

## ANÁLISE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO VACACAÍ-VACACAÍ MIRIM

*Runoff Analysis on the Vacacaí-Vacacaí Mirim River Basin*

**Gustavo Rodrigues Toniolo<sup>1</sup>; María Silvia Pardi Lacruz<sup>2</sup> ;  
Tania Maria Sausen<sup>3</sup>**

**<sup>1</sup> Universidade Federal de Santa Maria – UFSM**  
**Centro de Ciências Naturais e Exatas - Departamento de Geociências**  
Av. Roraima 1000, 97105-900, Santa Maria – RS, Brasil  
gustavotoniolo1@gmail.com

**<sup>2</sup> Centro Regional de Educação em Ciência e Tecnologia Espacial para a América Latina e o  
Caribe – CRECTEALC**  
**Campus Brasil**  
Caixa Postal 5021, 97.105-970, Santa Maria – RS, Brasil  
lacruz@dsr.inpe.br

**<sup>3</sup> Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/INPE**  
**GEODESASTRES-SUL**  
Caixa Postal 5021, 97.105-970, Santa Maria – RS, Brasil  
tania@dsr.inpe.br

### RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar as alterações do escoamento superficial na bacia hidrográfica do Vacacaí-Vacacaí Mirim, considerando as mudanças de uso e cobertura da terra para os anos de 1990 e 2009. Esta bacia está localizada no Centro Ocidente do estado do Rio Grande do Sul, tem uma área de 11.195 km<sup>2</sup> e os municípios que a compõem têm sua renda provinda principalmente da atividade agropecuária. Utilizando técnicas de geoprocessamento, se aplicou o modelo *Curve Number (CN)* desenvolvido pelo *Soil Conservation Service (SCS)*, com o intuito de analisar as alterações do escoamento superficial na bacia hidrográfica, em função das mudanças de uso e cobertura da terra para os anos de 1990 e 2009. O trabalho busca uma modelagem do escoamento superficial em uma bacia predominantemente rural e carente de dados hidrológicos, contribuindo assim para o auxílio ao planejamento e gerenciamento desta. Inicialmente, se realizou a caracterização física da bacia, buscando identificar e estudar as peculiaridades referentes à litologia e uso e cobertura, que serviram de subsídio para a elaboração dos mapas de uso e cobertura da terra e do potencial de escoamento superficial. Para a obtenção do mapa de grupos hidrológicos de solos se utilizou um mapa de tipos de solos já existente, e posteriormente cada tipo de solo foi reclassificado de acordo com suas características hidrológicas. Os mapas de uso e cobertura resultaram da segmentação, utilizando um algoritmo de crescimento de regiões, e posterior classificação por regiões baseada na distância de Bhattacharya, das imagens *TM/Landsat 5* correspondentes à área em estudo para cada ano analisado. A partir da integração dos mapas de uso e cobertura do solo para os anos de 1990 e 2009

e do mapa de grupos hidrológicos se obteve o mapa de potencial de escoamento superficial ou *Curve Number* para cada ano considerado. O processamento das imagens e a integração das informações se realizaram utilizando o *software* SPRING. A metodologia proposta mostrou-se eficiente possibilitando a análise do escoamento superficial da bacia para cada ano analisado.

**Palavras chaves:** Escoamento Superficial, Geoprocessamento, *Curve Number*.

## ABSTRACT

This study aims to analyze the changes of the runoff at the Vacacaí-Vacacaí Mirim river basin, based on the land use/land cover changes for 1990 and 2009. This river basin is located in the Western Center of Rio Grande do Sul state in Brazil. It was applied the Curve Number (CN) model developed by Soil Conservation Service (SCS), using geoprocessing techniques. This model is based on the analysis of the physical characteristics of the basin, such as surface coverage type and the hydrological groups according to the soil types. This study seeks to model the surface runoff in a rural basin and with lack of hydrological data in order to support the planning and management of the study area. The methodological procedure consisted in the physical characterization of the Vacacaí-Vacacaí Mirim river basin, to identify and study its different characteristics related to lithology and land use/land cover, as a subsidy to the surface runoff maps in both two analyzed years. After obtaining the TM/Landsat 5 images, it was structured a geographical database, using the SPRING software. The images were registered, segmented using an algorithm of regions growing and classified using a supervised method based on regions and the Bhattacharya distance. These procedures permitted identify, discriminate and map the land use/land cover classes in the study area for the two years in analysis. To get the soil hydrologic groups map it was used an existing soil map, and later each soil type was reclassified, according to its hydrological characteristics. From the integration of land use and land cover map, for each analyzed year, and the hydrological group map, it was possible to get a map for 1990 and other one for 2009, where every possible combination results in a value that correspond to its potential runoff or Curve Number. Crossing these information, using the Legal language in SPRING software, it was possible to identify the runoff characteristic for the two analyzed years. The proposed methodology was efficient and allowed the analysis of the runoff in the Vacacaí-Vacacaí Mirim river basin for each analyzed year.

**Keywords:** Runoff, Geoprocessing, Curve Number.

## 1. INTRODUÇÃO

Alterações no uso e cobertura da terra têm resultado em severas mudanças nas características do escoamento superficial tanto em áreas urbanas como rurais. Em áreas rurais, as atividades agropecuárias mostram-se como grandes responsáveis pela retirada da cobertura vegetal e pela geração dessas mudanças, em virtude de sua rápida expansão e tamanho das áreas que ocupa.

Segundo Martins (1976) o escoamento superficial compreende uma parte do ciclo hidrológico que trata do deslocamento das águas, proveniente de eventos de precipitação pluviométrica, na superfície da terra. Podendo ser descrito como um ciclo, tem origem nas chuvas, que ao atingir à superfície da bacia hidrográfica, passa por uma fase de interceptação (pela vegetação e obstáculos na superfície), infiltração e o escoamento superficial propriamente dito.

Nesta trajetória é influenciado por diversos fatores, que podem ser de natureza climática ou de natureza fisiográfica. Os primeiros estão ligados à

intensidade e à duração da precipitação, e à possibilidade de ter ocorrido chuva dias antes a um novo evento (pois com um já úmido a precipitação terá maior facilidade de escoamento). Já dentre os fatores fisiográficos, destacam-se a área da bacia, assim como sua forma, permeabilidade, capacidade de infiltração e topografia (Figura 1). À permeabilidade estão ligados os tipos de rochas e solos, e como mencionado anteriormente, a existência de cobertura vegetal, cultivada ou natural (VILLELA & MATTOS, 1975).

