

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**CÉSAR DANIEL RIVEROS REYES**

**ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DE TRÊS SUB-BACIAS DO  
RIO CARAPÁ (CANINDEYÚ, PARAGUAI) EM FUNÇÃO DAS MUDANÇAS DA  
COBERTURA VEGETAL EM TRÊS DIFERENTES ÉPOCAS.**

**CURITIBA**

**2010**

**CÉSAR DANIEL RIVEROS REYES**

**ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DE TRÊS SUB-BACIAS DO RIO CARAPÁ (CANINDEYÚ, PARAGUAI) EM FUNÇÃO DAS MUDANÇAS DA COBERTURA VEGETAL EM TRÊS DIFERENTES ÉPOCAS.**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Conservação da Natureza, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Nivaldo Eduardo Rizzi

Co-orientador: Prof. Dr. Hideo Araki

CURITIBA  
2010

Ficha catalográfica elaborada por Tania de Barros Baggio – CRB – 760/PR

Rivero Reyes, César Daniel.

Análise das características hidrológicas de três sub- bacias do Rio Carapá (Canindeyú, Paraguai) em função das mudanças da cobertura vegetal em três diferentes épocas / César Daniel Rivero Reyes. – 2010.

126f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Nivaldo Eduardo Rizzi

Co-orientador: Prof. Dr. Hideo Araki

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.

Inclui bibliografia

Área de concentração: Conservação da natureza

1. Bacias hidrográficas – Paraguai. 2. Solo – Uso – Paraguai. 3. Escoamento – Modelos matemáticos. 4. Teses. I. Rizzi, Nivaldo Eduardo, 1954-. II. Araki, Hideo, 1961-. III. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. IV. Título.

CDD – 551.48  
CDU – 556.551

*À Mirian, minha esposa,  
pelo amor, carinho, compreensão, nobreza e dedicação com que enfrentou a  
minha ausência durante longos períodos no decorrer desta jornada.*

*Aos meus filhos  
Jordi e Giordana, pelo amor incondicional – vocês são a razão de tudo isso.*

*Aos meus pais Emerenciano e Andresa, por terem dado tudo de si para que  
eu pudesse ter uma formação íntegra.*

*A meus irmãos e irmãs.*

*Dedico*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida, saúde e proteção.

Ao Prof. Dr. Nivaldo Rizzi, pela orientação, oportunidade, apoio, amizade e confiança que depositou em mim desde o primeiro momento em que entramos em contato.

Ao Prof. Dr. Hideo Araki, pela co-orientação, presteza em ajudar, confiança, palavras de apoio e amizade.

Ao Prof. Dr. Enrique González Erico, por compartilhar um pouco do seu extenso e valiosos conhecimentos na área de solos, ajuda na aquisição de dados e principalmente, pelo apoio e amizade.

À Facultad de Ciencias Agrárias da Universidad Nacional de Asunción, Filial Pedro Juan Caballero, pela oportunidade da realização do curso de mestrado fora do meu país.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná pela oportunidade de desenvolver o trabalho de pesquisa.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal e Pós-graduação em Ciências Geodésicas pelos conhecimentos proporcionados para a realização do presente trabalho.

Ao projeto Carapá Ypoti, por proporcionar os dados para o desenvolvimento do trabalho de pesquisa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos.

Aos funcionários da secretaria de Pós-graduação em Engenharia Florestal da UFPR, em especial ao Reinaldo, pela atenção solícita.

A todos os colegas de pós-graduação que compartilharam alguma disciplina comigo durante o mestrado, pelo companheirismo e amizade.

À Isamara Valascki, pelo apoio nos momentos difíceis, amizade incondicional, amparo constante e por me fazer acreditar que tudo iria dar certo cedo ou tarde.

À Bianca Ott, aluna de pós-graduação, pela amizade e companheirismo ao longo do curso.

Às pessoas que de uma ou outra forma colaboraram para a realização deste trabalho ou que me brindaram sua amizade e tiveram seus nomes aqui omitidos.

## RESUMO

A redução da mata nativa ao longo da segunda metade do século XX na região Oriental do Paraguai ocasionou a deterioração acelerada do solo. As mudanças no uso para fins agropecuários provocaram alterações no meio ambiente por falta de critérios para o aproveitamento dos recursos naturais por parte dos proprietários e pela ausência de práticas produtivas que considerem a fragilidade e aptidão dos recursos. Esta mudança afeta os cursos hídricos o que influi diretamente na bacia hidrográfica. Diante disto, o objetivo do presente trabalho foi analisar o comportamento hidrológico em três sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Carapá, localizada no Departamento de Canindeyú, Paraguai nos anos de 1985, 1999 e 2007, por meio da análise multitemporal do uso do solo e análise da resposta hidrológica pelo método de Curva Número da *Soil Conservation Service* com ênfase no parâmetro de Coeficiente de escoamento superficial (CE). A metodologia de estudo foi dividida em duas etapas, a primeira consistiu na análise das mudanças da vegetação nativa com utilização de imagem do satélite Landsat 5 TM e classificação dos usos do solo através de técnicas de sensoriamento remoto e a segunda parte consistiu na análise das classes geradas com adição de tipologias de solos para gerar os parâmetros hidrológicos através do modelo de Curva Número nas três condições de umidade antecedente: normal (NII), estiagem ou secos (NI) e em estado próximo da saturação (NIII). A análise dos resultados indicou que houve uma diminuição da cobertura florestal nas três sub-bacias estudadas sendo que a bacia 01 é a que apresentou a taxa mais alta de desmatamento entre as três áreas estudadas com 69,31% em 22 anos, o que corresponde a um valor de 3,19% anuais. Todas as áreas estudadas apresentaram taxa menor de desmatamento que a média para a Região Oriental do Paraguai no período de 1985 a 1999. Das três sub-bacias analisadas, o coeficiente de escoamento superficial nas três situações de umidade antecedente da sub-bacia 49 no período de 1985 e 1999 foi a mais alta (NI=6,42; NII=30,88; NIII=57,86) e a que indica maior possibilidade de degradação nessa área. No período de 2007, o coeficiente de escoamento superficial nas três situações de umidade antecedente da sub-bacia 01 foi a mais alta entre as áreas estudadas (NI=17,03; NII=45,18; NIII=69,32), indicando maior possibilidade de degradação na sub-bacia por conta da ação da erosão hídrica.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica. Análise multitemporal. Curva número. Escoamento superficial.

## ABSTRACT

The reduction of native forest along the second half of the twentieth century in the Eastern Region of Paraguay led to deterioration in the soil. Changes in use for agricultural purposes have caused changes in the environment due to lack of criteria for the use of natural resources by the owners and the lack of productive practices to consider the fragility and fitness resources. This change affects the water courses which directly influences the basin. Given this, the objective of this study was to analyze the hydrological behavior in three sub-basins of the river basin, Carapa, located in the Department of Canindeyú, Paraguay in 1985, 1999 and 2007, through multitemporal analysis of land use and analysis of hydrologic response by the method of Curve Number of the Soil Survey Staff with emphasis on parameter runoff coefficient (EC). The methodology was divided into two stages: the first was the analysis of changes in vegetation using the satellite image Landsat 5 TM and classification of land use through remote sensing techniques and the second part consisted in the analysis of the generated classes with the addition of soil types to generate the hydrological parameters through the model of the curve number three antecedent moisture conditions: normal (NII), drought or dry (NI) and in a state close to saturation (NIII). The results indicated that there was a decrease in forest cover three sub-basins being studied that the basin 01 is the one with the highest rate of deforestation between the three areas studied and 69,31% in 22 years, which corresponds to a value of 3.19% per year. All the areas studied had lower rate of deforestation than the average for the Eastern Region of Paraguay from 1985 to 1999. Of the three sub-basins considered, the coefficient of runoff during the three antecedent moisture sub-basin 49 between 1985 and 1999 was the highest (NI=6,42; NII=30,88; NIII=57,86) and indicating a higher possibility of degradation in this area. During 2007, the runoff coefficient in three different moisture history of the sub-basin 01 was the highest among the studied areas (NI=17,03; NII=45,18; NIII=69,32), indicating greater possibility of degradation in the sub-basin due to the action of water erosion.

Keywords: Watershed. Multitemporal analysis. Curve number. Runoff.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	HIDROGRAMA TIPO.....	23
FIGURA 2 -	MAPA DE LOCALIZAÇÃO E DIVISÃO POLÍTICA DA REPÚBLICA DO PARAGUAI. EM DESTAQUE A BACIA DO RIO CARAPÁ.....	28
FIGURA 3 -	SUB-BACIAS DA BACIA DO RIO CARAPÁ.....	32
FIGURA 4 -	IMAGEM SRTM DA BACIA DO RIO CARAPÁ.....	33
FIGURA 5 -	PRECIPITAÇÃO PARA O ANO DE 2007 NA BACIA DO RIO CARAPÁ.....	35
FIGURA 6 -	TIPOLOGIAS DE SOLOS NAS SUB-BACIAS 01; 18 E 49 DO RIO CARAPÁ .....	38
FIGURA 7 -	APLICATIVOS COMPUTACIONAIS E SUAS FUNÇÕES.....	43
FIGURA 8 -	RECORTE DA IMAGEM DA BACIA DO RIO CARAPÁ 1985, 1999 e 2007.....	47
FIGURA 9 -	AMBIENTE DE PROCESSAMENTO DO PROGRAMA EDISON.....	49
FIGURA 10 -	IMAGEM SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 1985, 1999 E 2007.....	50
FIGURA 11 -	IMAGEM SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 1985, 1999 E 2007.....	51
FIGURA 12 -	IMAGEM SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 1985, 1999 E 2007.....	52
FIGURA 13 -	CLASSES TEXTURAS BÁSICAS DE SOLOS.....	58
FIGURA 14 -	MAPA DE USO DO SOLO DA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 1985 .....	70
FIGURA 15 -	TIPO E USOS DO SOLO NA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 1985.....	71
FIGURA 16 -	MAPA DE USO DO SOLO DA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 1999 .....	74
FIGURA 17 -	TIPO E USOS DO SOLO NA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 1999.....	75
FIGURA 18 -	MAPA DE USO DO SOLO DA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 2007 .....	78
FIGURA 19 -	TIPO E USOS DO SOLO NA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 2007.....	81
FIGURA 20 -	MAPA DE USO DO SOLO DA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 1985 .....	84
FIGURA 21 -	TIPO E USOS DO SOLO NA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 1985.....	85
FIGURA 22 -	MAPA DE USO DO SOLO DA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 1999 .....	88
FIGURA 23 -	TIPO E USOS DO SOLO NA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 1999.....	89

FIGURA 24 -	MAPA DE USO DO SOLO DA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 2007 .....	92
FIGURA 25 -	TIPO E USOS DO SOLO NA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 2007.....	95
FIGURA 26 -	MAPA DE USO DO SOLO DA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 1985 .....	98
FIGURA 27 -	TIPO E USOS DO SOLO NA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 1985.....	99
FIGURA 28 -	MAPA DE USO DO SOLO DA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 1999 .....	102
FIGURA 29 -	TIPO E USOS DO SOLO NA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 1999.....	103
FIGURA 30 -	MAPA DE USO DO SOLO DA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 2007 .....	106
FIGURA 31 -	TIPO E USOS DO SOLO NA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 2007.....	109

### LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 -	BANDAS DO SATÉLITE LANDSAT 5 TM UTILIZADAS.....	45
------------	---	----

### LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 -	ALTERAÇÃO DA COBERTURA FLORESTAL NA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ.....	80
GRÁFICO 2 -	ALTERAÇÃO DA COBERTURA FLORESTAL NA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ.....	81
GRÁFICO 3 -	ALTERAÇÃO DA COBERTURA FLORESTAL NA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ.....	108
GRÁFICO 4 -	COMPORTAMENTO DO COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL DAS TRÊS SUB-BACIAS DO RIO CARAPÁ NOS ANOS DE 1985, 1999 E 2007 .....	111

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	COBERTURA FLORESTAL NA REGIÃO ORIENTAL DO PARAGUAI 1984 A 1991.....	31
TABELA 2 -	CARACTERÍSTICAS DAS ÁREAS DE ESTUDO - SUB-BACIAS DO RIO CARAPÁ .....	34
TABELA 3 -	TIPOLOGIAS DE SOLOS ENCONTRADAS NAS SUB-BACIAS DO RIO CARAPÁ .....	36
TABELA 4 -	CARACTERÍSTICAS DAS IMAGENS UTILIZADAS.....	43
TABELA 5 -	VALORES DA CURVA NÚMERO PARA BACIAS RURAIS.....	56
TABELA 6 -	CLASSES HIDROLÓGICAS DAS CLASSES DE SOLOS UTILIZADAS.....	56
TABELA 7 -	CLASSES DE USOS DO SOLO DA BACIA 01 DO RIO CARAPÁ NO ANO 1985.....	69
TABELA 8 -	ÁREA POR TIPOLOGIA DE USO DO SOLO NA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 1985.....	70
TABELA 9 -	CURVAS NÚMERO POR TIPOLOGIA DA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 1985.....	72
TABELA 10 -	CURVA NÚMERO MÉDIA (NII) DA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 1985.....	72
TABELA 11 -	PARÂMETROS HIDROLÓGICOS DA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 1985.....	72
TABELA 12 -	CLASSES DE USOS DO SOLO DA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 1999.....	74
TABELA 13 -	ÁREA POR TIPOLOGIA DE USO DO SOLO NA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 1999.....	75
TABELA 14 -	CURVAS NÚMERO POR TIPOLOGIA DA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 1999.....	76
TABELA 15 -	CURVA NÚMERO MÉDIA (NII) DA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 1999.....	76
TABELA 16 -	PARÂMETROS HIDROLÓGICOS DA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 1999.....	76
TABELA 17 -	CLASSES DE USOS DO SOLO DA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 2007.....	78
TABELA 18 -	TAXA DE DESMATAMENTO NA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ NOS TRÊS PERÍODOS.....	79
TABELA 19 -	ÁREA POR TIPOLOGIA DE USO DO SOLO NA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 2007.....	80
TABELA 20 -	CURVAS NÚMERO POR TIPOLOGIA DA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 2007.....	80

TABELA 21 -	CURVA NÚMERO MÉDIA (NII) DA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 2007.....	81
TABELA 22 -	PARÂMETROS HIDROLÓGICOS DA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 2007.....	82
TABELA 23 -	CLASSES DE USOS DO SOLO DA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 1985.....	83
TABELA 24 -	ÁREA POR TIPOLOGIA DE USO DO SOLO NA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 1985.....	84
TABELA 25 -	CURVAS NÚMERO POR TIPOLOGIA DA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 1985.....	85
TABELA 26 -	CURVA NÚMERO MÉDIA (NII) DA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 1985.....	86
TABELA 27 -	PARÂMETROS HIDROLÓGICOS DA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 1985.....	86
TABELA 28 -	CLASSES DE USOS DO SOLO DA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 1999.....	87
TABELA 29 -	ÁREA POR TIPOLOGIA DE USO DO SOLO NA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 1999.....	89
TABELA 30 -	CURVAS NÚMERO POR TIPOLOGIA DA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 1999.....	90
TABELA 31 -	CURVA NÚMERO MÉDIA (NII) DA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 1999.....	90
TABELA 32 -	PARÂMETROS HIDROLÓGICOS DA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 1999.....	90
TABELA 33 -	CLASSES DE USOS DO SOLO DA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 2007.....	92
TABELA 34 -	TAXA DE DESMATAMENTO NA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ NOS TRÊS PERÍODOS.....	93
TABELA 35 -	ÁREA POR TIPOLOGIA DE USO DO SOLO NA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 2007.....	94
TABELA 36 -	CURVAS NÚMERO POR TIPOLOGIA DA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 2007.....	94
TABELA 37 -	CURVA NÚMERO MÉDIA (NII) DA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 2007.....	95
TABELA 38 -	PARÂMETROS HIDROLÓGICOS DA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 2007.....	96
TABELA 39 -	CLASSES DE USOS DO SOLO DA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 1985.....	97
TABELA 40 -	ÁREA POR TIPOLOGIA DE USO DO SOLO NA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 1985.....	99
TABELA 41 -	CURVAS NÚMERO POR TIPOLOGIA DA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 1985...	99

TABELA 42 -	CURVA NÚMERO MÉDIA (NII) DA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 1985.....	100
TABELA 43 -	PARÂMETROS HIDROLÓGICOS DA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 1985.....	100
TABELA 44 -	CLASSES DE USOS DO SOLO DA BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 1999.....	102
TABELA 45 -	ÁREA POR TIPOLOGIA DE USO DO SOLO NA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 1999.....	103
TABELA 46 -	CURVAS NÚMERO POR TIPOLOGIA DA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 1999.....	105
TABELA 47 -	CURVA NÚMERO MÉDIA(NII) DA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 1999.....	105
TABELA 48 -	PARÂMETROS HIDROLÓGICOS DA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 1999.....	105
TABELA 49 -	CLASSES DE USOS DO SOLO DA BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 2007.....	106
TABELA 50 -	TAXA DE DESMATAMENTO NA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ NOS TRÊS PERÍODOS.....	107
TABELA 51 -	ÁREA POR TIPOLOGIA DE USO DO SOLO NA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 2007.....	108
TABELA 52 -	CURVAS NÚMERO POR TIPOLOGIA DA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 2007.....	108
TABELA 53 -	CURVA NÚMERO MÉDIA (NII) DA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 2007.....	109
TABELA 54 -	PARÂMETROS HIDROLÓGICOS DA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 2007.....	110
TABELA 55 -	SÍNTESE DE CURVAS NÚMERO E PARÂMETROS HIDROLÓGICOS PARA AS TRÊS SUB-BACIAS NOS ANOS DE 1985, 1999 E 2007.....	113

