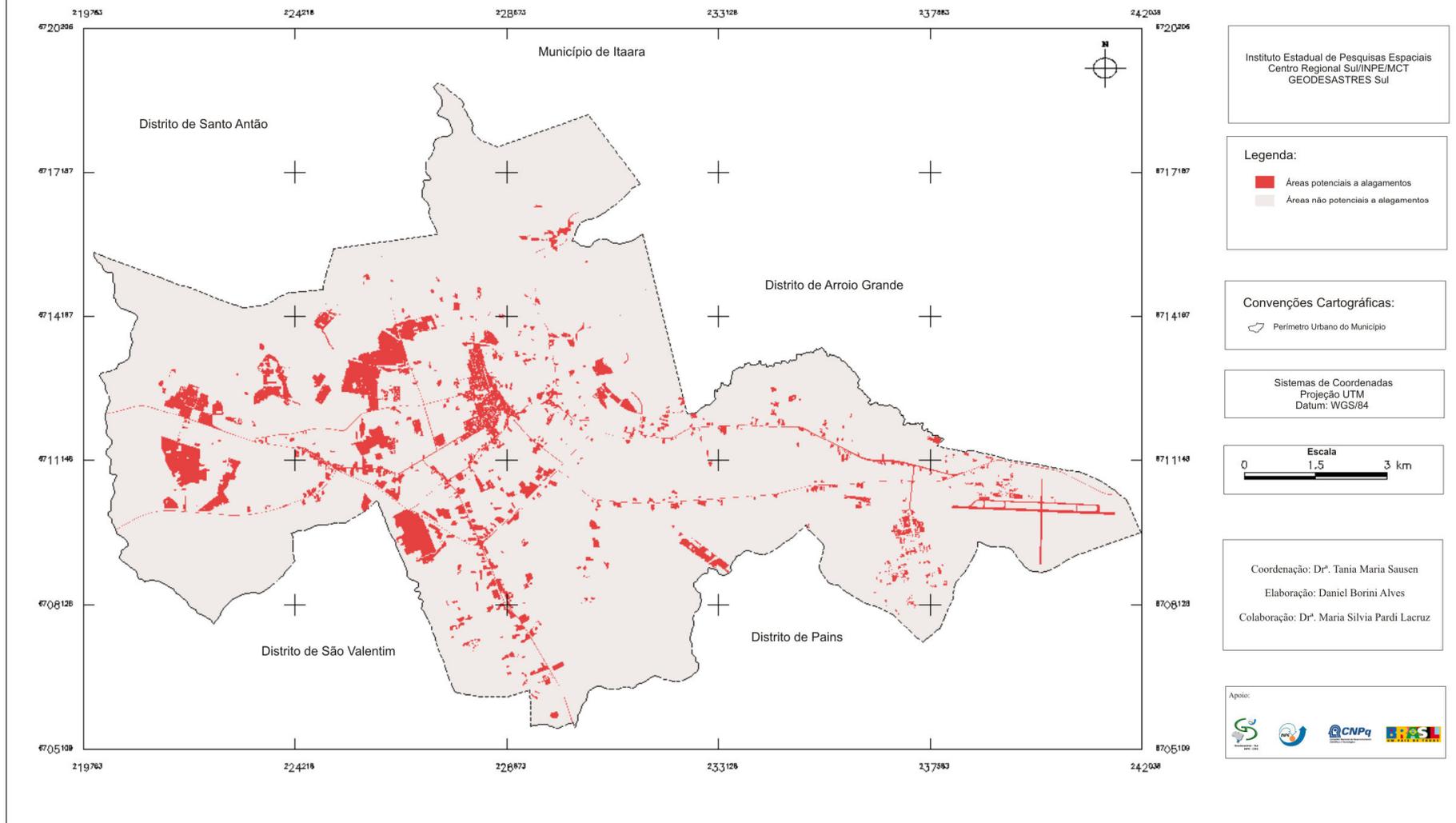


Figura 4.7 Mapa das áreas potenciais a alagamentos na área urbana de Santa Maria

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos com o desenvolvimento desta pesquisa, é possível afirmar que o modelo hidrológico de precipitação vazão *curve number* demonstra-se como uma boa estratégia metodológica para a identificação das características de escoamento superficial para ambientes urbanos. Ao propor a análise do uso e cobertura da terra, juntamente com as características de solo, este modelo permite a produção de informações sobre o escoamento superficial, sendo estas capazes de suprir a carência de dados hidrológicos existente em grande parte dos municípios brasileiros.

Destaca-se ainda que a utilização de técnicas de geoprocessamento na aplicação do modelo demonstrou-se muito eficiente, por permitir a produção de informações espacializadas sob uma base geográfica. Esse procedimento possibilita a identificação e comparação das características de escoamento superficial para diferentes superfícies.

Desta forma, acredita-se que o mapa de potencial de escoamento superficial seja um bom instrumento para a análise do escoamento superficial da área urbana de Santa Maria, e um importante referencial na identificação de áreas potenciais a alagamentos de acordo com as condições pluviométricas que se apresentam.

Aponta-se que as maiores dificuldades encontradas estiveram na elaboração do mapa de uso e cobertura da terra de escala detalhada, sendo que a complexidade e heterogeneidade de características apresentadas em áreas urbanas exigem muita dedicação e atenção na digitalização dos diferentes planos de informações.