Martins (1976) destaca ainda a cobertura vegetal como um importante fator interventor, ou seja, que age como interceptadora de parcela da água escoada. Sendo assim, sem essa proteção o solo fica mais vulnerável à compactação (impermeabilização) e conseqüentemente ao aumento da taxa de escoamento superficial.

Diante da realidade apresentada, alguns modelos hidrológicos de precipitação-vazão têm sido desenvolvidos para simular e analisar o escoamento superficial e prever os impactos das

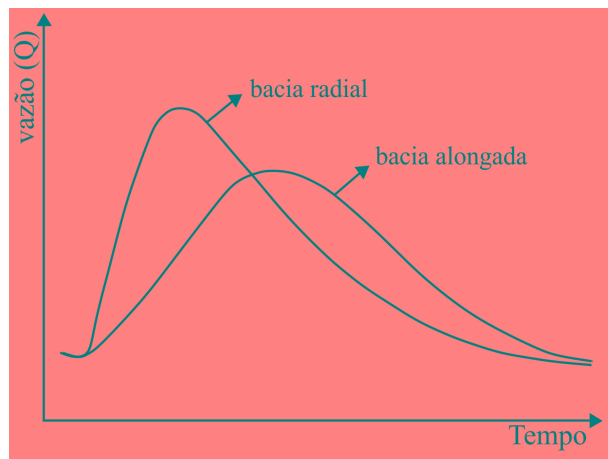


Fig. 1- Influência da forma da bacia no comportamento do hidrograma. Fonte: adaptado de Tucci (1993).

modificações do uso e cobertura da terra. Entre estes modelos destaca-se o desenvolvido pelo *Soil Conservation Service* (SCS), atualmente Serviço de Conservação de Recursos Naturais (NRCS), que permite a partir do parâmetro *Curve Number* (CN), identificar as características referentes ao potencial de escoamento superficial nas diferentes superfícies (SCS, 1972).

Sendo um método muito conhecido e divulgado, devido a sua simplicidade e confiabilidade, se tornou globalmente conhecido na comunidade acadêmica, possuindo inúmeras aplicações. Segundo Genovez (1991) no Brasil o método já está entre os cinco mais usados em projetos hidrológicos para bacias hidrográficas sem dados de chuva-vazão. Um exemplo de sua aplicação está em estudos de susceptibilidade à erosão do solo em bacia hidrografia (BARRETO NETO, 2004) e com finalidade de planejamento de áreas urbanas (ALVES et al., 2011).

Tendo em vista os resultados satisfatórios trazidos pelo trabalho de Alves et al. (2011), que realizaram a modelagem do escoamento superficial na área urbana de Santa Maria – RS, este trabalho tem o intuito de se ampliar a escala e trabalhar com uma bacia hidrográfica, onde as condições de uso e cobertura da terra são de caráter predominantemente rural.

O objetivo geral desta pesquisa é analisar as alterações do escoamento superficial na bacia hidrográfica do Vacacaí-Vacacaí Mirim, de acordo com as mudanças de uso e cobertura da terra para os anos de 1990 e 2009. Para isso, utilizando técnicas de sensoriamento remoto e geoproc-

samento, aplicou-se o modelo hidrológico *Curve Number*.

Os objetivos específicos são:

- Identificar as características físicas da paisagem da bacia hidrográfica do Vacacaí-Vacacaí Mirim;
- Elaborar mapas de uso e cobertura da terra para os dois anos em estudo;
- Elaborar mapas de potencial de escoamento superficial para cada ano considerado;
- Analisar as alterações no escoamento superficial de acordo com as mudanças do uso e cobertura da terra.

## 2. ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do Vacacaí-Vacacaí Mirim situa-se na porção Centro Ocidente do estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas 29° 26' 20" e 30° 48' 40" de latitude Sul, 53° 0' 30" e 54° 36' 40" de longitude Oeste, e possui uma área de 11.195 km<sup>2</sup>. Abrange as regiões fisiográficas da Depressão Central e Campanha (Figura 2).

A área de estudo corresponde a parte de 14 municípios: Julio de Castilhos, Itaara, Silveira Martins, São João do Polêsine, Santa Maria, Restinga Seca, Dilermando de Aguiar, Formigueiro, São Sepé, Cachoeira do Sul, São Gabriel, Vila Nova do Sul, Caçapava do Sul e Santa Margarida do Sul.

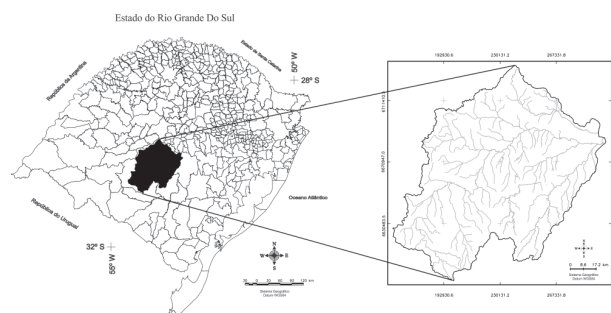


Fig. 2 - Mapa de localização da área de estudo

Esses municípios têm sua renda provinda principalmente da atividade agropecuária. Na região que compõe a Campanha há predominância do latifúndio, e onde os solos são mais frágeis necessitando maior área para produção. Entra nesse contexto São Gabriel, município que juntamente com Cachoeira do Sul, Rosário do Sul e São Sepé são os maiores produtores de arroz da área da bacia. Já na parte oeste, onde há presença de campos,

destaca-se um numeroso rebanho de bovinos e ovinos (Secretaria de Planejamento, Gestão e Participação Cidadã do Rio Grande do Sul, 2011).

A bacia hidrográfica do Vacacaí-Vacacaí Mirim é composta pelos Rios Vacacaí, Vacacaí Mirim, dos Corvos, São Sepé e os Arroios Arenal e Acangupa. A vegetação característica dessa bacia é composta por savana, estepe, floresta estacional decidual, submontana ao norte e aluvial nas planícies dos rios, e áreas de tensão ecológica, sendo que, na margem sul, Campanha, há ocorrência de estepe ou formações campestres, ao norte do Rio Jacuí são mais encontradas as espécies do tipo florestal (FORTES, 1956).

O clima é subtropical úmido, constituído por invernos com temperaturas bastante rigorosas, com a ocorrência de geadas, com mínima absoluta que pode chegar a 0°C, e verões quentes, com temperaturas superiores a 30°C. Segundo o sistema de classificação de Köppen o clima é subtropical Cfa, ou seja, com estações bem definidas e precipitação média anual superior a 1.600 mm, ocorrendo todos os meses do ano.