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.1 OBJETIVOS.....	15
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	16
2.1 ANÁLISE MULTITEMPORAL.....	16
2.2 BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	19
2.3 NÚMEROS HIDROLÓGICOS.....	24
2.4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	27
2.4.1 Paraguai.....	27
2.4.2 Bacia Hidrográfica do rio Carapá.....	31
2.4.3 Clima e Hidrologia.....	34
2.4.4 Geologia e Solos.....	36
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	42
3.1 APLICATIVOS COMPUTACIONAIS E BASE DE DADOS.....	42
3.2 ANÁLISES DE ERROS.....	44
3.3 ANÁLISE MULTITEMPORAL.....	45
3.3.1 Preparação das imagens .....	45
3.3.2 Correção das imagens de satélite.....	46
3.3.3 Segmentação.....	47
3.3.4 Recorte das áreas.....	49
3.3.5 Tipologias de uso do solo.....	52
3.3.6 Elaboração de mapas.....	54
3.4 ANÁLISES DE NÚMEROS HIDROLÓGICOS (CURVA NÚMERO) .....	55
3.4.1 Enquadramento das classes de solos.....	57
3.4.2 Definição do Número de Curva (CN) .....	59
3.4.3 Cálculo da capacidade máxima de saturação da bacia (S) .....	61
3.4.4 Cálculo conteúdo de chuva para abstração ou encharcamento (Po)...	61
3.4.5 Cálculo do escoamento superficial real ou precipitação efetiva (Pe)....	62

3.4.6 Cálculo das perdas reais máximas ( $P_{max}$ ) .....	62
3.4.7 Cálculo do coeficiente de escoamento superficial (CE) .....	62
3.4.8 Sistemática de cálculo dos parâmetros hidrológicos.....	63
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>69</b>
4.1 SUB-BACIA HIDROGRÁFICA 01 DO RIO CARAPÁ .....	69
4.1.1 Análise do uso do solo e comportamento hidrológico no Ano de 1985.....	69
4.1.2 Análise do uso do solo e comportamento hidrológico no a no de 1999.....	73
4.1.3 Análise do uso do solo e comportamento hidrológico no a no de 2007.....	77
4.2 SUB-BACIA HIDROGRÁFICA 18 DO RIO CARAPÁ.....	83
4.2.1 Análise do uso do solo e comportamento hidrológico no a no de 1985.....	83
4.2.2 Análise do uso do solo e comportamento hidrológico no a no de 1999.....	87
4.2.3 Análise do uso do solo e comportamento hidrológico no a no de 2007.....	91
4.3 SUB-BACIA HIDROGRÁFICA 49 DO RIO CARAPÁ.....	97
4.3.1 Análise do uso do solo e comportamento hidrológico no a no de 1985.....	97
4.3.2 Análise do uso do solo e comportamento hidrológico no a no de 1999.....	101
4.3.3 Análise do uso do solo e comportamento hidrológico no a no de 2007.....	105
<b>5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>115</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>117</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>121</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A diminuição da superfície florestal no Departamento de Canindeyú, Paraguai é uma realidade que gera uma preocupação constante na comunidade pela falta de critérios para a realização de um aproveitamento racional dos recursos florestais. Ao longo dos anos, as áreas de bosques têm sofrido com a depredação e mudança de uso por parte de proprietários que optam num primeiro momento por derrubar a floresta primária para o aproveitamento da madeira e depois utilizarem estas áreas remanescentes para culturas anuais ou pastagens. Além disto, a deterioração acelerada do solo decorrente desta mudança de uso fatalmente afeta os cursos hídricos, que por sua vez influi diretamente na saúde do sistema bacia hidrográfica.

As bacias hidrográficas por serem unidades territoriais delimitadas naturalmente pelas cotas altimétricas funcionam como sistemas dinâmicos que respondem em forma diretamente proporcional às mudanças ocorridas em seus domínios. Assim sendo, mudanças na cobertura florestal afetam proporcionalmente o equilíbrio existente na bacia, pois a vegetação cumpre vários papéis no equilíbrio ecológico.

Nas bacias com cobertura de floresta natural, a vegetação promove a proteção contra a erosão do solo, a sedimentação e a lixiviação excessiva de nutrientes sendo essas áreas muito importantes para manter o abastecimento de água de boa qualidade.

A devastação das matas ciliares contribui para o assoreamento, o aumento da turbidez das águas, o desequilíbrio do regime das cheias, a erosão das margens dos cursos d'água, além do comprometimento da fauna silvestre. As bacias de uso agrícola, quando comparadas às de uso florestal, o transporte de sedimentos e a perda de nutrientes são maiores. Os sistemas aquáticos são receptores das descargas resultantes das várias atividades humanas nas bacias hidrográficas.

A detecção de mudanças na vegetação nativa de uma determinada área utiliza um conjunto de dados multitemporais para diferenciar os usos nas áreas imageadas em diferentes épocas. Com o avanço das técnicas de geoprocessamento, encontramos vários instrumentos disponíveis para análise de informações geradas por satélites.

A utilização do Sensoriamento Remoto na análise de imagens de satélite é uma ferramenta indispensável no estudo das mudanças geoambientais, além de diminuir os custos e acelerar o mapeamento dessas mudanças. Do mesmo modo, a utilização de ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica em combinação com ferramentas de Sensoriamento Remoto leva a obtenção de resultados bastante satisfatórios, pois abre um leque maior de possibilidades na análise de determinados parâmetros, como os de uso da terra em virtude das ferramentas que utiliza.

Por outro lado, o parâmetro de Curva Número é importante para a análise das características hidrológicas das bacias, possibilitando a obtenção de informações do comportamento do escoamento superficial em função da cobertura e do tipo de solo. No Paraguai onde se insere a área de estudo do presente trabalho, existem poucos dados sobre parâmetros hidrológicos e na medida em que ocorre um processo acelerado de mudança no uso do solo, implica na necessidade de estudos que expliquem o grau de risco de degradação por erosão que pode ocorrer e alertar para a necessidade de realização de medidas que interrompam ou diminuam tais processos de deterioração dos recursos naturais.

## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho é realizar uma avaliação comparativa da influencia da cobertura florestal na capacidade de saturação e resposta hidrológica de três sub-bacias da bacia hidrográfica do Rio Carapá, situada no Departamento de Canindeyú, Paraguai, nos anos de 1985, 1999 e 2007. Este objetivo teve como base:

- a. Análise multitemporal da cobertura e uso do solo com a utilização de técnicas de sensoriamento remoto.
- b. Análise dos Números Hidrológicos ou Curvas Número com ênfase na análise do Coeficiente de Escoamento Superficial.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ANÁLISE MULTITEMPORAL

As mudanças originadas nas componentes biofísicas da superfície terrestre apresentam variações muito dinâmicas ao longo do tempo. Neste sentido, as pesquisas relacionadas à coleta de dados através de sensoriamento remoto ou de cartografia tropeçam com problemas de desatualização dos bancos de dados e a precisão dos mesmos é comprometida. Nesse contexto houve um esforço no sentido de desenvolver técnicas para detectar essas mudanças ocorridas ao longo do tempo utilizando ferramentas do sensoriamento remoto (JENSEN, 1996). Da mesma forma que podemos manipular um conjunto de imagens em diferentes bandas espectrais, podemos manipular imagens de uma mesma banda em diferentes épocas. A esta manipulação de dados de diferentes épocas denominamos análise multitemporal (NOVO, 1992).

Segundo Jensen (1996), existem dois parâmetros fundamentais que devem ser levados em conta na análise multitemporal de imagens: o sistema sensor utilizado por um lado e as características do ambiente. Destes fatores dependem o sucesso ou fracasso da análise, pois podem levar a resultados imprecisos. É importante que os sistemas sensores utilizados para a análise temporal possuam os tipos de resolução seguintes: resolução temporal, resolução espacial (e ângulo de visada), resolução espectral e resolução radiométrica.

A resolução temporal se refere a dois aspectos importantes que deveriam ter os dados na hora da aquisição. Uma é obter as imagens na mesma hora do dia se possível e caso contrário obter no mesmo dia da toma da imagem. Estes aspectos são importantes porque deste modo são removidas diferenças fenológicas na vegetação e ângulos sazonais do sol que podem arruinar uma análise multitemporal. No entanto, a resolução espacial alude às características da dimensão do *pixel* da imagem. É conveniente que o sensor imageador utilizado para a aquisição dos dados para a análise tenha o mesmo campo de visão, também chamado IFOV, para todas as imagens que serão analisadas, pois isto facilitará a compatibilização da

geometria entre essas imagens de tal forma que sejam equivalentes. Por exemplo, uma imagem com resolução espacial 30 x 30 dá a entender que cada *pixel* representa uma dimensão de 900 m<sup>2</sup> no terreno. No caso da resolução espectral, sua importância se fundamenta na escolha das bandas que melhor resposta de fluxo radiante nas regiões espectrais possa fornecer sobre os objetos analisados, além da utilização destes mesmos canais nas imagens de outras datas. Outro fator a ser tido em conta é a resolução radiométrica do imageador. Esta se refere a dados de valores de cinza que variam de 0 a 255 nas imagens de baixa resolução (8 bits) até valores na ordem de 16 bits nas imagens de alta resolução. Esta característica é importante para o discernimento entre alvos com pequenas diferenças de radiação refletida ou emitida (JENSEN, 1996). De acordo com este autor, além destas características citadas é importante considerar os aspectos ambientais como, por exemplo, as condições atmosféricas, condições de natureza do solo, ciclo fenológico da vegetação e condições de marés em alguns casos.

Segundo Novo (1992) uma das condições essenciais para que o resultado das análises multitemporais de dados produza resultados satisfatórios é que a imagem de uma época esteja adequadamente registrada à imagem de outra data, ou seja, que haja uma quase perfeita superposição dos *pixels* de uma cena e de outra. O registro digital de imagens pode ser obtido através da medida de similaridade ou dissimilaridade entre duas imagens, que é calculada como uma função de deslocamento relativo entre elas.

A escolha de uma técnica de classificação adequada é o seguinte passo para a realização da análise multitemporal. Uma série de algoritmos pode ser usada para esse fim (JENSEN, 1996). Para Centeno (2004), partindo da hipótese de que *pixels* cobrindo um mesmo alvo devem possuir características espectrais similares, algoritmos computacionais podem ser usados para dividir os *pixels* de uma imagem em grupos, segundo sua leitura em cada banda espectral.

Existem duas técnicas de classificação: supervisionada e não supervisionada. A classificação supervisionada de acordo com Moreira (2003) utiliza algoritmos cujo reconhecimento dos padrões espectrais da imagem se faz com base numa amostra da área de treinamento, que é fornecida ao sistema de classificação pelo analista. Os algoritmos mais utilizados na classificação supervisionada são a máxima verossimilhança (MAXVER), o método dos paralelepípedos e a distância euclidiana.

Velasco<sup>1</sup> *et al.* (1978 citado por Moreira, 2003) comenta que o problema da classificação de padrões é decidir a qual classe determinado objeto pertence, quando existem várias áreas de ocupação de solo na área de estudo. Um método utilizado para resolver esta questão é determinar diversas características (atributos) quantificáveis dos objetos que possam diferenciar as várias classes. No caso das imagens de satélites, as características podem ser as medidas de luz refletida pelos diferentes alvos que compõem a cena e da área selecionada para o treinamento em determinadas bandas do espectro eletromagnético.

De acordo com Centeno (2004) seja qual for o método de classificação utilizado, como a decisão com relação da classe mais apropriada é tomada analisando os valores de cada *pixel* em forma independente dos outros *pixels*, a imagem temática pode apresentar *pixels* isolados ou um efeito de pontos isolados que aparentemente são erros de classificação. Diante disto é necessário fazer uma análise de contexto para minimizar o problema. Para isto podem ser utilizados filtros para realocar o *pixel* na classe mais adequada. Podem ser usados os filtros de moda ou de mediana para esta finalidade.

Posterior a classificação de uma imagem, é aconselhável conhecer a confiabilidade do mapa temático; em outras palavras, avaliar a qualidade do resultado. Isto pode ser feito de uma maneira simples, comparando o resultado com um mapa ou outros levantamentos que descrevam a verdadeira classificação. Isto permite identificar os erros e sua visualização espacial, além de facilitar a identificação das classes que sofreram maior confusão. Esta comparação nem sempre é possível, pois um dos objetivos da classificação é a atualização dos dados de cobertura de solo em lugares onde esta informação não se encontra disponível ou esteja desatualizada nos mapas. Outra opção é a utilização de coeficientes estatísticos para a avaliação da acurácia da classificação como a matriz de confusão e o coeficiente *Kappa* (CENTENO, 2004).

---

<sup>1</sup> VELASCO, F. R. D. et al., **Sistema MAXVER**: Manual do usuário. São José dos Campos, SP: INPE, 1978. 72 p. (INPE-1315-NTI/110).

## 2.2 BACIAS HIDROGRÁFICAS

A bacia hidrográfica pode ser definida como a área de captação natural da água da precipitação, drenando essa água por ravinas, canais e tributários, para um curso d'água principal, tendo a vazão uma única saída, desaguando em um curso d'água maior, lago ou oceano (TONELLO, 2005). Tucci *et al.* (1993) consideram a bacia hidrográfica como um sistema físico aberto, onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume da água escoado pelos canais escoadouros que carregam materiais provenientes da própria bacia, considerando-se como perdas intermediárias os volumes evaporados e transpirados, além daqueles que são infiltrados, permanecendo no solo ou migrando para as partes mais profundas. O fluxo de saída é determinado pelas características geológicas, geomorfológicas, pedológicas e de vegetação, da mesma forma que o clima que incide na área. Também depende da presença de componentes de armazenagem e de escoamento, assim como da existência de um sistema de drenagem definido (BLACK, 1997; CHIARANDA, 2002; CARNIATTO, 2007; RIZZI, 2010).

Villela e Mattos<sup>2</sup> (1975 *apud* Mosca, 2003) admitem a unidade bacia hidrográfica contornada por um divisor, ou seja, uma linha de separação que divide as precipitações que caem em bacias vizinhas e que encaminha o escoamento superficial resultante para um ou outro sistema fluvial. Deste modo, os terrenos de uma bacia hidrográfica são delimitados por dois tipos de divisores de água. O divisor topográfico e o divisor de águas freáticas. O primeiro refere-se àquela condicionada pela topografia, fixa a área da qual provém o deflúvio superficial da bacia e o segundo é determinado pela estrutura geológica dos terrenos e influenciado também pela topografia, estabelecendo os limites dos reservatórios de água subterrânea de onde é derivado o escoamento base da bacia.

---

<sup>2</sup> VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

SOUZA<sup>3</sup> *et al.*, (2002 citado por Cardozo *et al.*, 2006) manifestam que a vegetação presente na bacia, assim como o solo e a água encontram-se em interação permanente e dinâmica que respondem diretamente às mudanças e interferências sejam elas naturais ou de natureza antrópica que afeta o ecossistema como um todo. Neste sentido, os recursos hídricos constituem os indicadores das condições dos ecossistemas, referente aos efeitos de desequilíbrio das interações dos componentes da bacia hidrográfica.

Chiaranda (2002) observa que, de acordo com Black (1997) as bacias hidrográficas apresentam cinco funções claramente identificáveis quais são: a captação, armazenagem, descarga, meio para ocorrência de reações químicas, e habitat; sendo que as primeiras três referem-se a funções hidrológicas enquanto as duas últimas são funções ecológicas. São consideradas excelentes unidades de gestão dos elementos naturais e sociais por apresentar um caráter integrador. Por conta disto é possível acompanhar as mudanças introduzidas pelo homem e as respostas da natureza (GUERRA e CUNHA, 1996).

A bacia de drenagem é uma unidade hidrogeomorfológica e é um exemplo característico de sistema aberto, pois recebe impulsos energéticos das variáveis climáticas que atuam sobre uma área e também de forças tectônicas subjacentes. Da mesma forma, perde energia através das águas, dos sedimentos e do material dissolvido ao longo do tempo (CHORLEY; COELHO NETO, 1995; ANTONELLI e THOMAZ, 2007). Assim sendo, de acordo com GREGORY e WALLING (1985), os elementos e os processos característicos de uma bacia de drenagem influenciam as relações entre a entrada e a saída de energia.