Quanto à utilização do o *software* SPRING 5.1.5, não se pode deixar de comentar que, mesmo permitindo a obtenção dos resultados, este apresentou muitas falhas, principalmente quando o banco de dados se tornou volumoso e este fechava constantemente durante a digitalização vetorial. Esta versão também impossibilitou a exportação dos mapas gerados em formato de vetor, ocasionando a perda de qualidade de resolução das imagens geradas. Enquanto não houver reparos para esta versão,

recomenda-se a utilização de versões anteriores do mesmo *software*, que se demonstram mais estáveis para a realização das atividades e permitem a geração de mapas em formato vetorial.

Indica-se aos pesquisadores interessados na aplicação do modelo, a certificação sobre a disponibilidade de referências cartográficas que contenham as características de tipos de solos da área a ser estudada, e de imagens de alta resolução que permitam a análise do uso e cobertura da terra. Convém ainda ressaltar que a obtenção de outros dados, como a localização de bocas de lobo e a distinção das diferentes direções de fluxos de água subterrânea, pode subsidiar a otimização da aplicação do modelo para identificação das áreas potenciais a alagamentos.

Os mapas elaborados nesta pesquisa serão apresentados e discutidos junto a representantes da Defesa Civil de Santa Maria, buscando a comparação das informações aqui geradas com as ocorrências de alagamentos no município, podendo auxiliar na indicação de novas áreas potenciais a ocorrência destes eventos. Acredita-se que os referenciais cartográficos aqui elaborados possam ainda ser de grande utilidade no processo de planejamento urbano do município.

O sucesso com a aplicação do modelo indica a intenção de continuidade dos trabalhos, onde se pretende analisar o comportamento do escoamento superficial em comparação com as alterações do uso e cobertura da terra em bacias hidrográficas, utilizando o caso da bacia do Vacacaí-Vacacaí Mirim, onde está localizada a área urbana do município de Santa Maria.

REFERÊNCIAS

CARDOSO NETO, A. **Sistemas Urbanos de Drenagem**. Florianópolis: Laboratório de Drenagem do Departamento de Engenharia Sanitária da Universidade Federal de Santa Catarina, 1998. 19 p. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/ProducaoAcademica/Antonio%20Cardoso%20Neto/Introducao_a_drenagem_urbana.pdf>. Acesso em: 19 de nov. 2009.

DALMOLIN, R. S. D.; PEDRON, F. A. Solos do município de Santa Maria. **Ciência&Ambiente**. Santa Maria, n. 38, jan.-jun. 2009.

DE BIASI, M. Carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. **Revista do Departamento de Geografia da USP**. São Paulo, n. 6, p. 45-60, 1992.

FREITAS, M. A. S.; PORTO, A. S. Considerações sobre um modelo determinístico de chuva-vazão aplicado a bacias do semi-árido nordestino. **Revista Tecnologia**. p. 45-49. Out. 1990.

HELDWEIN, A. B.; BURIOL, G. A.; STRECK, N. A. O clima de Santa Maria. **Ciência&Ambiente**. Santa Maria, n. 38, jan.-jun. 2009.

PEDRON, F. A.; DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A. C.; BOTELHO, M. R.; MENEZES, F. P.. Levantamento e classificação de solos em áreas urbanas: importância, limitações e aplicações. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.13, n.2. p. 147-151, abr-jun, 2007.

PICKBRENNER, K.; PEDROLLO, M. C.; RISSO, A. Determinação do CN utilizando geoprocessamento: simulação hidrológica na Bacia do rio Criciúma. **Anais... XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. João Pessoa, 2005.

RENNO, C. D.; NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; SOARES, J. V.; HODNETT, M. G.; TOMASELLA, J.; WATERLOO, M. J. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 9, set. 2008, p.3469-3481. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V6V-4ST4CFW-1/2/14154d0d06e4b9587ba7e85ec8dcb106>>. Acesso em: 4 de jan. 2010.

RISSO, A.; GONÇALVES, L. S.; SILVA, F. C. **El cálculo del escurrimiento superficial en áreas urbanas utilizando geoprocessamiento**. In: I Escuela de primavera sobre soluciones espaciales para el manejo de desastres naturales y respuestas de emergencias-inundaciones. 2008.

RUHOFF, A. L. Modelagem dinâmica de escoamento superficial na Bacia do Arroio Grande, RS. **Anais... XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis, 21-26 abril de 2007, INPE.

SARTORI, P. L. P. Geologia e Geomorfologia de Santa Maria. **Ciência&Ambiente**. Santa Maria, n. 38, jan.-jun. 2009.

SCS – Soil Conservation Service. **National Engineering Handbook**, USDA, 1972.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transaction American Geophysical Union**. n.38, p. 913-920, 1957.

TASSI, R.; ALLASIA, D. G.; MELLER, A.; MIRANDA, T. C.; HOLZ, J.; SILVEIRA, A. L. L. Determinação do parâmetro curve number para sub-bacias urbanas do arroio Dilúvio – Porto Alegre/RS. **Anais...** I Simpósio de Recursos Hídricos Sul Sudeste. Curitiba, 27-29 de agosto de 2006.

TIBÚRCIO, E. C.; CASTRO, M. A. H. Uso de sistemas de informação geográfica para a determinação do curve number em regiões hidrológicas. **Anais...** I Simpósio de Recursos Hídricos Norte Centro-Oeste. Cuiabá, 27-29 de junho de 2007.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1997.

_____. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2000.

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