Quanto à geomorfologia, na depressão central o relevo é suave ondulado a ondulado com altitudes que variam aproximadamente de 40 a 200 metros, ultrapassando 300 metros no rebordo do planalto, ao norte da bacia. Há ainda a ocorrência de planícies aluviais e coxilhas sedimentares. Na porção que compreende a Campanha do estado, as altitudes médias são de 100 metros com o predomínio de campos em coxilhas de baixo declives na região de São Gabriel (REINERT et al., 2007).

A área compreendida pela bacia do Vacacaí-Vacacaí Mirim agrega os mais diversos tipos de solos. Na porção do Rio Vacacaí que vai de São Gabriel até Santa Maria são encontrados solos hidromórficos (planossolos háplicos) de terras baixas, localizados em áreas de latifúndios próximas às várzeas, onde, eventualmente, são usados com a cultura do arroz irrigado (EMBRAPA, 2005).

### 3. MATERIAIS E MÉTODO

O escoamento superficial é uma das parcelas do ciclo hidrológico mais importante, sendo utilizado como indicativo da adequabilidade do sistema de manejo de uma bacia hidrográfica. Ele ocorre após o início de um evento de chuva, e se efetiva quando a camada superior do solo, a vegetação e as depressões não têm mais capacidade de interceptar

a água da chuva, resultando o seu escoamento até uma calha definida. Sendo assim, o escoamento refletirá as características da precipitação e principalmente de sua intensidade (TUCCI, 1993).

Ao se analisar o escoamento superficial deve-se levar em conta os fatores que intervêm no mesmo. Tal como a permeabilidade do solo, que influencia diretamente na capacidade de infiltração, pois quanto mais permeável for o solo, mais rapidamente ele poderá absorver a água e, logo, maior a quantidade de água penetrará no solo por unidade de tempo, o que diminui o escoamento superficial. Em área agrícola outro fator que determina o potencial de escoamento de uma superfície, é o tipo de uso da terra. Sabendo que uma superfície protegida reterá maior quantidade de água do que uma descoberta (VILLELA & MATTOS, 1975).

O *Curve Number-CN* é um método empírico muito divulgado devido ao reduzido número de parâmetros e relação entre eles e as características físicas da bacia. Foi desenvolvido na década de 1950 e é muito utilizado em hidrologia para estimar o escoamento direto ou infiltração do excesso de precipitação. Este modelo pode servir de ajuda a programas de planejamento e gerenciamento de bacias que visam a conservação dos solos, projetos de obras hidráulicas e a prevenção de problemas em que a sociedade é alvo, como inundações (SCS, 1972; MACK, 1995; JOHNSON E MILLER, 1997; PULLAR E SPRINGER, 2000; TUCCI, 2000).

O *CN* irá corresponder às condições do uso e cobertura da terra e aos tipos de solos, variando desde uma cobertura muito impermeável (valor próximo a zero) até uma cobertura muito permeável (valor próximo a 100) (TUCCI, 2000).

Para a elaboração do mapa de uso e cobertura do solo foram utilizadas imagens do sensor *Thematic Mapper (TM)* do satélite *Landsat 5*, disponíveis no catálogo de imagens do INPE: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Para cobrir a área em estudo são necessárias três cenas deste sensor correspondendo às seguintes órbitas e pontos: 222/81, 223/80 e 223/81.

A seleção das imagens de cada ano em análise se realizou levando em consideração que as cenas correspondessem à mesma época e que apresentassem a menor cobertura de nuvens. Assim foram selecionadas imagens de 1990 e 2009 entre os meses de junho a agosto. O processamento das

imagens e integração dos dados foi realizado no software SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) versões 4.3.3 e 5.1.7.

O registro das imagens de cada ano em análise foi realizado utilizando como base as cenas *TM/Landsat* ortorretificadas disponíveis no endereço <<http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>>.

Após o registro de cada cena individual gerou-se o mosaico das três imagens de cada ano; estes foram segmentados utilizando um algoritmo de crescimento de regiões com limiares de similaridade e área de 10 e 20 respectivamente. Posteriormente, foi realizada a classificação utilizando um algoritmo de classificação supervisionado por regiões, baseado na distância Bhattacharya.

No processo de classificação foram reconhecidas na imagem de satélite nove classes de uso e cobertura da terra (campo e pastagem, floresta, mata ciliar, área agrícola, solo exposto, água, área urbana, areia e sombra). Apesar dos critérios para classificação terem sido adequados para geração de uma imagem digital classificada, houve a necessidade de correção de alguns erros de omissão de classes. Para tanto se utilizou a ferramenta de Edição Matricial do SPRING, que, por meio da interpretação visual buscou-se a otimização dos resultados. A classe de área urbana, da mesma maneira, somente foi considerada no processo de edição matricial, devido à confusão intensa desta com a classe de solo exposto no processo de classificação automática.

A partir do mapa dos solos do Rio Grande do Sul (Secretaria de Planejamento, Gestão e Participação Cidadã do Rio Grande do Sul, 2006) digitalizado e referências bibliográficas, os solos foram analisados e reagrupados, segundo suas características texturais, em grupos hidrológicos de solos, visando a elaboração do mapa de grupos hidrológicos de solos da bacia hidrográfica do Vacacaí-Vacacaí Mirim.

Por fim, para se obter o mapa de potencial de escoamento para os anos de 1990 e 2009, foi necessário realizar o cruzamento dos mapas de uso e ocupação e de grupos hidrológicos de solo. Tal procedimento foi realizado utilizando um programa em LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) do SPRING. O mapa de potencial de escoamento superficial representa os

valores de *Curve Number* de acordo com as características das diferentes superfícies de solos e uso e cobertura.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Análise do Uso e Cobertura da Terra

No processo de classificação de uso e cobertura da terra foram discriminadas nove classes, sendo elas: floresta, mata ciliar, campo/pastagem, área agrícola, solo exposto, área urbana, água, areia e sombra. Sendo que, a classe areia refere-se às coberturas arenosas em planícies aluviais do rio Vacacaí e a classe sombra às áreas de relevo acidentado com vertentes com orientação pouco iluminadas pelo sol durante a captura da imagem pelo sensor.

De acordo com os resultados obtidos se observa, para as duas datas, que a área da bacia é coberta em sua maioria por campos e pastagens, classe que recobre 47,10% da bacia em 1990 e 46,23% no ano de 2009. Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados os valores obtidos no processo de classificação para todas as nove classes para cada ano.

As áreas florestais representam, na bacia hidrográfica, um total de 2.474,35 km<sup>2</sup> e 2.248,02 km<sup>2</sup> em 1990 e 2009 respectivamente, sendo que foram divididas de acordo com suas características espectrais, em florestas e mata ciliar. Essa discriminação numa análise visual mostrou-se eficiente, apesar de espectralmente serem muito parecidas o que provocou uma confusão entre estas duas classes durante o processo de classificação.