Souza e Fernandez<sup>4</sup> (2000 *apud* Corseuil, 2006) destacam que a água, o solo, as espécies vegetais e animais são os principais elementos que integram uma bacia hidrográfica. Estes elementos coexistem numa interação constante e dinâmica, que respondem às interferências naturais (intemperismo e modelagem da paisagem) e a ação do homem, através do uso e cobertura da terra, afetando o ecossistema como um todo.

---

<sup>3</sup> SOUZA. C.G., *et al.* **Caracterização e manejo integrado de bacias hidrográficas**. Belo Horizonte: EMATER, 2002. 124p.

<sup>4</sup> SOUZA, E. R.; FERNANDES, M. R. **Sub-bacias hidrográficas: unidades básicas para o planejamento e a gestão sustentável das atividades rurais**. Informe agropecuário. Belo Horizonte. v.21, n. 207, p. 15-20, nov./dez. 2000.

Para Chiaranda (2002) as funções fundamentais da bacia hidrográfica sofrem alterações e quando a modificação do uso da terra dá-se em grandes extensões de área na bacia hidrográfica, podem ser observados impactos no comportamento do escoamento. De acordo com Tucci (1993), existem obstruções naturais e artificiais na bacia hidrográfica que regulam o escoamento, acumulando o volume precipitado. O volume de água retido nessas áreas somente diminui por evaporação e infiltração. Como o lençol freático fica alto, a saída de água logo depois da enchente dá-se principalmente pela evaporação, reduzindo a vazão média da bacia. Isso é mais grave nos solos argilosos, pois estes têm a característica de impermeabilizar-se com a umidade.

Sendo a armazenagem uma das funções hidrológicas da bacia hidrográfica, Odum (1983) e Braun (2007) inferem que a proteção ocorre em função da retenção temporária da precipitação e da diminuição da quantidade de água que chega ao solo por conta da evaporação. Nesse processo, os diferentes estratos da vegetação agem como barreira ao livre caminamento da precipitação, diminuindo sua energia cinética. A manta orgânica e o sistema radicular efetuam funções semelhantes, sendo que esta última contribui melhorando as propriedades físico-químicas do solo. Neste âmbito, a rota preferencial do fluxo tende a ser a da infiltração, percolação e armazenamento, com os efeitos de escoamento superficial ocorrendo de forma esporádica devido a maior intensidade de precipitação.

Os autores destacam ainda que essa relação não seja de causa e efeito, mas sim de interação entre as variáveis e que ocorre uma sinergia entre os componentes solos – vegetação – clima. Os usos da terra, quando substituem a cobertura vegetal original, modificam o sinergismo existente entre a vegetação e o clima. Esta substituição da cobertura vegetal tende a diminuir a proteção do solo.

O escoamento superficial é um dos componentes do ciclo hidrológico junto com a precipitação, interceptação, infiltração, transpiração e evaporação. É impulsionado pela gravidade, ultrapassando a barreira do atrito com a superfície do solo até se concentrar nas cotas mais baixas (VILLELA e MATTOS, 1975; TUCCI *et al.*, 1993). Para Braun (2007) alguns autores o denominam como deflúvio superficial sendo uma lâmina de água que é originada pelo excesso de precipitação que não infiltra no solo ajustando-se ao micro relevo. O escoamento superficial é um dos elementos do hidrograma, que é o gráfico que relaciona a vazão no tempo. Esta

distribuição é o resultado da interação de todos os componentes do ciclo hidrológico entre o evento de precipitação e a vazão na bacia hidrográfica (TUCCI *et al.*, 1993).

A Figura 1 ilustra um hidrograma típico após uma seqüência de precipitações. Tucci (1993) e Villela e Mattos (1975) explicam que após o início da chuva, existe um intervalo de tempo em que o nível começa a subir. Este retardo no tempo de resposta é ocasionado pela interceptação da vegetação e pelas depressões do solo, além do próprio retardo de resposta da bacia em função do tempo de deslocamento da água na bacia. Em geral, a elevação da vazão até o pico apresenta um gradiente maior que a parte posterior ao mesmo. O processo predominante neste período é o escoamento superficial em resposta ao comportamento aleatório da precipitação. O hidrograma atinge o máximo do seu pico em função da distribuição da precipitação para logo depois apresentar uma recessão onde se observa um ponto de inflexão, que caracteriza o final do escoamento superficial e a predominância do escoamento subterrâneo. Isto ocorre porque o escoamento superficial acontece num meio de rápida resposta e finaliza antes do escoamento subterrâneo que apresenta um retardo maior devido a escoar no solo poroso.

Villela e Mattos (1975) acrescentam que o escoamento superficial sofre a influência de diversos fatores que ajudam ou prejudicam a sua ocorrência. Podem ser de natureza climática, que são as relacionadas com a precipitação ou podem ser de natureza fisiográfica referentes às características físicas da bacia (área, forma, permeabilidade, capacidade de infiltração e topografia da bacia). Tucci *et al.*, (1993) ressaltam que a presença de vegetação na superfície do solo obstaculiza o escoamento superficial e favorece a infiltração em percurso. Da mesma forma, a vegetação provoca uma diminuição da energia cinética de impacto das gotas de chuva na superfície do solo, fator este que minimiza a erosão.

Dos fatores relacionados ao clima se destacam a intensidade e a duração da precipitação; a maior intensidade, o solo atingirá mais rapidamente a sua capacidade de infiltração ocasionando um excesso de precipitação que escoará superficialmente. Da mesma forma, a duração é diretamente proporcional ao escoamento, pois haverá maior oportunidade de escoamento em chuvas de intensidade constante quando maior for a duração (VILLELA e MATTOS, 1975; TUCCI, 1993).

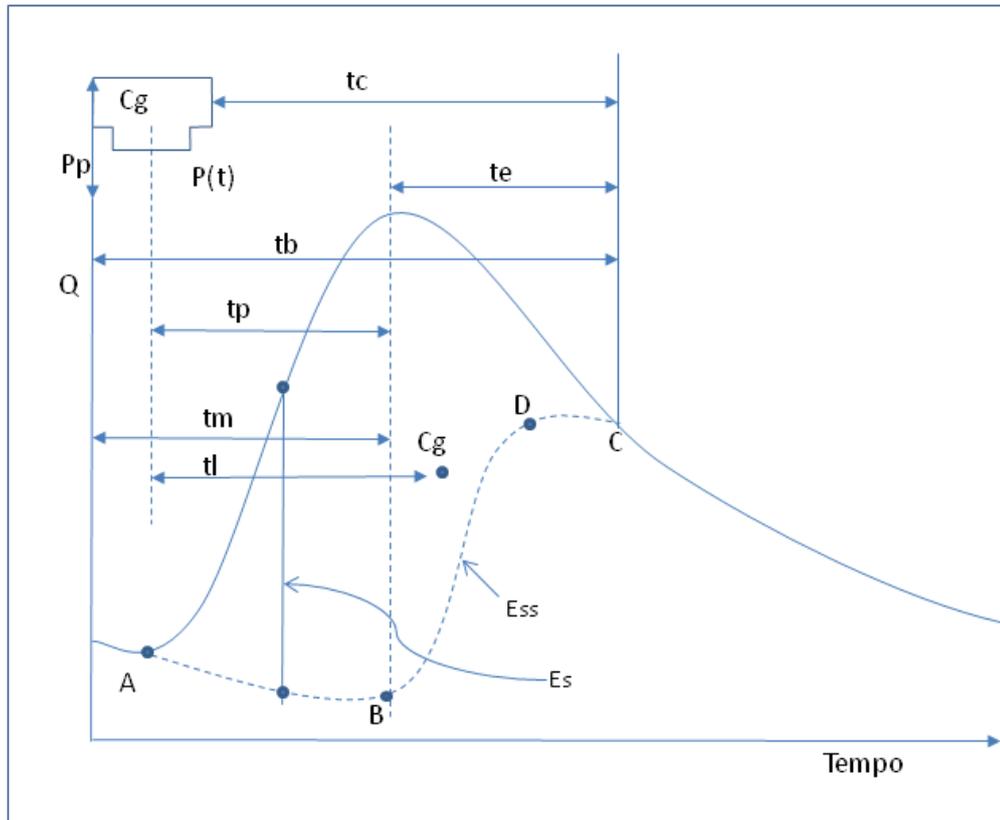


FIGURA 1 - HIDROGRAMA TIPO

FONTE: ADAPTADO DE TUCCI (1993)

NOTA:  $P_p$  = Precipitação;  $Q$  = Vazão;  $C_g$  = Precipitação efetiva, que produz escoamento direto;  $E_s$  =  $Q_d$  = Escoamento Superficial ou Escoamento Direto;  $E_{ss}$  =  $Q_b$  = Escoamento Subsuperficial ou Escoamento Básico; A = Ponto de inflexão de início de  $Q_d$ ; B = Ponto ou instante de máxima vazão; C = Curva de descenso (tendência de retorno a A); D = Momento de máxima contribuição de  $Q_b$ ;  $t_l$  = tempo de retardo;  $t_m$  = Tempo ascensão;  $t_p$  = Tempo ponta ou de máxima vazão (pico);  $t_c$  = Tempo de concentração;  $t_e$  = Tempo de recessão;  $t_b$  = Tempo de base

Chiaranda (2002) afirma que de acordo com as características topográficas e de solos, especialmente em locais com solos rasos, o escoamento superficial tornar-se-á o fluxo preferencial que escorre em canais escavados pela fauna presente no local e pelo sistema radicular das plantas, nos poros e nas interfaces entre o solo e a rocha. Ainda de acordo com este autor, quando a cobertura vegetal original é substituída por outro tipo de uso da terra, sua capacidade de captação é afetada e por consequência o comportamento do escoamento superficial.

Um das grandezas que caracterizam o escoamento superficial, junto com a vazão, o tempo de concentração, o tempo de recorrência e nível de água se refere ao coeficiente de Escoamento superficial, denominado com a letra CE (VILLELA e

MATTOS, 1975). De acordo com Tucci (2000) o coeficiente de escoamento superficial ou também chamado de coeficiente de escoamento de enchentes, para Villela e Mattos (1975) coeficiente *runoff* ou coeficiente de deflúvio de uma bacia, representa a quantidade de água de escoamento gerada pela bacia em eventos de precipitação. Este coeficiente, segundo Villela e Mattos (1975) pode ser relativo a uma precipitação isolada como também a um intervalo de tempo onde várias precipitações ocorreram.

O coeficiente de escoamento médio anual (Ca) representa a parcela total escoada na bacia com relação à precipitação total anual. Estes coeficientes devem variar à medida que a bacia se urbaniza e com a magnitude da enchente. A tendência é de que o coeficiente de escoamento Ca seja maior que CE devido às pequenas precipitações de grande frequência e no período em que é definido cada evento. A diferença diminui à medida que ocorre a impermeabilização da bacia (TUCCI, 2000). De acordo com Villela e Mattos (1975) quando se conhece o coeficiente superficial para uma precipitação intensa de certa duração, poderá ser determinado o escoamento superficial de outras precipitações de intensidades diferentes, desde que a duração seja a mesma.

### 2.3 NÚMEROS HIDROLÓGICOS

Segundo Ferrer Juliá *et al.*, (2003) o modelo de Curva Número é um modelo desenvolvido pelo Serviço de Conservação de Solos (SCS), atualmente denominado *Natural Resources Conservation Service* (NRCS) dos EUA durante a década de 50 para sua aplicação em todo os Estados Unidos. Chow, Maidment e Mays (1994) citado por Segovia e Hang (2000) mencionam que este é um método empírico para o cálculo da transformação da precipitação em escoamento direto, que surgiu da observação do fenômeno hidrológico em diferentes tipologias de solos, usos e condições antecedentes de umidade. Seu objetivo era estimar o Escoamento Superficial em pequenas bacias hidrográficas agrícolas considerando as condições de cobertura e tipo de solos para se analisar a influência dos tratamentos agrícolas e mudança no uso dos solos.

Ferrer Juliá *et al.*, (2003) mencionam que posteriormente se desenvolveu sua aplicação para bacias urbanas. Em ambos os casos a perda de infiltração foi modelada considerando unicamente os processos que a controlam na superfície, sem ter em conta os processos de vertente que controlam o fluxo sub-superficial.

Quando representado graficamente a precipitação total e a parte desta que corresponde à precipitação efetiva, que produz escoamento direto foram obtidas curvas. Com o objetivo de padronizar foi definido um número adimensional de curva, o que é conhecido como Curva Número (CN), que varia de zero a cem. Para superfícies impermeáveis e com lamina de água a CN vale cem; para superfícies naturais, a CN é menor que cem e para superfícies sem escoamento a CN vale zero (CHOW, MAIDMENT e MAYS, 1994). Estes valores de CN foram tabelados para diferentes tipos de solos e de uso da terra, como mostrado no Anexo 1.

Tucci *et al.*, (1993) mencionam que Kohler e Richards<sup>5</sup> (1962) verificaram semelhanças entre valores de relações entre precipitação total e precipitação efetiva durante uma cheia com os parâmetros utilizados pela *Soil Conservance Service* (SCS). Introduzindo perdas iniciais na ordem de 20% da capacidade máxima de saturação obtiveram uma equação para o cálculo da precipitação efetiva, ou seja, a precipitação que gera o escoamento superficial. A equação resultante era válida para situações em que a precipitação era maior que 20% da capacidade máxima de saturação. Quando a precipitação era menor que estes 20%, a precipitação efetiva é igual a zero. Ainda, estes mesmos autores para determinar a capacidade máxima de saturação da camada superior relacionaram esse parâmetro da bacia com um fator CN. Entretanto, em vista das características físicas da Espanha por um lado e por outra a disponibilidade de dados atuais, Ferrer Juliá *et al.*, (2003) propuseram uma metodologia para a adaptação do parâmetro de CN às novas fontes de dados incorporando o *umbral de escorrentía* ou início do escoamento ( $P_0$ ) que corresponde a abstração inicial do SCS. A novidade que possui esta adaptação da CN é precisamente a tabela que define o parâmetro. Nela foram incorporados dois tipos de variações: a primeira foi uma adaptação das variáveis que demandava o parâmetro de CN aos dados disponíveis nessa época, o que facilitou enormemente seu uso e a segunda foi uma mudança em alguns valores do próprio parâmetro.

---

<sup>5</sup> KOHLER, M. A.; RICHARDS, M. M. **Multi-Capacity Basin Accounting for Predicting Runoff from Storm Precipitation**. Journal of Geophysical Research. New York: McGraw-Hill. 1962.

Além disso, foi incorporada a variável declividade, classificados em dois grupos: menor que 3% e maior ou igual que 3% (Anexo 1). Segovia e Hang (2000) estimaram os valores de CN numa bacia não urbanizada e outra com baixa urbanização em Resistencia, República Argentina utilizando dados a partir de imagens de satélite Landsat 5 – TM, fotografias aéreas do local de estudo e visitas a campo. A diferença encontrada entre os valores de CN ponderados da imagem de satélite, classificada automaticamente a través do método de máxima verossimilhança gaussiana e classificação com correção manual posterior foi de +1,40% para uma parcela de estudo e -2,25% para outra, mostrando que o classificador utilizado produz resultados satisfatórios. No entanto, citam que existem incertezas relacionadas com a adoção da condição de umidade antecedente e o tipo de solo.

Aguiar e outros (2007) realizaram trabalho semelhante na bacia hidrográfica do Ribeirão Itaim, SP, para a estimativa do escoamento superficial através de cálculos da taxa de infiltração. Concluíram que os valores das estimativas do escoamento superficial variaram substancialmente em função do método utilizado (infiltrômetro de campo vs. CN ponderado) e em função do uso e cobertura do solo (CN tradicional vs. CN ponderado). Os valores de escoamento superficial obtidos pelo CN tanto convencional como ponderado apresentaram-se mais baixos que os estimados com base em medidas de infiltração de água no solo.

Baugarten *et al.* (2003), em trabalho realizado na bacia hidrográfica do rio Chopim, no estado do Paraná utilizaram o modelo de CN associado a ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG) para determinar a precipitação efetiva da bacia. Estes autores demonstraram a eficiência da utilização do SIG no tocante à sistematização de modelos matemáticos para a análise de problemas hidrológicos, especialmente pela facilidade na definição da distribuição espacial dos parâmetros extraídos.

Pesquisa similar foi realizado por Ferreira *et al.*, (2007) associando técnicas de sensoriamento remoto com sistemas de informação geográfica para estimar o escoamento superficial na bacia hidrográfica do Córrego João Pedro localizado em Linhares e Sooretama, ES. Os valores de CN foram utilizados para o cálculo da lâmina de escoamento superficial, ou seja, o volume por unidade de área da bacia de escoamento. O resultado encontrado por estes autores indicou que apenas

46,46% da precipitação total em 12 horas de chuva incidente na área da bacia escoam superficialmente.