TABELA 1 - MEDIDA DE CLASSES DA CLASSIFICAÇÃO DO MOSAICO DE IMAGENS DE 1990

Classe de Uso e Cobertura da Terra	Área	
	(km <sup>2</sup> )	(%)
Floresta	488,22	4,36
Mata Ciliar	1.986,13	17,74
Campo e Pastagem	5.272,40	47,10
Área Agrícola	1.469,95	13,13
Solo Exposto	1.573,08	14,05
Área Urbana	66,72	0,60
Água	224,48	2,01
Areia	2,71	0,02
Sombra	111,52	1,00
<b>Total</b>	<b>11.195,21</b>	<b>100,00</b>

TABELA 2 - MEDIDA DE CLASSES DA CLASSIFICAÇÃO DO MOSAICO DE IMAGENS DE 2009

Classe de Uso e Cobertura da Terra	Área	
	(km <sup>2</sup> )	(%)
Floresta	500,06	4,47
Mata Ciliar	1.747,96	15,61
Campo e Pastagem	5.176,16	46,23
Área Agrícola	1.273,65	11,38
Solo Exposto	2.164,01	19,33
Área Urbana	67,76	0,61
Água	177,63	1,59
Areia	3,00	0,03
Sombra	85,79	0,77
<b>Total</b>	<b>11.196,02</b>	<b>100,00</b>

Nos mapas de uso e cobertura da terra de 1990 e 2009 (Figuras 3 e 4) as áreas florestais se mantiveram preservadas, as quais estão distribuídas na porção norte e ao sudeste da bacia. Pode-se observar ainda que as mudanças relativas à expansão da cobertura florestal ao sul da bacia podem estar associadas ao abandono de áreas agrícolas e de pecuária no período.

Já as matas ciliares ao longo das planícies aluviais dos principais rios, apresentaram um pequeno decréscimo no período de 19 anos. Ao

mesmo tempo em que se observa um acréscimo e substituição das mesmas por solo exposto, relacionados principalmente a terrenos preparados para plantios e/ou ligados a práticas de manejo agrícola inadequadas. Deve-se levar ainda em consideração que os solos expostos substituíram as áreas agrícolas, visto que estas diminuíram como se observa no mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2009.

Quanto a classe referente às áreas urbanas observa-se nos mapas que as maiores representações desta se fazem nos municípios de Santa Maria, São Gabriel e São Sepé.

Existe também uma diminuição da classe água no período, ao todo 46,85 km<sup>2</sup>, podendo estar associado ao aumento da demanda de água para o cultivo de arroz irrigado e soja, que se expandiram principalmente em São Gabriel, e que coincidem com a época de menor disponibilidade de água na região.

#### 4.2. Mapa de Grupos Hidrológicos de Solo

A partir do mapa de solos do Rio Grande do Sul do IBGE digitalizado, georreferenciado e delimitado para a bacia do Vacacaí-Vacacaí Mirim, foi possível a reclassificação dos solos segundo os

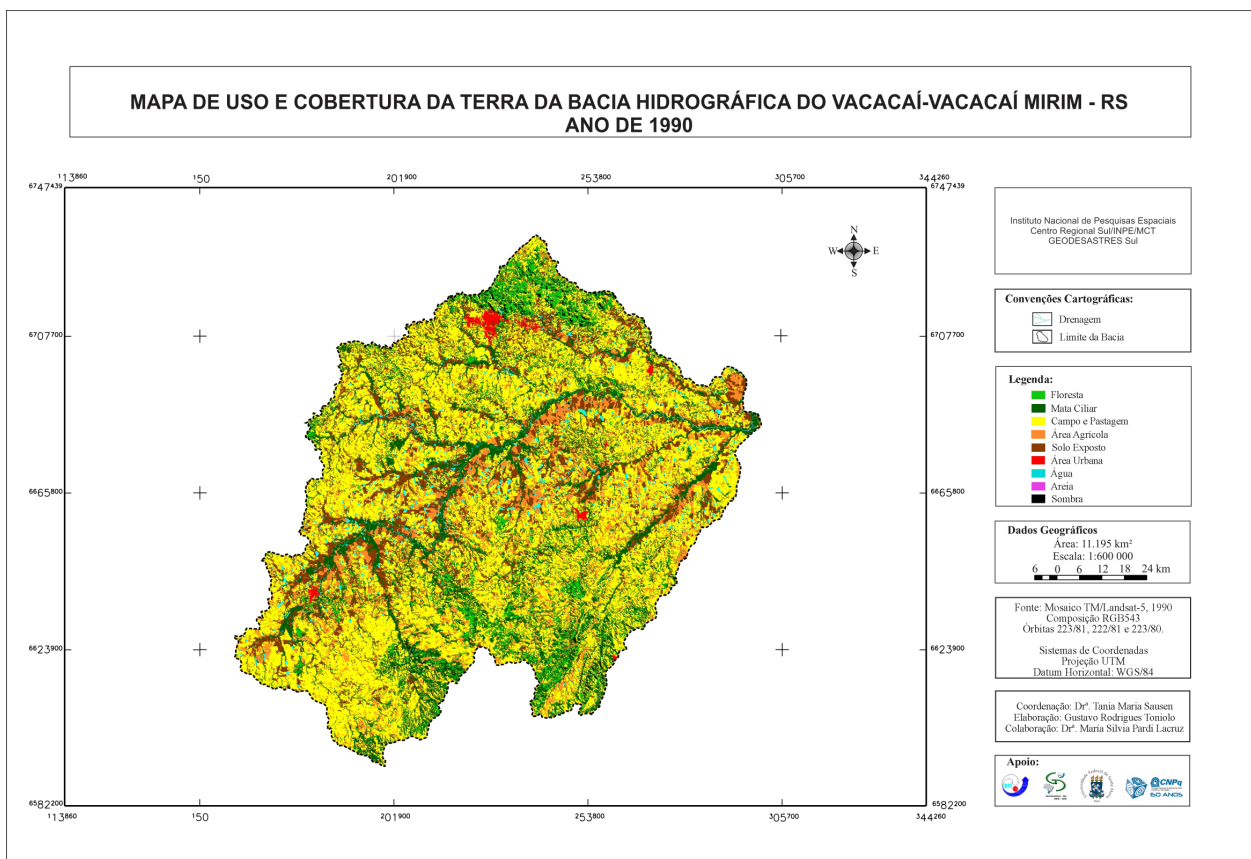


Fig. 3 - Mapa de uso e cobertura da terra de 1990.

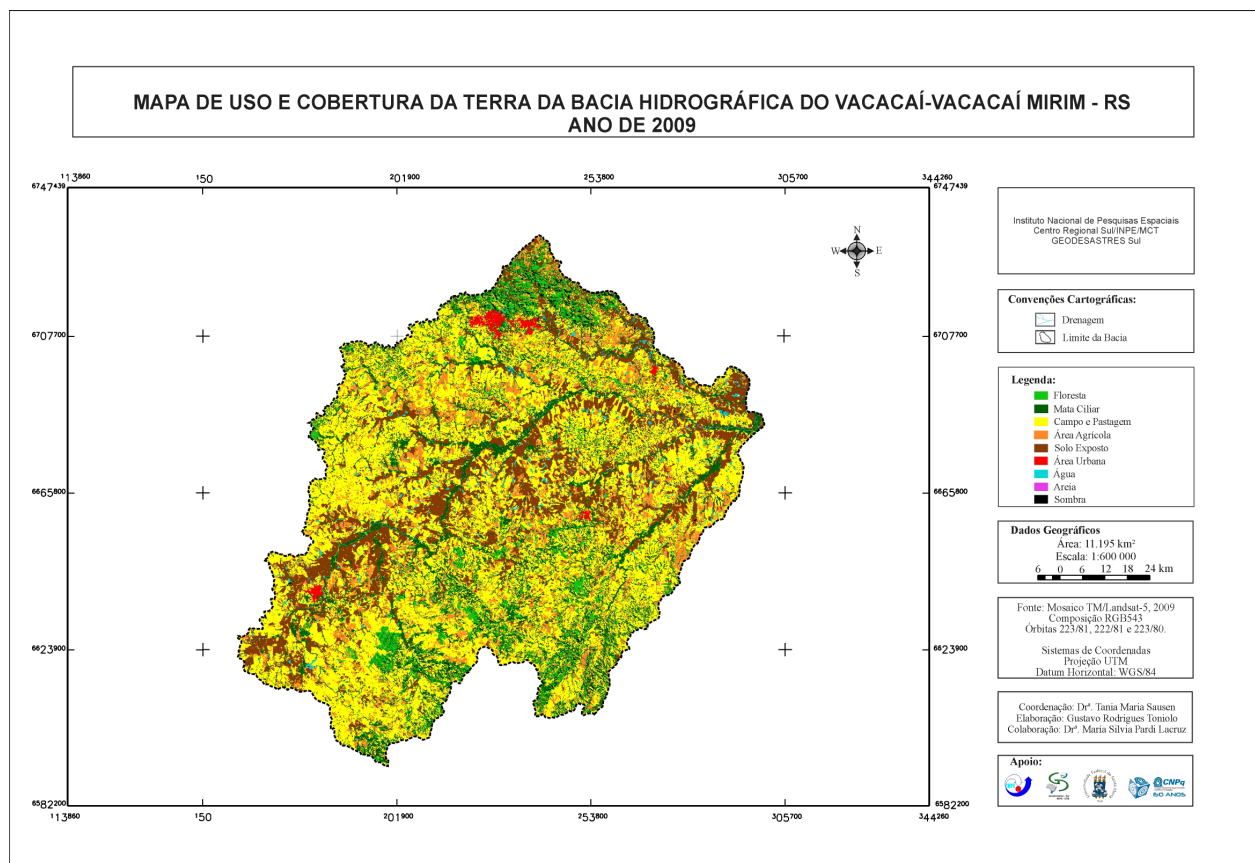


Fig. 4 - Mapa de uso e cobertura da terra de 2009.

Grupos Hidrológicos de Solos (GHS) distinguidos por Tucci (2000), onde são consideradas suas características físicas texturais. Sendo assim, os solos da bacia foram enquadrados em três grupos hidrológicos de solos: B, C e D; não foram constatados solos com características que se enquadrassem no grupo hidrológico A, que correspondem a solos com baixo potencial de escoamento superficial.

Para realizar a classificação consideraram-se as informações das características dos solos, obtidas na literatura. Dessa forma considerou-se que, no grupo hidrológico B, se enquadraram os solos com moderado a baixo potencial de escoamento superficial e permeabilidade superior à média. Dentre esses solos destacam-se os argissolos vermelhos e argissolos vermelho-amarelo, considerados solos com baixa atividade de argila e bem drenados. Na área de estudo esses solos podem ser encontrados de forma abundante, onde predominantemente são associados a campos e pastagens.

Ao grupo hidrológico C foram associados solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, como argissolos bruno-acinzentado e

chernossolos. Os chernossolos ebânicos conforme sua textura muito argilosa e caráter litólico foram associados ao grupo hidrológico D.

Os planossolos háplicos foram agregados ao grupo hidrológico D. Observa-se que os mesmos são encontrados em sua maioria nas margens dos rios e lagoas e sob floresta estacional decidual aluvial, onde se observou o cultivo de arroz irrigado. Juntamente foram agregados a este grupo os neossolos litólicos, solos mal drenados e de baixa fertilidade, encontrados na porção ondulada e fortemente ondulada de Caçapava do Sul. E por último, a esse grupo foram associados os luvisolos, solos contendo argilas expansivas 2:1.

A partir da reclassificação dos solos apresentados, gerou-se como produto final o mapa temático dos grupos hidrológicos de solos da bacia hidrográfica do Vacacaí-Vacacaí Mirim, ilustrado na Figura 5. Pode-se verificar a predominância do grupo hidrológico D na bacia, devido principalmente à abundância de solos mal drenados e de textura argilosa, como os planossolos e luvisolos, e de neossolos litólicos. Em menor escala se observam solos do tipo B e por último, solos do tipo C (Tabela 3).