## 2.4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 2.4.1 Paraguai

O Paraguai está dividido em duas regiões bem diferenciadas, a região Oriental e a Região Ocidental ou Chaco paraguaio (Figura 2). Política e administrativamente o território está dividido em dezessete Departamentos das quais quatorzes encontram-se na Região Oriental e três na Região Ocidental. Por sua vez, os Departamentos são divididos em distritos e localidades. Na região Oriental a temperatura média anual varia entre 21° C a 23°C e na região Ocidental a média anual é de 24° C. (PARAGUAY, 2006). De acordo com o documento citado, a Região Oriental compreende grande parte das bacias dos rios Paraguai e Paraná. Possui uma superfície de 159.827 km<sup>2</sup> com um regime de precipitação de 1200 a 1600 mm anuais. Representa 40% do território nacional e é habitada por quase 98% da população total do país.

O solo constitui o recurso natural mais importante para a produção de alimentos e o desenvolvimento socioeconômico do país. O Paraguai possui solos de diferentes tipos e características com diversas aptidões agrícolas. No Leste da Região Oriental localizam-se os melhores solos (LÓPEZ GOROSTIAGA *et al.*, 1995) por tanto esta área é a zona agrícola por excelência.

A utilização da terra na Região Oriental está destinada principalmente à atividade agropecuária (75%), do quais 25% correspondem à agricultura, 50% à pecuária e 16% bosques e os 9% restantes são águas e outros usos (DGEEC, 2008). Segundo um levantamento feito por Fragano e Clay (2005) a Mata Atlântica do sudeste do Brasil, do nordeste da Argentina e do leste do Paraguai é uma região única, composta principalmente de florestas tropicais, que se separam da Floresta Amazônica pelas regiões mais áridas da Caatinga e do Cerrado. Ela compreende várias subdivisões, ou ecorregiões florestais, de acordo com as características geomorfológicas e ecológicas. A maior dessas ecorregiões é formada pelas florestas

das bacias dos rios Paraná e Paraíba e inclui as florestas do sudeste do Brasil, do nordeste da Argentina e do leste do Paraguai, comumente chamadas de Mata Atlântica de Interior (DINERSTEIN *et al.*, 1995) ou de Florestas de Interior do Paraná-Paraíba (OLSON e DINERSTEIN, 1998).

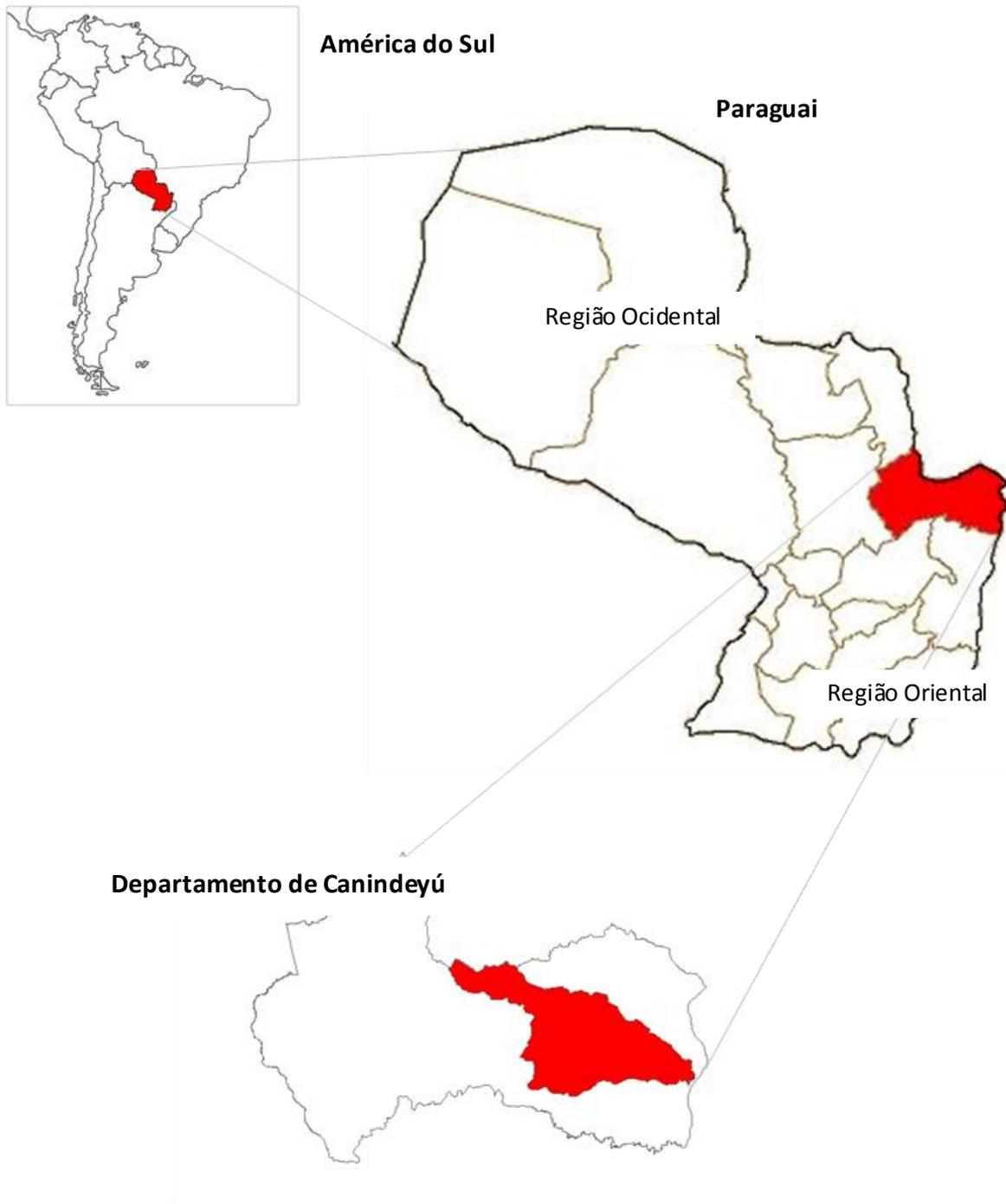


FIGURA 2 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO E DIVISÃO POLÍTICA DA REPÚBLICA DO PARAGUAI.  
EM DESTAQUE A BACIA DO RIO CARAPÁ  
FONTE: O autor (2009)

Estudos de Cabrera e Willink, (1973) observam que Mata Atlântica do Paraguai está localizada na região Oriental do país. Esta região é delimitada a leste e a sul pelo rio Paraná e pelas cordilheiras Mbaracayú e Amambai, ao norte pelo rio Apa, e a oeste pelo rio Paraguai. Toda a região é uma zona relativamente úmida, levemente ondulada e drenada por numerosos cursos d'água que deságuam no rio Paraguai e no Paraná. Uma cadeia montanhosa descontínua divide as águas entre os dois rios principais. As florestas da região Oriental do Paraguai têm sido consideradas parte da Província Paranaense do Domínio Amazônico. Essa província inclui vários distritos, estando a floresta inserida no Distrito da Floresta Tropical.

As condições geológicas e edáficas influenciam a composição e as características da vegetação predominante. Os ricos solos basálticos que predominam no leste, especialmente na bacia do rio Paraná, sustentam as florestas mais altas e diversificadas em termos de flora e fauna. No centro e no oeste da região, na bacia do rio Paraguai, os solos são arenosos e a floresta é menos densa, com um dossel de 25–35m. Embora haja menos espécies de árvores, várias são importantes por sua madeira. Nessa planície também se encontram áreas úmidas e pastagens (FRAGANO e CLAY, 2005). Estes pesquisadores mencionam que a Mata Atlântica paraguaia foi dividida em sub-regiões biogeográficas, uma das quais é a ecorregião Alto Paraná ou Florestas do Paraná onde se encontram inseridas as bacias em estudo e apresentam as seguintes características:

Sua distribuição é limitada ao norte pela cordilheira de Mbaracayú, ao sul e a leste pelo rio Paraná, e a oeste pela serra de San Joaquín, a cordilheira de Ybytyruzú e a cordilheira de San Rafael, ou basicamente a linha divisória entre as bacias dos rios Paraná e Paraguai. Uma floresta cobre a maior parte da ecorregião, que é menos homogênea em altura e densidade que a ecorregião Amambay. O estrato superior consiste principalmente de árvores acima de 30 m de altura, alcançando até 35 a 40 m em áreas com boa drenagem. Cada estrato possui um grande número de espécies, sendo as mais freqüentes o cedro (*Cedrela tubiflora*), canelas (*Nectandra spp.*), ipês (*Tabebuia spp.*), garapa (*Apuleia leiocarpa*), guatambu (*Balfourodendron riedelianum*), cabreúva (*Myrcarpus frondosus*), canafístula (*Peltophorum dubium*), canelas (*Ocotea spp.*) e tamboril (*Enterolobium contortisiliquum*). A floresta nessa ecorregião é também caracterizada por um

grande número de lianas, epífitas, samambaias arborescentes e palmeiras, incluindo o palmito-juçara (*Euterpe edulis*).

A abertura de uma vasta zona de fronteira agrícola concomitante com a implementação da agricultura mecanizada ao redor de culturas de pastagens para pecuária intensiva e da soja para a exportação a partir da década de setenta produziram ao mesmo ritmo do desmatamento uma forte degradação dos solos da Região Oriental, cada vez menos aptos para a produção de culturas de subsistência *campesina* (PARAGUAY, 2006).

Um dos parâmetros qualitativos mais eloqüentes desta expansão constitui o acelerado processo de desmatamento acarretando uma diminuição de 67,77% da mata nativa existindo em 1945 uma superfície de 8.805.000 ha a 2.837.718 ha no último monitoramento realizado em 1997, segundo *Mapa de Masa Boscosa* elaborado por DOA/BGR, mencionado em Paraguay (2006). Isso corresponde a uma taxa de 1,30 % em média de desmatamento anual no período de 52 anos.

GTZ (2000) menciona que a diminuição da cobertura de bosques subtropical úmido na Região Oriental do Paraguai ocorre num ritmo bastante acelerado. Foram transformados nos últimos cinquenta anos 80% da superfície florestal para usos não florestais restando somente um 10% da cobertura original. Estes dados indicam uma taxa de desmatamento de 1,60% no mencionado período.

Segundo Rodas (1998) no período de 1945 a 1985 foram desmatados aproximadamente 123.000 ha/ano; de 1985 a 1991 houve um aumento de mais de 100% saltando para 290.000 ha/ano, e no período compreendido entre 1994/1995 120.000 ha, diminuindo no período 1996/1997 aproximadamente entre 35.000 a 50.000 Há/ano sendo estas áreas desmatadas utilizadas para pastagens, cultura de soja, trigo e algodão. O total desmatado segundo este autor foi de 77,56% em cinquenta e dois anos, correspondendo a um índice de desmatamento de 1,49% em média. A informação destaca um total de 1.910.000 há. de desmatamento no período compreendido entre 1985 a 1997, correspondendo a um total de 38,82% de desflorestamento da mata original no período citado. Isto corresponde a um índice de 3,2% anual.

Para Huespe Fatecha *et al.*, (1994) a taxa média de desmatamento na Região Oriental no período compreendido entre 1984 a 1991 é de 4,7% como observado na

Tabela 1. De acordo com a mesma fonte, podemos observar que a taxa de desmatamento anual no Departamento de Canindeyú nesse período é de 4,4%.

TABELA 1 - COBERTURA FLORESTAL NA REGIÃO ORIENTAL DO PARAGUAI 1984 A 1991

Departamento	Cobertura florestal em 1991(km <sup>2</sup> )	Desmatamento de 1984 a 1991		Taxa de desmatamento anual	
		Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup> /ano	%
Alto Paraná	3.902,26	4.637,17	54	662,45	7,7
Itapúa	2.657,76	3.088,12	54	441,16	7,7
Caaguazú	2.344,61	1.804,77	44	257,82	6,3
Central	54,31	40,56	43	5,79	6,1
San Pedro	4.603,17	3.330,80	42	475,83	6,0
Caazapá	2.114,76	1.290,76	38	184,39	5,4
Canindeyú	6.699,64	3.015,38	31	430,77	4,4
Paraguarí	334,02	137,76	29	19,68	4,1
Guairá	538,68	224,61	29	32,09	4,1
Cordillera	259,99	105,37	29	15,05	4,1
Amambay	4.423,90	1.454,00	25	207,71	3,6
Misiones	168,31	51,92	24	7,42	3,4
Concepción	5.245,07	1.006,73	16	143,82	2,3
Ñeembucú	76,80	10,63	12	1,52	1,7
Totais e Médias	33.423,28	20.198,58	33,57	206,10	4,7

FONTE: HUESPE FATECHA *et al.*, (1994).

O Departamento de Canindeyú onde se encontra inserida a bacia do rio Carapá está localizado na porção nordeste da Região Oriental do Paraguai. Possui uma superfície de 1.466.700 ha, correspondendo à 9,1% da Região e 3,6% do país. Segundo o levantamento da DGEEC (2002) a população do Departamento é de 140.137 habitantes que corresponde a 2,7% do país. Está constituída de sete distritos, Salto Del Guairá, Corpus Christi, Curuguaty, Igatimi, Itanará, Ypehjú, Gral. Francisco Caballero Alvarez.

#### 2.4.2 Bacia Hidrográfica do rio Carapá

A bacia hidrográfica do rio Carapá, localizada no departamento de Canindeyú, na região Oriental, porção leste do Paraguai é uma região de aproximadamente 267.000 hectares distribuídas em 7 municípios, como mostrado na Figura 3.

O principal curso de água é o rio Carapá, que por sua vez deságua na margem esquerda do rio Paraná. A região está localizada entre as coordenadas UTM 667.973m E, e 772.615m E; 7.287.936m N e 7.348.889m N, Fuso 21 e

apresenta uma altitude média de 337m, chegando a 220m na margem do lago da represa de Itaipú. O comportamento altimétrico é ilustrado na Figura 3, gerado a partir de informações de imagens SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) disponibilizados pela EMBRAPA na Web.



FIGURA 3 - SUB-BACIAS DA BACIA DO RIO CARAPÁ  
 FONTE: MINISTERIO DE HACIENDA, SERVICIO NACIONAL DE CATASTRO (2008)

A bacia hidrográfica do rio Carapá foi dividida pelo Projeto Carapá Ypoti (2008) em 55 sub-bacias. Destas foram tomadas as sub-bacias números 01; 18 e 49 para o presente estudo e estão localizadas em dois municípios; Corpus Christi e Francisco Caballero Alvarez. O critério para a escolha destas três sub-bacias deve-se ao fato de sua distribuição espacial na bacia do rio Carapá ser isolada uma da outra e também a diferenças na altitude média (Figura 4) entre elas: 326 m sub-

bacia 18; 343 m sub-bacia 01 e 375 m sub-bacia 49 (INPE-NASA, 2008), o que possibilitaria a priori uma diferença na tipologia de solos e usos para posterior análise comparativa.

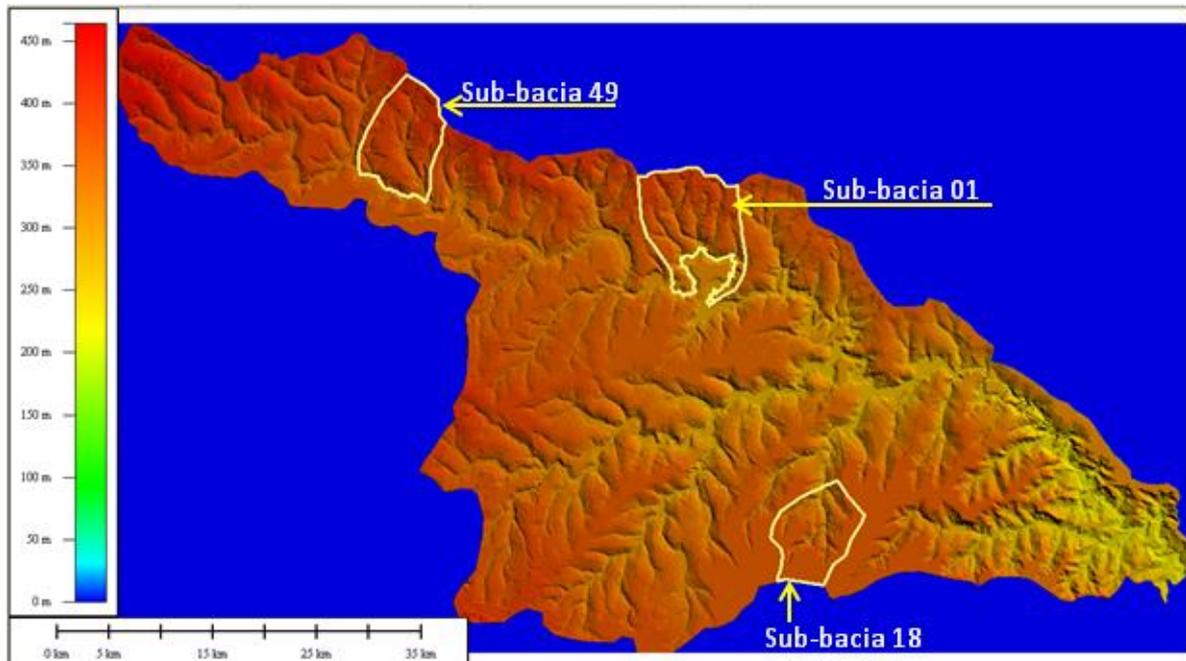


FIGURA 4 - IMAGEM SRTM DA BACIA DO RIO CARAPÁ  
 FONTE: INPE – NASA (2008)

A ocupação territorial predominante no município de Corpus Christi é a rural com exceção de pequenos centros urbano-rurais. A grande variedade da vegetação autóctone da área da bacia forma parte do denominado Bosque Atlântico Alto Paraná, que corresponde à porção ocidental do Bosque Atlântico Interior. Atualmente, remanescentes destes bosques encontram-se dispersos em fragmentos de diversos tamanhos.