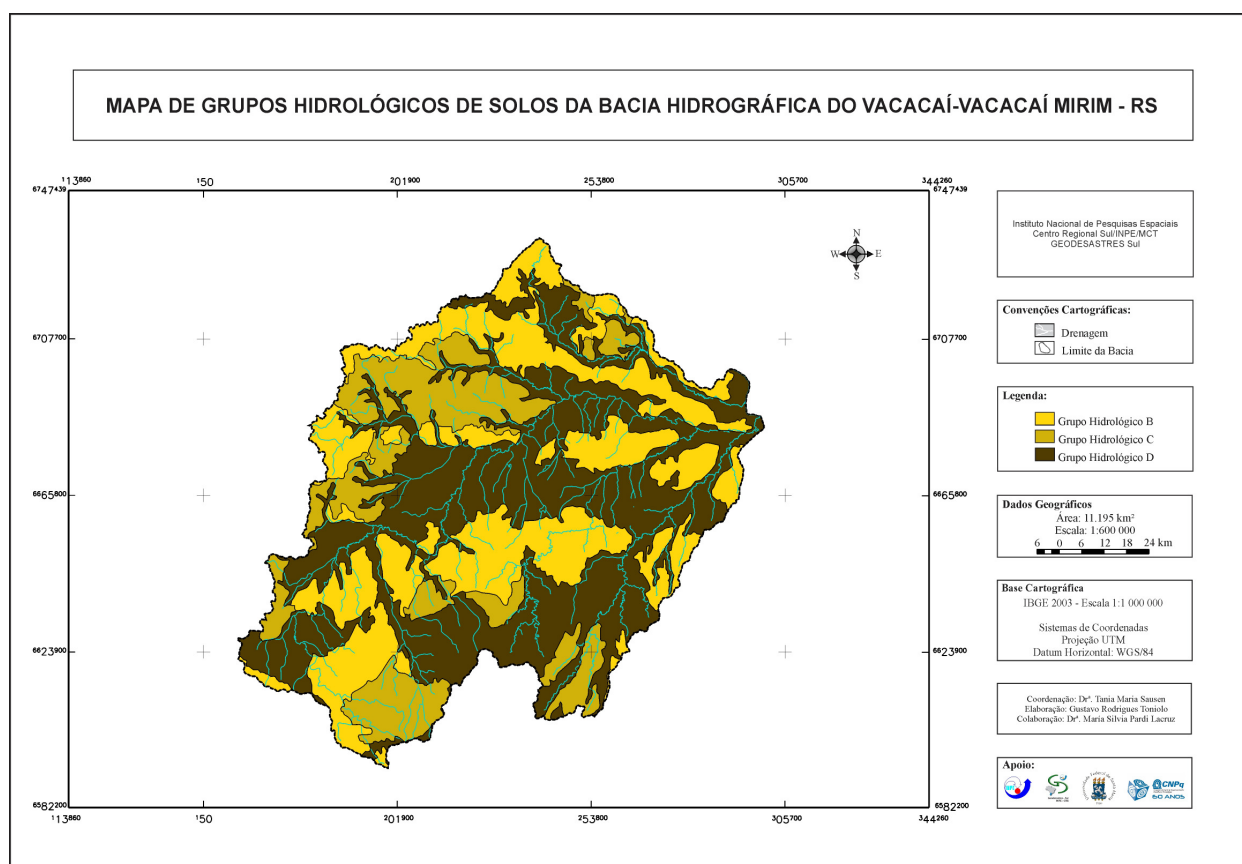


Fig. 5 - Mapa de Grupos Hidrológicos de Solos da Bacia Hidrográfica do Vacacaí-Vacacaí Mirim.

TABELA 3 - MEDIDA DAS CLASSES DE GRUPOS HIDROLÓGICOS DE SOLOS

Grupo Hidrológico de Solos	Área	
	(km <sup>2</sup> )	(%)
B	3.757,10	33,56
C	2.113,38	18,88
D	5.324,52	47,56
<b>Total</b>	<b>11.195,00</b>	<b>100,00</b>

#### 4.3. Análise do Escoamento Superficial

A partir da integração do mapa de grupos hidrológicos de solos com os mapas de uso e cobertura da terra de 1990 e 2009 se obteve o potencial de escoamento superficial para 1990 e 2009. Assim, de acordo com os dados tabelados, a classe de campos e pastagens em grupo hidrológico do tipo B representa o limite inferior, valor igual a 59, entretanto quando associada esta classe de uso e cobertura ao grupo hidrológico D esse valor sobe para 83 (Tabela 4).

Os valores de *Curve Number* mais elevados, independentemente do grupo hidrológico do solo, correspondem à classe solo exposto com *CN* igual a 80, 88 e 90 para os grupos hidrológicos B, C e D respectivamente. A classe floresta apresentou os

TABELA 4 - VALORES DE *CURVE NUMBER* RESULTANTES DA ASSOCIAÇÃO DAS CLASSES DE USO E COBERTURA DA TERRA E DE GRUPOS HIDROLÓGICOS DE SOLOS

Classe de Uso e Cobertura da Terra	Grupo Hidrológico de Solos		
	B	C	D
Floresta (condições normais)	60	70	76
Mata Ciliar (Floresta Estacional Aluvial)	68	78	84
Campo e Pastagem	59	75	83
Área Agrícola (Plantações Regulares)	76	84	88
Solo Exposto	80	88	90
Área Urbana	75	83	87

menores valores de *Curve Number* nos solos C e D, e no caso dos solos B o valor é muito próximo ao menor valor registrado. Em geral, os menores valores de *Curve Number* por grupo hidrológico de solos foram registrados no grupo B.

As variações nos usos e cobertura da terra e nos tipos de solos implicaram em diferentes índices de escoamento superficial. Dessa forma, a partir dos valores de *Curve Number* obtidos estabeleceram-se cinco classes: 59 - 65, 66 - 71, 72 - 78, 79 - 85 e 86 - 90 (Tabela 5).



A partir da análise da medida de classes, observa-se que as áreas com valores de *Curve Number* no intervalo de 79-85 são predominantes, representando quase 40% em relação à área total da bacia hidrográfica do Vacacaí-Vacacaí Mirim.

TABELA 5 - INTERVALO DE CLASSES DOS VALORES DE *CURVE NUMBER*

Intervalo de <i>Curve Number</i>	Grupo Hidrológico de Solo	Classe de Uso e Cobertura da Terra
[59 – 65]	B	Floresta
		Campo/Pastagem
[66 – 71]	B	Mata Ciliar
	C	Floresta
[72 – 78]	B	Área Agrícola
		Área Urbana
	C	Mata Ciliar
		Campo/Pastagem
D	Floresta	
[79 – 85]	B	Solo Exposto
	C	Área Agrícola
		Área Urbana
	D	Mata Ciliar
Campo/Pastagem		
[86 – 90]	C	Solo Exposto
		Área Agrícola
	D	Solo Exposto
		Área Urbana

A Tabela 6 mostra ainda que não houve grandes diferenças de áreas entre os dois anos analisados, sendo a classe 86-90 a que apresentou as maiores alterações quantitativas entre as duas datas. Os mapas de potencial de escoamento superficial para cada ano em análise (Figuras 6 e 7) mostram que também não houve grandes mudanças na distribuição espacial das classes de *Curve Number*. As alterações ocorrem principalmente no município de São Gabriel, que sofreu um acréscimo nas áreas agrícolas e de solos expostos no período de 19 anos.

A classe correspondente ao intervalo de *CN* de 86 a 90 está localizada nas áreas agrícolas e de solos expostos concentradas nas planícies aluviais, principalmente na região centro-norte da bacia hidrográfica. Sabe-se que somente os valores de *CN* acima de 50 geram escoamento superficial e que quanto maior esse número, maior será o escoamento resultante da chuva, portanto nota-se

que a maioria das áreas na bacia são potenciais de escoamento superficial.

TABELA 6 - MEDIDAS DE CLASSES DOS MAPAS DE POTENCIAL DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL PARA 1990 E 2009

Classes	1990		2009	
	Área		Área	
	(km <sup>2</sup> )	(%)	(km <sup>2</sup> )	(%)
[59-65]	2.179,10	19,47	2.052,99	18,34
[66-71]	636,5	5,68	635,6	5,67
[72-78]	1.684,88	15,05	1.684,07	15,04
[79-85]	4.320,96	38,59	4.283,60	38,27
[86-90]	2.035,62	18,18	2.272,05	20,29
Não classificado	338,14	3,03	266,88	2,38
<b>Total</b>	<b>11.195,20</b>	<b>100,00</b>	<b>11.195,19</b>	<b>100,00</b>

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método *Curve Number* aplicado neste trabalho foi desenvolvido com o intuito de se estimar o escoamento direto ou infiltração do excesso de precipitação principalmente para bacias não monitoradas e sem dados hidrológicos.

O propósito deste trabalho foi por meio da aplicação do modelo hidrológico de precipitação vazão *Curve Number*, analisar as alterações do escoamento superficial na bacia do Vacacaí-Vacacaí Mirim de acordo com as mudanças no uso e cobertura da terra para um período de 19 anos, compreendidos entre 1990 e 2009. Os resultados obtidos nessa pesquisa através da implementação de tal modelo e com o auxílio de técnicas de geoprocessamento demonstram o alcance satisfatório dos objetivos propostos.

Ressalta-se a importância do *software SPRING* para o desenvolvimento da pesquisa e na análise integrada das informações e elementos presentes na bacia em diferentes épocas, através da utilização de imagens de satélite e de um banco de dados de informações geográficas georreferenciadas.

A análise comparativa dos mapas temáticos elaborados nesta pesquisa: mapas de uso e cobertura da terra, mapa de grupos hidrológicos de solos e, a partir do cruzamento das informações de ambos, tornaram-se possível identificar e quantificar as áreas potenciais geradoras de escoamento superficial, e dessa forma, apontar as alterações no comportamento do escoamento superficial.

A importância desse estudo está na sistematização e análise das informações geográficas da

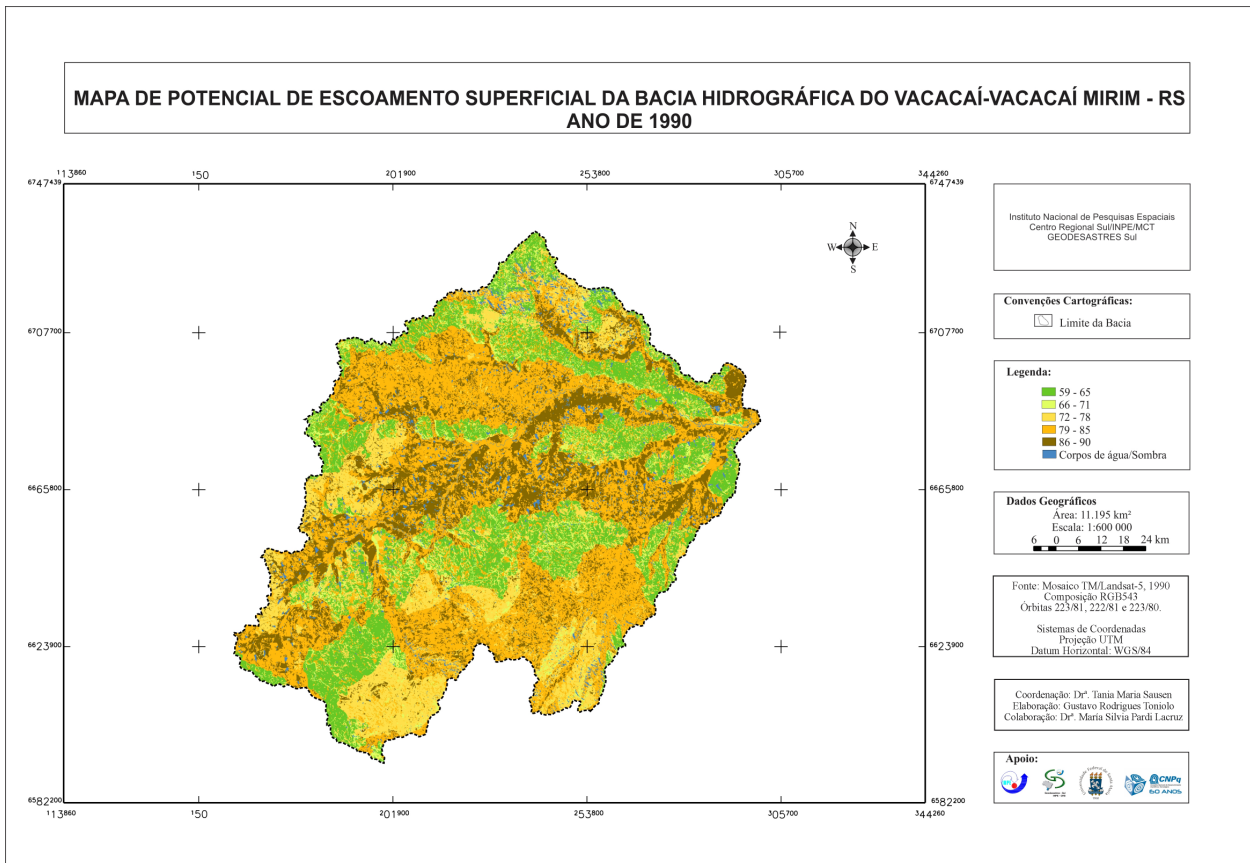


Fig. 6 - Mapa de Potencial de Escoamento Superficial - Ano de 1990.