A região apresenta uma proporção importante de solos originados de rochas basálticas, sendo que as restantes são derivadas de arenitos. Ambos os tipos de solos conformam aproximadamente 50% dos solos disponíveis e são consideradas aptas para a agricultura e suscetíveis à erosão.

O município de Corpus Christi é um dos mais antigos do departamento e foi nos últimos dez anos uma das principais contribuintes para o desmatamento massivo. Os colonos, principalmente brasileiros instalados na região foram os responsáveis desta atividade convertendo as áreas de bosque em extensos campos de lavoura e pastagens (PROYECTO CARAPÁ YPOTI, 2008). Segundo esta mesma

fonte, em Francisco Caballero Alvarez a ocupação territorial predominante é similar a Corpus Christi, ou seja, predomina a ocupação rural com exceção de pequenos centros urbano-rurais. A vegetação nativa é remanescente do Bosque Atlântico Interior, classificada segundo a (CIF, 1991)<sup>6</sup> como bosque alto contínuo. Existem na área fragmentos de diversos tamanhos em toda a área. A altura das espécies vegetais registradas na bacia varia de 5 a 8 m. Uma grande proporção dos solos deste município é originárias de rochas basálticas e arenitos totalizando aproximadamente 72% do total de solos disponíveis. São consideradas aptas para agricultura, mas suscetíveis à erosão.

No município de Francisco Caballero Alvarez ocorreu um desmatamento massivo ao longo dos últimos dez anos sendo responsáveis colonos brasileiros, que a exemplo do que aconteceu em Corpus Christi, também converteram grandes extensões de mata nativa em áreas de lavoura extensiva e pastagens (PROYECTO CARAPÁ YPOTI, 2008). Algumas características físicas das três áreas são apresentadas na Tabela 2.

TABELA 2 – CARACTERÍSTICAS DAS ÁREAS DE ESTUDO - SUB-BACIAS DO RIO CARAPÁ

Sub-Bacia	Localização	Altitude Min.(snm)	Altitude Max.(snm)	Município	Superfície (ha)
01	Porção Norte	297 m	390 m	Francisco C. Alvarez	8.518,80
18	Porção Sul	289 m	363 m	Francisco C. Alvarez	5.807,50
49	Porção Noroeste	331 m	419 m	Corpus Christi	6.578,70

FONTE: O autor (2009)

#### 2.4.3 Clima e Hidrologia

A região está caracterizada por possuir um clima do tipo subtropical úmido, mesotérmico, enquadrando-se de acordo com a classificação de *Köppen* no tipo Cfa, com verões quentes, geadas pouco frequentes, tendências a concentração das chuvas nos meses de verão (paralelo 24°S) sem estação seca definida (ATLAS AMBIENTAL, 1.995).

<sup>6</sup> Carrera de Ingeniería Forestal, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, República del Paraguay

A temperatura media anual é de 21°C, sendo que a média mínima é de 16,7°C e a média máxima é de 27,6°C. A evaporação média mensal alcança o valor mínimo de 55 mm em maio e um valor máximo de 105 mm em dezembro. O total anual é de 809 mm. A precipitação média anual é de 1.600 a 1.700 mm, bem distribuídas o ano todo, sendo que no trimestre de verão (dezembro, janeiro, fevereiro) chega a 500 mm e no trimestre de inverno (junho, julho e agosto) atinge em torno de 255 mm. O extremo nordeste da região é uma das zonas com maior precipitação no país. A umidade relativa do ar é alta em todos os meses do ano, com uma média anual de 84% (DHM, 2009)<sup>7</sup>. Projeto Carapá Ypoti (2008); ATLAS AMBIENTAL (1.995). A Figura 5 ilustra o comportamento da precipitação no ano de 2007 no Departamento de Canindeyú.

Referente à hidrografia da região, as águas do Departamento de Canindeyú drenam na direção de duas grandes bacias, a do Rio Paraguai (alto da bacia do Jejuí na metade oeste) e a do Rio Paraná que serve de limite internacional; em direção leste os rios mais importantes são o Jejuí guazú, Jejuí mi, Curuguay, Puendy (ATLAS AMBIENTAL, 1.995).

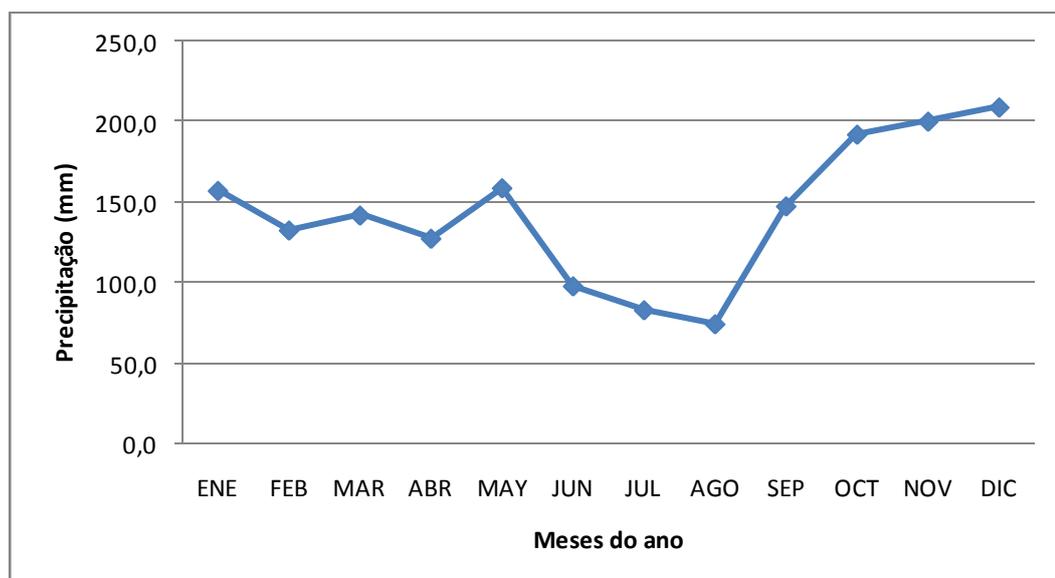


FIGURA 5 - PRECIPITAÇÃO PARA O ANO DE 2007 NA BACIA DO RIO CARAPÁ  
 FONTE: DHM (2009)

<sup>7</sup> Dirección de Hidrología y Meteorología, Ministerio de Defensa, República del Paraguay

#### 2.4.4 Geologia e Solos

A formação mais antiga é o *Tacuary*, do Permiano (Paleozoico), constituída por calcários oolíticos silicificados, depositados em ambientes deltaicos dominados pelas marés e oscilações marinhas. Repousam sobre elas arenitos eólicos da formação *Misiones* (Triásico, Mesozoico), cujo limite constitui a serra de *Mbaracayú* que divide o Departamento em dois, encontrando-se na direção leste as rochas basálticas da formação Alto Paraná (Cretáceo, Mesozoico). No limite norte com o Brasil e na própria serra de *Mbaracayú*, aparecem os arenitos da Formação *Acaray* (Cretáceo, Mesozoico) (ATLAS AMBIENTAL, 1.995).

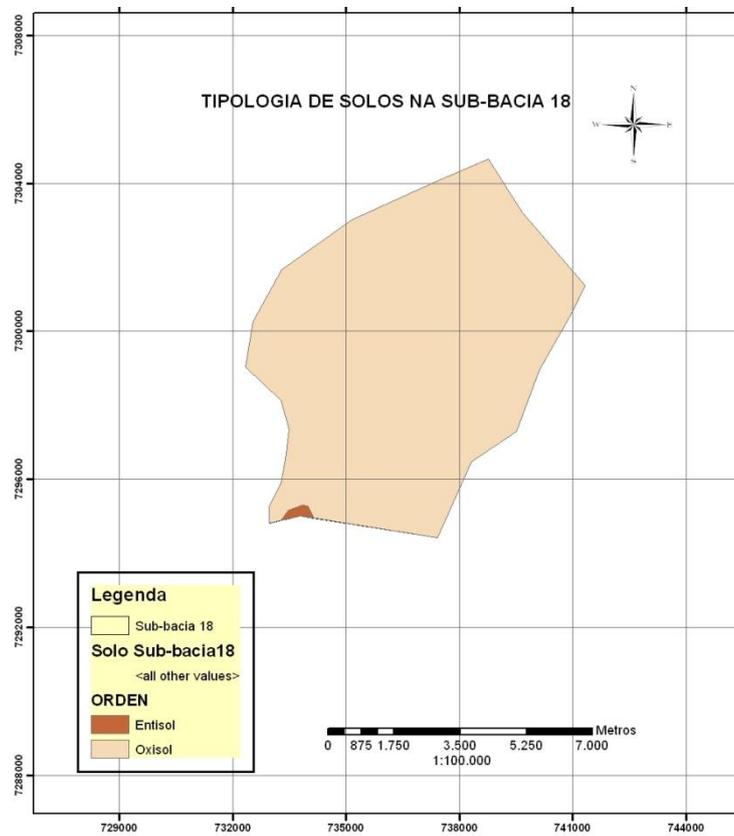
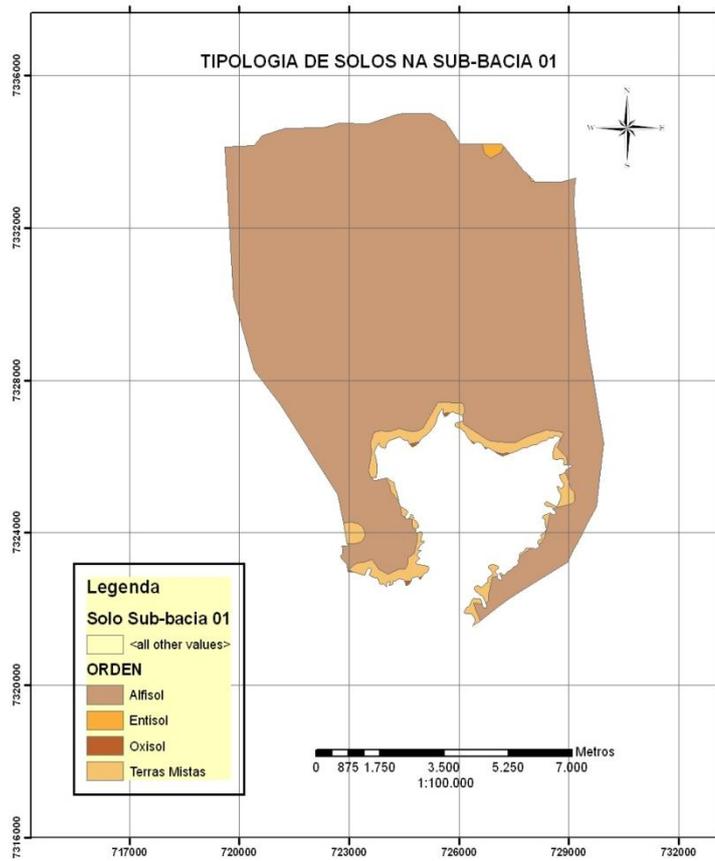
A geomorfologia das partes altas (500 a 600m s.n.m.) caracteriza-se pela Serra de *Mbaracayú*, com relevo ondulado a montanhoso (8 a 75% de declividade), a qual se constitui em divisa das águas dos rios Paraná e Paraguai, ficando ao leste as terras altas de origem basálticas com relevo suavemente ondulado a ondulado (3 a 20% de declive) e ao oeste as colinas arenosas de relevo ondulado suave (3 a 8% de declividade). Os solos predominantes na bacia do Paraná são as chamadas antigamente Terras vermelhas estruturadas, agora denominadas Nitossolos; Latossolos, Cambissolos e Litossolos atualmente Neossolos Litólicos (ATLAS AMBIENTAL, 1.995 e EMBRAPA, 2006).

A classificação taxonômica dos solos da Região Oriental do Paraguai foi realizada por López Gorostiaga *et al.* (1995) segundo o indicado na “*Keys to Soil Taxonomy*” da *Soil Survey Staff, Soil Management Support Services da Soil Conservation Service* de 1992, atualmente *Natural Resources Conservation Services, USDA*. Diante disto, o presente trabalho baseou-se nesses dados para a análise. Os solos encontrados nas três sub-bacias do rio Carapá, escolhidas para o estudo estão ilustradas na Tabela 3 e Figura 6 e apresentam a seguinte classificação (PARAGUAY, 1995; LÓPEZ GOROSTIAGA *et al.*, 1995). Entre parêntese sua correspondência aproximada no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006).

TABELA 3 – TIPOLOGIAS DE SOLOS ENCONTRADAS NAS SUB-BACIAS DO RIO CARAPÁ

SUB-BACIA	CLASSES DE SOLOS	SUB-GRUPO TAXONÔMICO
01	Alfissols (Luvisolos)	<i>Rhodic Paleudalf</i>
01 -18	Entissols (Neossolos litólicos)	<i>Lithic Udorthent</i>
01 – 18 - 49	Oxisols (Latossolos)	<i>Rhodic Kandiodox</i>
18 - 49	Terras mistas	-

FONTE: PARAGUAY (1995)



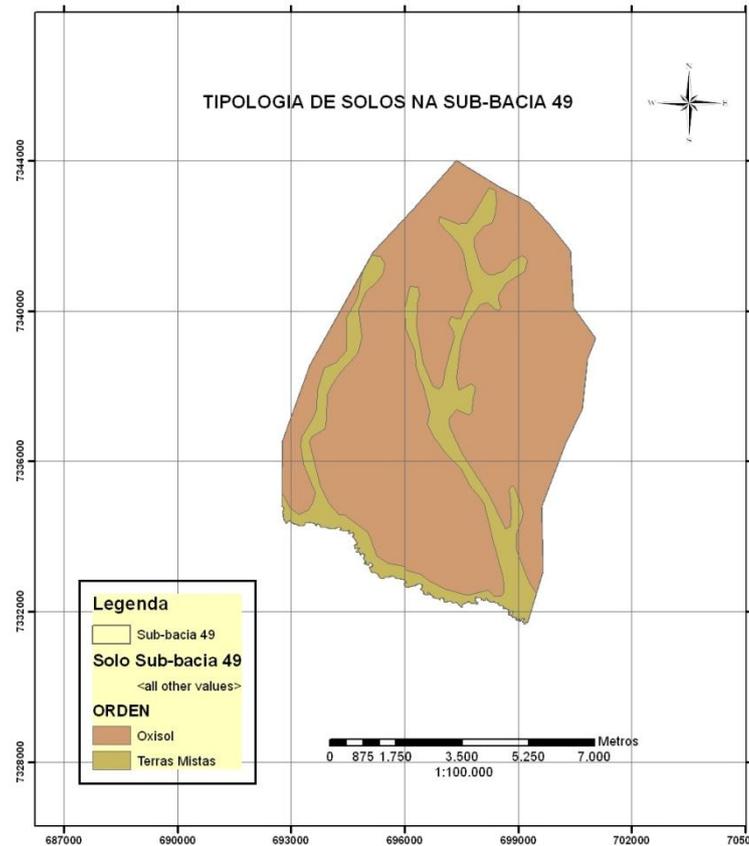


FIGURA 6 - TIPOLOGIAS DE SOLOS NAS SUB-BACIAS 01; 18 E 49 DO RIO CARAPÁ  
 FONTE: O autor (2009)

Os Alfissols (Luvissoles) são solos minerais que apresentam um horizonte argílico, que é um horizonte subsuperficial com porcentagem maior de argilas filosilicatadas que o material do solo subjacente. Apresenta evidências de iluviação de argila. O horizonte argílico forma-se por baixo da superfície do solo, mas pode estar exposto na superfície por erosão. Também podem apresentar um horizonte kándico, que é um horizonte subsuperficial verticalmente contínuo subjacente a um horizonte superficial de textura grossa. A espessura mínima deste horizonte superficial é de 18 cm após mistura ou de 5 cm se a transição de textura para o horizonte kándico é abrupta e não existe um contato dénsico, lítico, paralítico ou petroférico (definido posteriormente) dentro dos 50 cm da superfície do solo mineral (SOIL SURVEY STAFF, 2006).

No caso das sub-bacias do rio Carapá em estudo, a sub-bacia 01 é a única que apresenta solos da ordem Alfissols, subordem taxonômica *Rhodic Paleudalf* (PARAGUAY, 1995). Esta subordem possui subhorizontes dos 100 cm superiores do horizonte kándico ou em todo o horizonte argílico se sua espessura for menor que 100 cm, mais de 50% com as cores que apresentam as seguintes características:

Um *Hue* (matiz) de 2.5 YR ou mais avermelhado; e um *Value*, em umidade de 3 ou menos e um *Value* em seco não maior de 1 unidade mais alta que o valor úmido (SOIL SURVEY STAFF, 2006). Estes solos de acordo com as características que apresentam, são similares aos Luvisolos do Sistema brasileiro de classificação de solos (SiBCS), as quais são constituídas por material mineral, apresentando horizonte B textural com argila de atividade alta e alta saturação por bases, imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, exceto A chernozêmico, ou sob horizonte E (EMBRAPA, 2006).

A sub divisão textural do solo é franco grossa, paisagens predominante de colinas, o material de origem são os arenitos da formação *Misiones*, o relevo é de 3 – 8 %, possuem boa drenagem e nula presença de rochas e pedras (PARAGUAY, 1995). São encontrados também Entisols (Neossolos litólicos) que de acordo com o *Soil Survey Staff* (2006), os solos desta ordem podem apresentar uma ou mais das seguintes características: Condições áquicas e materiais sulfídicos dentro dos 50 cm da superfície do solo mineral; ou saturação permanente com água e uma matriz reduzida em todos os horizontes abaixo dos 25 cm a partir da superfície do solo mineral; ou ainda em uma capa acima de um contato dénsico, lítico ou paralítico ou em uma capa entre 40 e 50 cm abaixo da superfície do solo mineral, qualquer que esteja mais raso, condições áquicas por algum tempo em anos normais (ou drenagem artificial). Além disso, pode apresentar as seguintes características:

Textura mais fina que a areia francosa fina. Textura de areia francosa fina ou mais grossa. Suficiente ferro ferroso ativo para dar uma reação positiva ao dipiridil-alfa, alfa quando o solo não se encontra irrigado. São solos minerais com ausência de horizontes diagnósticos subsuperficial. São solos muito rasos, não alagados, onde a rocha de origem está a menos de 50 cm da superfície. Suas propriedades são inteiramente dominadas pelas da rocha de origem. Tipicamente, possuem sequência de horizontes A-C-R, onde R representa a rocha (EMBRAPA, 2006).

As sub-bacias do rio Carapá 01 e 18 apresentam a ordem Entisol e a subordem taxonômica *Lithic Udorthent* que significa que este tipo de solo possui um contato lítico dentro dos 50 cm da superfície do solo mineral. Estas sub-bacias diferem em algumas outras características como na subdivisão da textura, que é franco fina na sub-bacia 01 e argilosa muito fina na sub-bacia 18; a característica da paisagem de colinas é igual nas duas; o material de origem arenito na sub-bacia 01

e basalto na sub-bacia 18; relevo de 8 – 15% nos dois locais, drenagem excessiva na sub-bacia 01 e boa na sub-bacia 18; moderada presença de rochas e pedras nas duas sub-bacias (PARAGUAY,1995).

Os Oxisols (Latosolos), encontrados em todas as áreas de estudo, são solos que possuem um horizonte óxico e têm seu limite superior dentro dos 150 cm da superfície do solo mineral e não tem um horizonte kándico com seu limite superior dentro dessa profundidade ou que tenham 40% ou mais (por peso) de argila na fração de terra fina entre a superfície do solo mineral e a uma profundidade de 18 cm (depois de misturado); e um horizonte kándico que tenha as propriedades de minerais intemperizáveis de um horizonte óxico e tenha seu limite superior dentro dos 100 cm da superfície do solo mineral (SOIL SURVEY STAFF, 2006). Solos minerais que são altamente intemperizados com teores elevados de Al e Fe, semelhantes aos Latossolos do SiBCS. São solos profundos, muito bem drenados, homogêneos e altamente intemperizados e lixiviados. Tendem a ter teores de argila médios ou altos. Tipicamente, possuem seqüência de horizontes A-Bw, onde Bw significa horizonte B latossólico (EMBRAPA, 2006).

Encontramos esta ordem de solos nas três sub-bacias do rio Carapá. Em todas aparece a subordem taxonômica *Rhodic Kandiodox* (LÓPEZ GOROSTIAGA *et al.*,1995) que se caracterizam por ter em todos os horizontes, a uma profundidade entre 25 a 125 cm a partir da superfície do solo mineral, mais de 50% as seguintes cores: Hue (matiz) de 2.5 YR ou mais avermelhada; e um *Value* em umidade de 3 ou menos (SOIL SURVEY STAFF, 2006). Além disso, apresenta subdivisão de textura argilosa muito fina nas três bacias; paisagem de colina também; tendo como material de origem basalto em todas, relevo de 3 – 8% nas sub-bacias 01 e 18, sendo 0 – 3% na sub-bacia 49; boa drenagem e nula presença de rochas e pedras nas três sub-bacias (PARAGUAY,1995).

Com relação a Terras Mistras, não foi encontrada correspondência com o SiBCS. De acordo com o levantamento feito por López Gorostiaga *et al.*, (1995), as unidades encontradas no Mapa de Reconhecimento de solos da Região Oriental denominadas desta forma são utilizadas para designar áreas que carecem essencialmente de solos ou as têm em pequenas inclusões e por suas características de permanente umidade, são difíceis ou até mesmo impossíveis de ser classificadas taxonomicamente, como por exemplo, os banhados. Se estiverem

localizados em áreas com bastante inclusão de solos a unidade de mapeamento é denominada como Complexo ou Associação de Terras Mistas ou Solos.

Nas sub-bacias 18 e 49 do rio Carapá encontram-se esta unidade, com a característica de paisagem de colina; tendo como material de origem intrusões alcalinas e sedimento aluvial; relevo de 0 - 3% com boa drenagem e nula presença de rochas e pedras (PARAGUAY, 1995).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia utilizada para determinação do escoamento superficial nas três sub-bacias do rio Carapá, pode ser dividida em duas etapas. A primeira consiste na análise multitemporal das mudanças da vegetação nativa e classificação dos usos do solo através de técnicas de Sensoriamento Remoto e a segunda parte consiste na análise das classes geradas com a adição dos dados de tipologias de solos para gerar os Parâmetros Hidrológicos através do modelo de Curva Número do *Soil Survey Staff*, do Serviço de Conservação de Recursos Naturais (NRCS) dos Estados Unidos.

#### 3.1 APLICATIVOS COMPUTACIONAIS E BASE DE DADOS

Na presente investigação foram empregados os seguintes aplicativos computacionais:

- ENVI® 4.2: para o tratamento das imagens.
- EDISON (*Edge Detection and Image Segmentation System*): para segmentação das imagens.
- MATLAB® 7.1: para correção das imagens e integração de dados.
- MultiSPecW32®: para a classificação dos usos da cobertura do solo.
- ArcGIS® 9: tratamento de dados vetoriais, análises e preparação de mapas.

Na Figura 7 é apresentado um esquema das funções dos aplicativos computacionais utilizados. No estudo foram utilizados dois tipos de formatos de dados: vetorial e matricial ou raster. Os dados raster referem-se às imagens de satélite Landsat 5 TM (*Thematic Mapper*) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) disponibilizadas em forma gratuita para o público através da internet. Com a utilização de programas como ENVI, MULTISPEC, ArcGis, EDISON e MATLAB foram processados e elaborados os mapas temáticos.

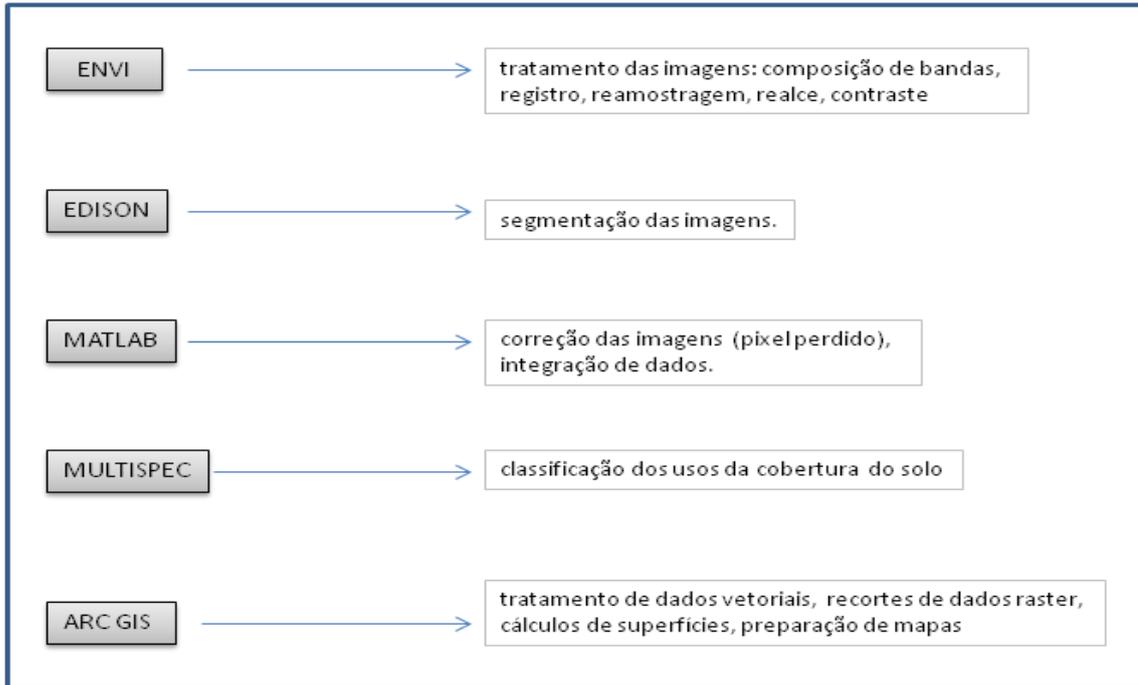


FIGURA 7 - APLICATIVOS COMPUTACIONAIS E SUAS FUNÇÕES  
 FONTE: O autor (2009)

Posterior a aquisição das imagens na Rede de Computadores (Web), as mesmas são arquivadas no formato *Geotiff* com o objetivo de incorporar as coordenadas geográficas, projeção e Datum. Adotou-se o sistema de coordenadas *Universal Transversa de Mercator* (UTM) Datum WGS 84, zona 21, em função da utilização difundida no Paraguai destes sistemas de coordenadas. As características das imagens utilizadas podem ser observadas na Tabela 4.

TABELA 4 - CARACTERÍSTICAS DAS IMAGENS UTILIZADAS

NOME	ANO	DATA	ESPECIFICAÇÕES	PROJEÇÃO / DATUM	FONTE
Landsat 5 TM	1985	22/08	Ponto 224 – Órbita 77 – bandas 5 4 3	UTM / WGS 84	INPE
Landsat 5 TM	1999	09/05	Ponto 224 – Órbita 77 – bandas 5 4 3	UTM / WGS 84	INPE
Landsat 5 TM	2007	04/09	Ponto 224 – Órbita 77 – bandas 5 4 3	UTM / WGS 84	INPE

FONTE: O autor (2009)

A base de dados vetorial do perímetro da bacia e suas subdivisões foram adquiridas junto ao Projeto Carapá Ypoti (2008) desenvolvida em convênio com a ITAIPU Binacional, a Secretaria do Ambiente do Paraguai (SEAM). Os dados

vetorias de solos correspondem à base do *Servicio Nacional de Catastro*, do *Ministerio de Hacienda* do Paraguai.

### 3.2 ANÁLISE DE ERROS

Segundo Jensen (1996), infelizmente os erros são introduzidos em vários estágios do processo de sensoriamento remoto e devem ser identificados, minimizados e informados. Este mesmo autor, citando a Felix e Binney (1989) observa que algumas vezes somos produtores de mapas de classificação e por vezes somos usuários deles. Portanto, precisa-se sempre informar todas as três medidas de exatidão; acurácia global, acurácia do produtor e acurácia do usuário, porque nunca se sabe como a classificação poderá ser utilizada.

Diante deste fato, antes de realizar a classificação das imagens correspondentes às três regiões de estudo com o software Multispec, foi feita uma análise dos erros de classificação das amostras de cada classe adquiridas nas imagens segmentadas. Para esta análise foi utilizado o coeficiente *Kappa* ( $K_{hat}$ ), que é uma medida de acordo ou de concordância; ele é calculado como

$$K_{hat} = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})} \quad (1)$$

onde:

$r$  = é o número de linhas na matriz

$x_{ii}$  = é o número de observações na linha  $i$  e coluna  $i$

$x_{i+}$  = são os totais marginais da linha  $i$  e coluna  $i$  respectivamente,

$N$  = é o total de número de observações.

Passo seguinte foi utilizado a divergência transformada para a medida de separação das classes utilizando pesos iguais para as mesmas. A divergência, segundo Richards e Jia (2006) é uma medida de separabilidade de um par de distribuições de probabilidades que tem sua base no seu grau de sobreposição. Os valores resultantes das análises definirão a separabilidade das classes em base a confrontação dos pares de bandas utilizados.

Ao aplicar o coeficiente de divergência transformada foi observada na maioria das imagens uma separabilidade satisfatória das classes com exceção de algumas amostras da sub-bacia 18 do rio Carapá. As mesmas apresentavam valores que indicavam confusão entre as classes Mata Nativa e Vegetação Secundaria. Para determinar a veracidade das informações resultantes da análise estatística, foi realizada a verificação visual da imagem original para decidir finalmente a que classe pertencia às amostras em questão.

### 3.3 ANÁLISE MULTITEMPORAL

#### 3.3.1 Preparação das imagens

Para o desenvolvimento do trabalho empregaram-se técnicas de Sensoriamento Remoto (registro, segmentação, realce, contraste entre outros). Três foram no total as imagens analisadas no estudo e são de 22 de agosto de 1985, 09 de maio de 1999 e 04 de setembro de 2007 correspondendo à estação seca. As imagens escolhidas não apresentavam presença de nuvens, fator favorável para evitar confusão na hora da classificação. As bandas 3, 4 e 5 foram as escolhidas para o mapeamento, visto a característica favorável para a identificação da vegetação (Quadro 1).

Satélite	Banda	Principais Características
LANDSAT TM	<b>3</b>	A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, cerrado e floresta). Permite análise da variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas.

Continua

## Conclusão

Satélite	Banda	Principais Características
	4	Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal). Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Serve para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais. Serve para separar e mapear áreas ocupadas com <i>pinus</i> e <i>eucalipto</i> . Serve para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas (ex.: aguapé). Permite a identificação de áreas agrícolas.
LANDSAT TM	5	Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.

QUADRO 1 – BANDAS DO SATÉLITE LANDSAT 5 TM UTILIZADAS  
 FONTE: INPE (2008)

O motivo pelo qual foram escolhidos esses anos corresponde ao período em que o desmatamento se acentua na região Oriental do Paraguai ocorrendo uma diminuição significativa da massa florestal (HUESPE FATECHA, 1994; RODAS, 1998) e a disponibilidade de informações referentes a imagens de satélite na época. As imagens adquiridas encontram-se na órbita 224 e ponto 077. Após a obtenção das imagens no site do INPE, as mesmas foram abertas e processadas no ambiente ENVI 4.3 com o objetivo de realizar a composição das bandas, que são disponibilizadas em arquivos separados. Deste modo é possível abrir a imagem multibanda para prosseguir com o tratamento das mesmas para posterior análise. Na Figura 7 são apresentadas as imagens multibandas utilizadas como base para o tratamento e classificação.

### 3.3.2 Correção das imagens de satélite

Para o georreferenciamento das imagens foi utilizado o mosaico de imagem ortorretificadas 224\_77 disponível na base Landsat da NASA.

O georreferenciamento ou registro das imagens permite a equivalência dos dados espaciais e foi realizada no software ENVI.