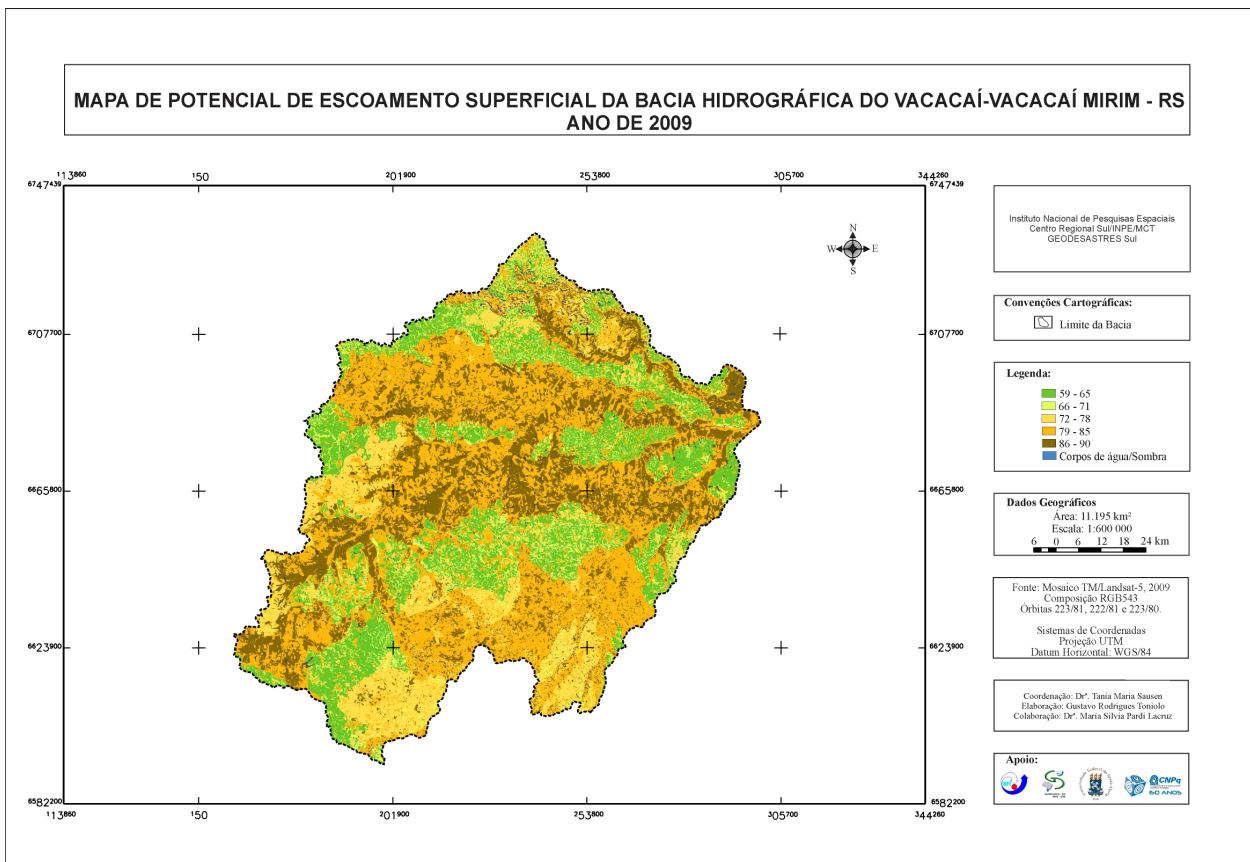


Fig. 7 - Mapa de Potencial de Escoamento Superficial - Ano de 2009.

Bacia do Vacacaí-Vacacaí Mirim e suas representações em materiais cartográficos, que contribuirão no planejamento e gerenciamento de bacias hidrográficas que carecem de dados hidrológicos e estão propensas as mudanças no uso e cobertura da terra.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, D. B.; SAUSEN, T. M.; PARDI LACRUZ, M. S. Modelagem dinâmica do escoamento superficial na área urbana de Santa Maria - RS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 5671-5678. DVD. Disponível em <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.08.13.32/doc/p0820.pdf>>. Acesso em: 13 mar. 2011.
- BARRETO-NETO, A. A.; SOUZA FILHO, C. R. de; Modelagem Dinâmica de Escoamento Superficial. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11. (SBSR), 2003, Curitiba. **Anais...** Belo Horizonte, Brasil: INPE, p. 242 7 -243 4.
- EMBRAPA. **Cultivo do Arroz Irrigado no Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. Sistemas de Produção, 3. 2005. Versão Eletrônica. ISSN 1806-9207. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrrigadoBrasil/cap03.htm#gerais>>. Acesso em: 27 de jun. 2011.
- FORTES, A. B. **Aspectos Fisiográficos, Demográficos e Econômicos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Globo, 1956. 76 p.
- GENOVEZ, A. M. **A avaliação dos métodos de estimação das vazões de enchente para pequenas bacias rurais do Estado de São Paulo**. 1991, 241p. Tese (Livre Docência). Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 1991.
- JOHNSON, D. L.; MILLER, A. C. A spatially distributed hydrologic model utilizing raster data structure. **Computers & Geosciences**. Vol. 23, n. 3, p. 267-272, 1997.
- MACK, M. J. Hydrologic evaluation of runoff; the soil conservation service curve number technique as an interactive computer model. **Computer & Geosciences**. Vol. 21, n. 8, p. 929-935, Oct. 1995.
- MARTINS, J. A. Escoamento Superficial. In: PINTO, Nelson Luiz de Sousa et al. **Hidrologia Básica**. Rio de Janeiro: Fundação Nacional de Material Escolar, 1976. p. 37-43.
- PULLAR, D. e SPRINGER, D. Towards integrating GIS and catchment models. **Environmental Modelling & Software**. Vol.15, n. 5, p 451-459, 2000.
- REINERT, D. J.; Reichert, J. M.; Dalmolin, R. S. D.; Azevedo, A. C.; Pedron, F. A. **Principais Solos da Depressão Central e Campanha do Rio Grande do Sul: Guia de Excursão**. Santa Maria, Departamento de Solos. UFSM, 2007. 47p.
- Soil Conservation Service (SCS). **National Engineering Handbook**, Section 4, Hydrology. Department of Agriculture, Washington, 1972. 127p.
- SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E GESTÃO DO RIO GRANDE DO SUL (SEPLAG-RS). **Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul**. 2011. Disponível em: <<http://www.scp.rs.gov.br/atlas>>. Acesso em: 03 jun. 2011.
- \_\_\_\_\_. **Mapa de tipo de solos do RS**. Porto Alegre, 2006. Disponível em: <<http://www.seplag.rs.gov.br/atlas/atlas.asp?menu=511>>. Acesso em janeiro de 2011.
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre, Editora da UFRGS, 1993. 943p.
- \_\_\_\_\_. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre, Editora da UFRGS, 2000. 669p.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.