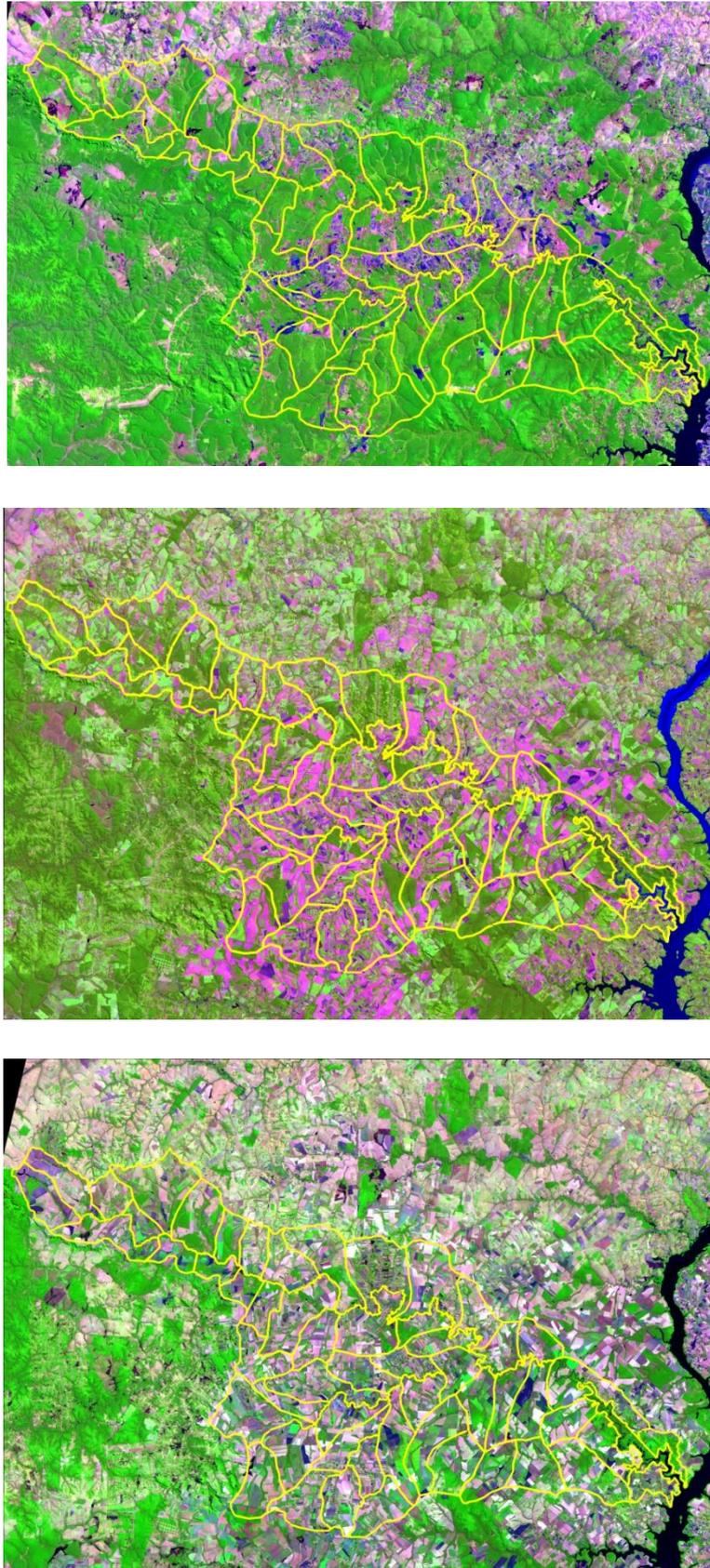


FIGURA 8 - RECORTE DA IMAGEM DA BACIA DO RIO CARAPÁ 1985, 1999 E 2007  
FONTE: INPE (2008)

A transformação geométrica foi realizada com o método de polinômios de primeiro grau e reamostragem com o método de vizinho mais próximo (*Nearest Neighbor*) a partir da observação de pontos de controle distribuídos nas imagens. Foram realizados os recortes das imagens em tamanhos que incluam as bacias a serem estudadas.

Dado que algumas imagens apresentavam *pixel* perdido e problemas nas imagens devido a falhas do sensor imageador, foram feitas correção das mesmas utilizando o programa MATLAB 7.1. Estes problemas se apresentavam na forma de pequenas manchas longitudinais em alguns pontos da imagem. Na correção deste problema foi feita uma média do *pixel* posterior e anterior da linha que apresentava o elemento faltante. No caso de problemas com *pixel* individual foi feita uma média através do algoritmo de vizinho mais próximo.

### 3.3.3 Segmentação

Foi realizado um pré-processamento das imagens recortadas no ambiente ENVI para realçar a vegetação antes de realizar a segmentação. As imagens recortadas foram posteriormente segmentadas, pois na primeira tentativa de classificação notou-se uma confusão entre as classes selecionadas para análise. Este procedimento foi realizado através do programa EDISON (*Edge Detection and Image Segmentation System*). A segmentação da imagem é um procedimento onde se tenta solucionar o problema da subjetividade na aquisição das amostras feito segundo um critério estabelecido pelo analista. É um processo onde se busca a homogeneidade, que significa a similaridade em valores de *pixel* que é aplicada sobre a imagem, na decomposição dos níveis de cinza ou na cor das imagens decompondo-os em pedaços homogêneos (COMANICIU e MEER, 2002).

No processo, as imagens foram divididas em regiões espectralmente homogêneas, tendo como parâmetros a cor, relacionado à informação espectral o qual definiu a variação de valores dos *pixels*, a forma das regiões consideradas que indicam o agrupamento segundo a similaridade das formas e a área mínima dessas

regiões que permite que pequenas feições sejam mantidas considerando uma tendência no processo de agrupamento de desconsiderar áreas muito pequenas ou que tenham aspectos muito finos na imagem. Na Figura 9 é ilustrado o ambiente de processamento do software EDISON. Estes valores eram testados até obter-se uma diferenciação satisfatória, visualmente, da tipologia de uso em cada bacia.

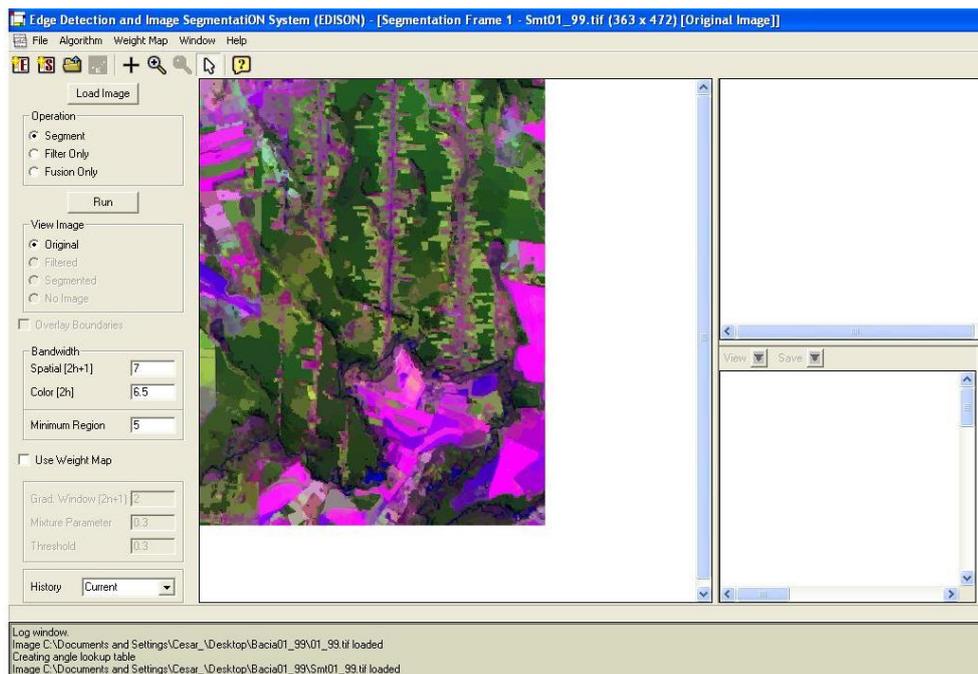


FIGURA 9 - AMBIENTE DE PROCESSAMENTO DO PROGRAMA EDISON  
FONTE: O autor (2009)

### 3.3.4 Recorte das áreas

As imagens geradas posterior à segmentação foram convertidas no formato *Tiff/Geo Tiff* através do ENVI e novamente georreferenciadas adicionando a imagem gerada o arquivo *.tfw*. Com isso foi possível abrir as imagens no programa ArcMap 9.2 para o recorte da área de cada uma das bacias utilizando como máscara o arquivo vetorial do perímetro de cada uma das bacias em estudo. Isto é feito visando diminuir o tempo de processamento em função da diminuição de informação. A ilustração do resultado deste processo pode ser verificada nas figuras 10; 11 e 12.

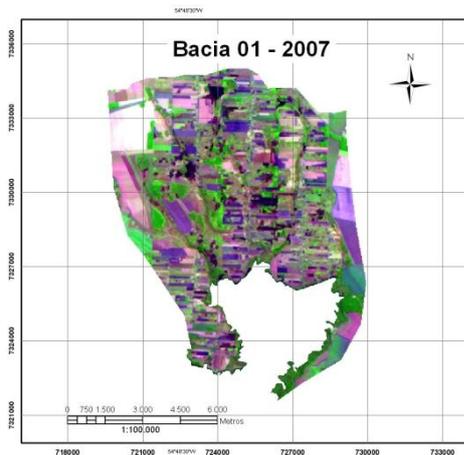
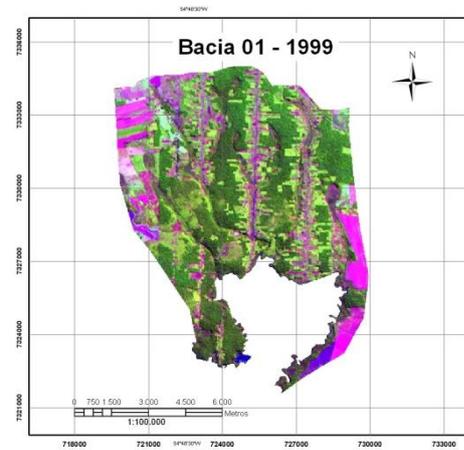
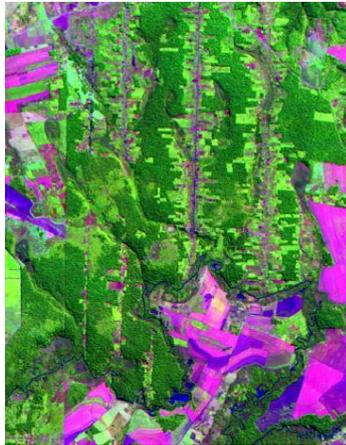
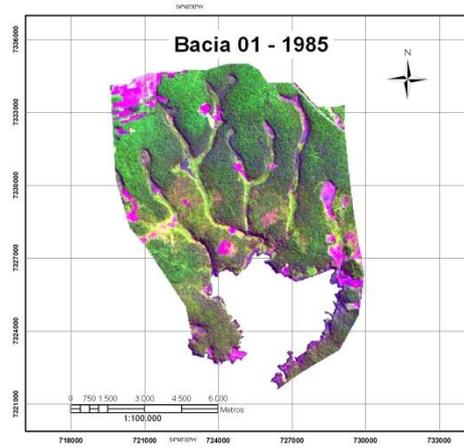
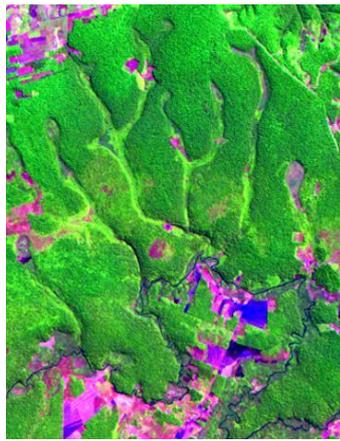


FIGURA 10 - IMAGEM SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 1985, 1999 E 2007  
 FONTE: INPE (2008)

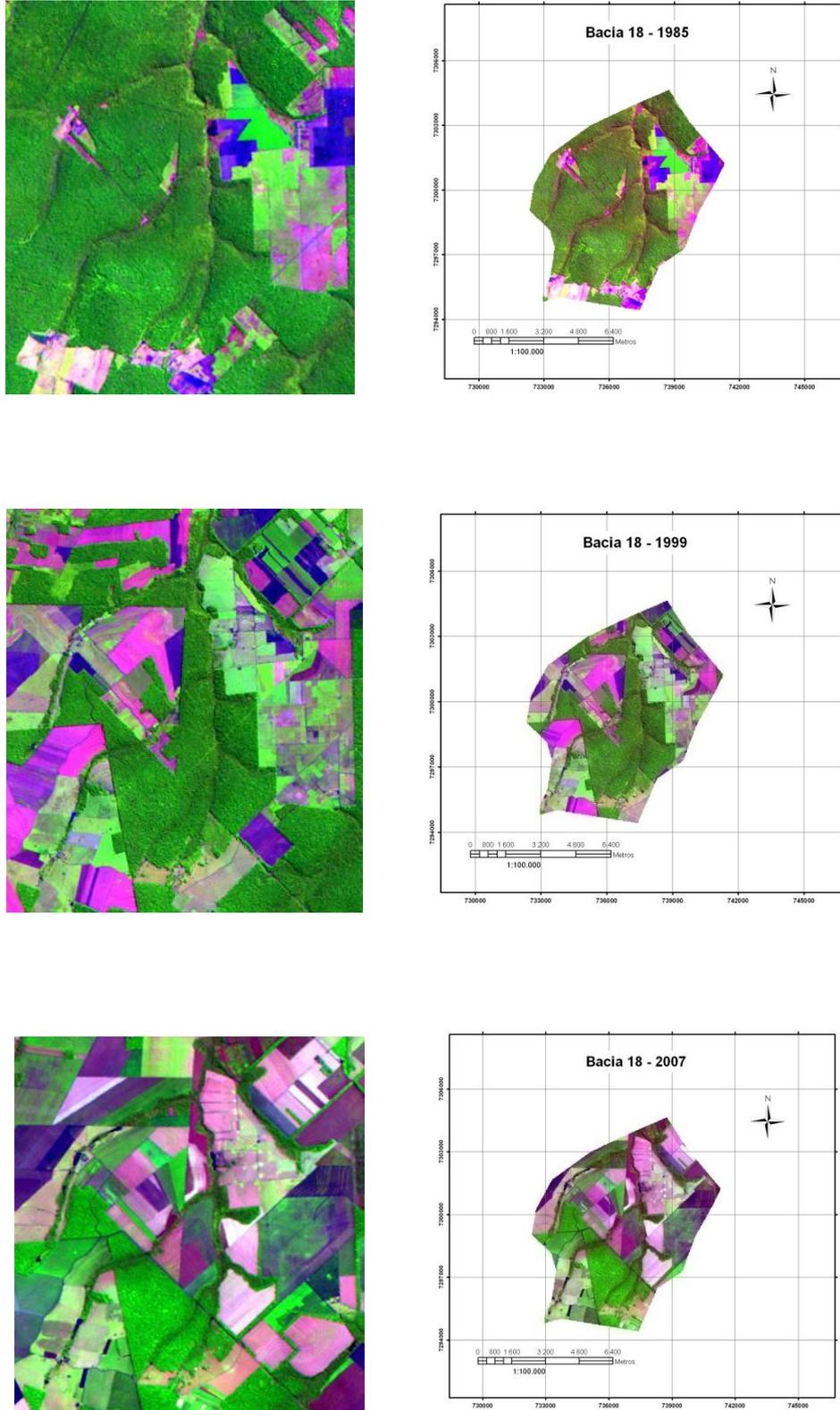


FIGURA 11 - IMAGEM SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 1985, 1999 E 2007  
FONTE: INPE (2008)

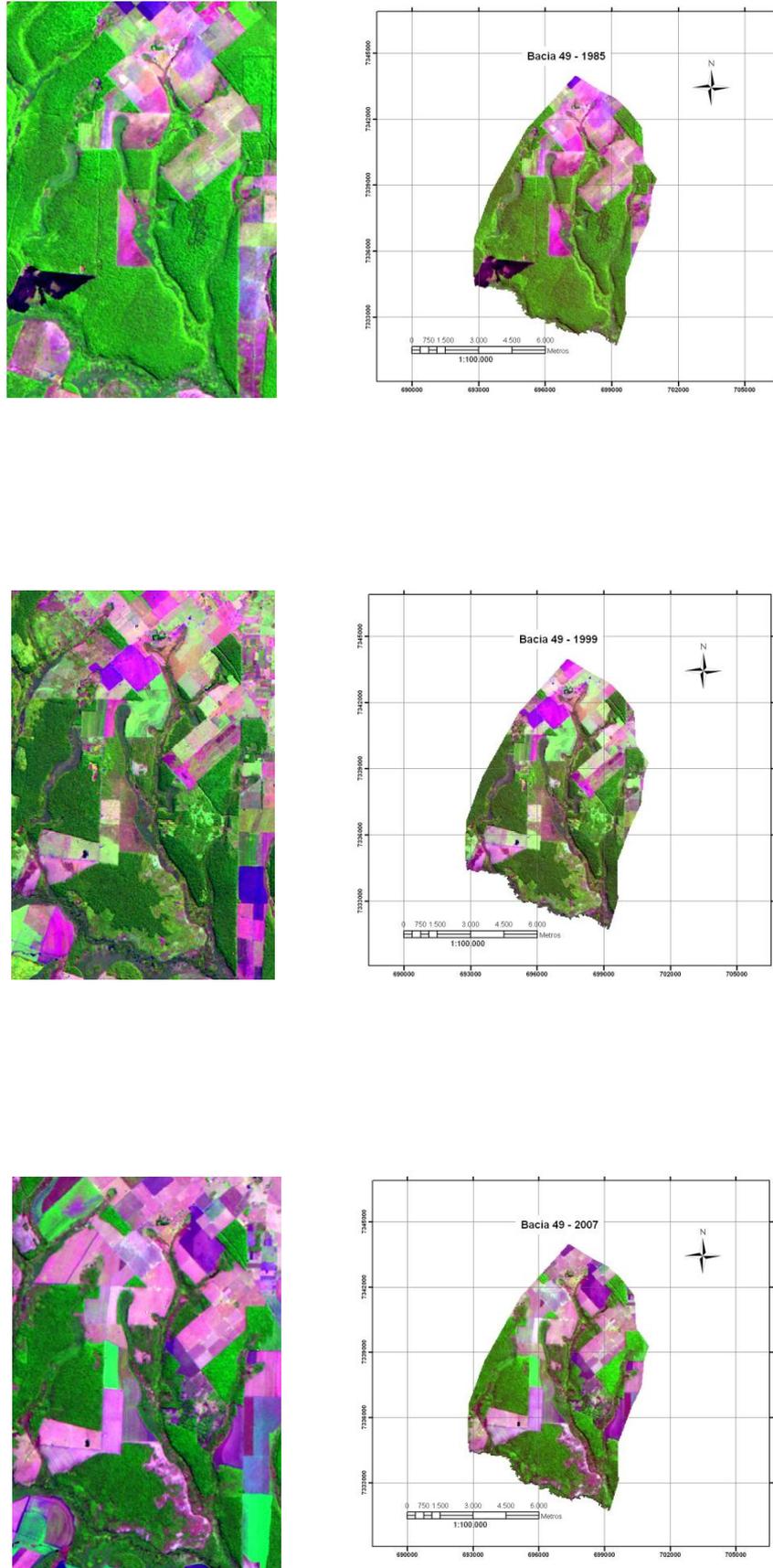


FIGURA 12 - IMAGEM SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 1985, 1999 E 2007  
FONTE: INPE (2008)

### 3.3.5 Tipologias de uso do solo

Os arquivos guardados com a extensão *.tif* foram abertos no programa MULTISPEC W32 e realizado o treinamento para a classificação propriamente dita. O método utilizado foi a classificação supervisionada utilizando a técnica de MAXVER (Máxima verossimilhança). A legenda dos mapas consistiu nas seguintes tipologias:

- Floresta nativa (Bosques): floresta em vários estágios de sucessão. A vegetação nativa presente na área de estudo, corresponde a restos da Floresta Atlântica (FRAGANO e CLAY, 2005). Pode ser classificado como Floresta Estacional Semidecidual (RODERJAN *et al.*, 2002). Atualmente, remanescentes deste bosque encontram-se dispersos em diversos tamanhos na região. O bosque ribeirinho encontra-se coberto por espécies típicas deste ecossistema.
- Vegetação secundária (tipologia utilizada nos dois primeiros períodos de estudo: 1985 e 1999): área com vegetação, mas com resposta espectral diferente de floresta nativa.
- Cultivos (tipologia utilizada nos dois primeiros períodos de estudo: 1985 e 1999): áreas destinadas a cultivos anuais ou campos naturais. Eventualmente podem apresentar resposta espectral de solos expostos dependendo do estado fenológico das plantas ou da época de preparação do terreno. Referem-se a culturas anuais, pastagens naturais ou implantadas e solos expostos.
- Pastagem: compreende as áreas cobertas por pastagens de acordo com a classificação do Projeto Carapá Ypoti (2008). A característica deste uso é que representam médios e grandes produtores que realizam manejos regulares com presença de curvas de níveis em grande parte das áreas.

- Alagados (Banhados): caracterizam-se pela presença de água, que cobre parte significativa de sua área total, saturando os sedimentos e criando condições de solo encharcado, geralmente, em um ambiente redutor, que permite apenas o desenvolvimento de espécies vegetais adaptadas a essas condições. Na classificação de vegetação do Manual Técnico da vegetação brasileira (IBGE, 1992) os banhados aparecem como Áreas Pioneiras de Influência Fluvial.

A definição destas classes obedece ao fato de que um dos objetivos da análise é a quantificação da mudança que ocorre na vegetação arbórea ao longo do período de estudo. Deste modo, as classes com resposta espectral diferente do que seria a floresta nativa representam um papel secundário na análise final.

Para satisfazer o segundo objetivo, qual é a análise de Números Hidrológicos, foram utilizados dados de levantamento dos usos realizados pelo Projeto Carapá Ypotí (2008) relacionados com os usos de Cultivo e Pastagem das referidas bacias. O uso denominado Mata Nativa é o resultado da resposta espectral obtida na classificação supervisionada.

### 3.3.6 Elaboração de mapas

Após a classificação da cobertura e uso do solo, foi realizada uma exportação dos dados para o ambiente SIG utilizando o Arc View Gis através da ferramenta *Spatial Analyst* (ESRI, 2006) para a elaboração dos mapas. Para tanto, foi utilizada a ferramenta de conversão de arquivo em formato *raster* para vetorial. Os arquivos assim transformados foram quantificados através da ferramenta cálculo de área (ET Geowizard). Isso é feito automaticamente, onde o programa gera os atributos de cálculo de cada um dos polígonos e os acrescenta na tabela de atributos da classe selecionada. Para o mesmo foi utilizada o sistema de medidas em km<sup>2</sup> em função da extensão das bacias. Uma vez calculado o total das áreas em cada classe pelo somatório das áreas dos polígonos também foram calculados os percentuais de cada classe para cada ano.

### 3.4 ANÁLISE DE NÚMEROS HIDROLÓGICOS (CURVA NÚMERO)

Para a análise de Números Hidrológicos foram utilizados os dados resultantes da análise multitemporal para a determinação dos usos do solo nas três bacias nos três períodos, quais são os anos de 1985, 1999 e 2007. Através do programa ArcView Gis, *Analysis tools* (ESRI, 2006) foi possível cruzar os dados de tipologia de uso e tipo de solos encontrados nas diferentes unidades de estudo. Os dados de uso do solo em formato *shapefile* correspondem ao levantamento realizado por López Gorostiaga, *et al.*, (1995) disponíveis em escala 1:500.000. Com base destes dados foram calculados os diferentes componentes hidrológicos a fim de determinar o escoamento superficial das bacias, de acordo com a metodologia da NRSC.

Para tanto, foi simulado uma precipitação de 70 mm com uma duração de 1 hora e dez minutos objetivando a comparação do comportamento do escoamento superficial nas três sub-bacias nos três períodos supracitados. O intuito de simular um temporal de tal magnitude é totalmente acadêmico para evidenciar as diferenças que possam ocorrer nas três áreas estudadas. Tomou-se como referência de umidade antecedente normal (NII).

As condições de umidade antecedente referem-se a três situações: NI que implica em uma condição do solo seco, mas sem chegar ao ponto de Murcha permanente; NII à condição de umidade normal do solo e NIII corresponde a um solo saturado ou que esteja muito próximo da saturação. No Anexo 1, encontram-se as diferentes tipologias de uso do solo enquadradas nestas três condições de umidade. Além disso, são apresentadas as classes hidrológicas em função do conteúdo de argila, silte e areia (tipologia de solo), enquadradas nas classes A, B, C e D. Quanto maior é o conteúdo de areia, maior é a velocidade de infiltração de água no solo. Da mesma forma, quanto maior é o conteúdo de argila, menor velocidade de infiltração.

Para determinação do número de curva para os usos encontrados na classificação foi utilizada a Tabela 5 de CN (adaptação espanhola).

TABELA 5 - VALORES DA CURVA NÚMERO PARA BACIAS RURAIS

Tipo de Uso do Solo	Superfície	A	B	C	D
Solo Lavrado	Com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	Em fileiras retas	70	80	87	90
Plantações Regulares.	Em curvas de nível	67	77	83	87
	Terraços em curvas de nível	64	76	84	88
	Em fileiras retas	64	76	84	88
Plantações de Cereais	Em curvas de nível	62	74	82	85
	Terraços em curvas de nível	60	71	79	82
	Em fileiras retas	62	75	83	87
Plantações de Legumes ou Cultivados (Horticultura)	Em curvas de nível	60	72	81	84
	Terraços em curvas de nível	57	70	78	89
	Pobres	68	79	86	89
	Normais	49	69	79	94
Pastagens	Boas	39	61	74	80
	Pobres em curvas de nível	47	67	81	88
	Normais em curvas de nível	25	59	75	83
Campos Permanentes	Boas em curvas de nível	6	35	70	79
	Normais	30	58	71	78
	Esparsos de baixa transpiração	45	66	77	83
	Normais de média transpiração	36	60	73	79
Chácaras com estradas de Terra	Densos de alta transpiração	25	55	70	77
	Normais	56	75	86	91
	Má conservação	72	82	87	89
Florestas	De superfícies duras	74	84	90	92
	Esparsas, baixa transpiração	56	75	86	91
	Esparsas	46	68	78	84
	Densas de alta transpiração	26	52	62	69
	Normais	36	60	70	76

FONTE: TUCCI *et al.*, (1993)

NOTA: Tipologia Cultivo (1985; 1999): Solo lavrado, plantações regulares, plantações de cereais, plantações de legumes ou cultivados, pastagens, campos permanentes, chácaras com estradas de terra. Cultivo (2007) Plantações regulares com terraços em curva de nível. Tipologia Vegetação secundária (1985; 1999): Floresta esparsa de baixa transpiração. Tipologia Floresta nativa: Florestas Normais. Tipologia Pastagem (2007): Pastos cultivados que cobrem à maior parte do ano todas as áreas com curva de nível.

Como não pode ser verificado espectralmente a característica particular de uso para os períodos 1985 e 1999 no que se refere a Cultivo proceder-se-á realizar uma média dos valores de curvas números. As classes vinculadas foram: solo lavrado, plantações regulares, plantações de cereais, plantações de legumes ou cultivados, pastagens, campos permanentes e chácaras com estradas de terra. Para determinar o valor CN da tipologia Vegetação secundária nestes períodos, enquadrou-se na tabela como florestas esparsas de baixa transpiração. No caso de Mata Nativa foi considerado na categoria de florestas normais. Este enquadramento foi utilizado nos três períodos.

No caso da classificação 2007, foram utilizados dados conhecidos do projeto Carapá Ypoti (2007) para a determinação da CN, enquadrando a tipologia Cultivo como plantações regulares com terraços em curva de nível. Da mesma forma, para a caracterização da tipologia Pastagem definiu-se como pastos cultivados que cobrem à maior parte do ano todas as áreas com curvas de nível. Também ocorre a presença de áreas com prados naturais as quais são também aproveitados pelo gado. A classe Alagados (banhados) utilizada nesta análise, em função de suas características mencionados por Chow, Maidment e Mays (1994) e Ferrer Juliá *et al.* (2003) corresponde um valor CN de 100, pois, são áreas que apresentam lâminas de água e tudo o que precipita nelas se converte em escoamento.

Para o entendimento dos componentes e processo de análise dos Números Hidrológicos, é apresentado a seguir material de aula preparado por Rizzi (2010).

### 3.4.1 Enquadramento das classes de solos

O primeiro passo é o enquadramento das classes de solo. A partir da textura dos solos e de sua espessura se pode enquadrar os solos em classe A, B, C, D de acordo com a metodologia (ábaco) da SOIL SURVEY STAFF (2006), Tabela 6 e Figura 13.

É apresentada a seguir a definição das classes de solos de acordo com a *Soil Conservation Service* (SOIL SURVEY STAFF) in. TUCCI *et al.* (1993).

Classe A - Solos com alta capacidade de infiltração (baixo potencial de *runoff* ou escoamento superficial) quando totalmente molhados, consistindo de camadas de areia e cascalhos profundos, de drenagem boa a excessiva. Apresentam pouco silte e argila. Tais solos apresentam alto índice de transmissão de água. Possuem capacidade de infiltração (*fc*) de 7,6 – 11,4 mm/hora. Solos arenosos profundos com pouco silte e argila.

TABELA 6 - CLASSES HIDROLÓGICAS DAS CLASSES DE SOLOS UTILIZADAS

Classes de solos	Classes hidrológicas
Alfisols (Luvisolos)	C
Entisols (Neossolos litólicos)	D
Oxisols (Latosolos)	C
Terras mistas	D

FONTE: O autor (2009)

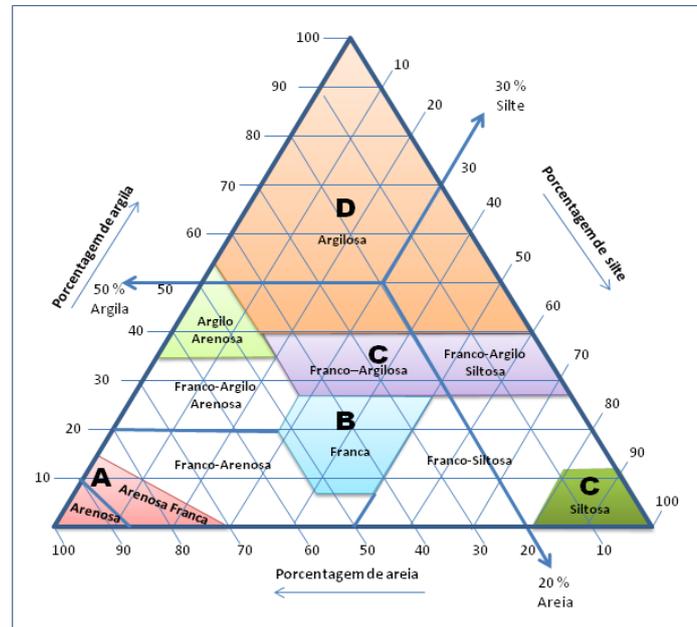


FIGURA 13 - CLASSES TEXTURAIS BÁSICAS DE SOLOS  
 FONTE: ADAPTADA DE USDA, SOIL SURVEY STAFF (2006)

Classe B - Solos com capacidade de infiltração moderada quando totalmente molhados, consistindo de solos de profundidade moderada a alta, drenagem moderada a alta, textura moderadamente fina a moderadamente grossa. Tais solos apresentam taxas moderadas de transmissão de água. Capacidade de infiltração (fc) de 3,8 – 7,6 mm/hora. Solos arenosos menos profundos do que A.

Classe C - Solos com baixa capacidade de infiltração quando totalmente molhados, consistindo de solos que contém camadas impermeáveis que impedem o movimento descendente da água, ou solos de textura moderadamente fina a fina, com boa percentagem de argila. Tais solos apresentam baixas taxas de transmissão de água. Capacidade de infiltração (fc) de 1,3 – 3,8 mm/hora. Solos contendo percentagem considerável de argila.

Classe D - Solos com capacidade de infiltração muito baixa (alto potencial de *runoff*) quando totalmente molhados, consistindo de solos argilosos com alto potencial de intumescimento, ou com lençol freático permanentemente superficial, ou com camada de impedimento superficial, ou solos rasos assentados sobre estrato impermeável. Tais solos apresentam taxa de transmissão de água muito

baixa. Capacidade de infiltração (fc) de 0 – 1,3. Solos contendo argilas expansivas e pouco profundas.

### 3.4.2 Definição do Número de Curva (CN)

O número de curva pode tomar valores variando de 0 (zero) a 100 (cem). O maior número subentende uma menor quantidade de água para saturação do solo e conseqüentemente uma maior quantidade de água para Escoamento Superficial (Pe ou Es que no hidrograma de vazão corresponde ao Qd). Ou seja, CN = 100 tem-se uma bacia impermeável e toda a precipitação escoam, produzindo escoamento superficial.

Os valores da tabela do Anexo 1 supõem um conteúdo de umidade do solo antes do aguaceiro em três situações: NI, NII e NIII. Portanto, mesmo que se enquadrem os solos em relação à classe é necessário se utilizar o número considerando estas três situações de umidade antecedente.

NII corresponde a solo em situação normal, longe da Capacidade de Campo, mas também longe do Ponto de Murcha Permanente.

NI corresponde a solo muito seco sem chegar ao Ponto de Murcha Permanente, aplicando a fórmula:

$$NI = \frac{(4,2 \times NII)}{(10 - 0,058 \times NII)} \quad (2)$$

NIII corresponde a solo saturado ou muito próximo da saturação ou da Capacidade de Campo, aplicando a fórmula:

$$NIII = \frac{(23 \times NII)}{(10 - 0,13 \times NII)} \quad (3)$$

A determinação do conteúdo de umidade inicial do solo se realiza considerando a precipitação acumulada nos cinco dias que antecedem ao aguaceiro acumulado. Assim:

Se a precipitação acumulada nos cinco dias antecedentes em cultivos em período de repouso vegetativo for menor que 13 mm ou em período vegetativo ou de crescimento for menor que 36 mm se enquadra como NI.

Se a precipitação acumulada nos cinco dias antecedentes em cultivos em período de repouso vegetativo for 13 a 28 mm ou em período vegetativo ou de crescimento for 36 a 53 mm se enquadra como NII.

Se a precipitação acumulada nos cinco dias antecedentes em cultivos em período de repouso vegetativo for maior que 28 mm ou em período vegetativo ou de crescimento for maior que 53 mm se enquadra como NIII.

Fixados os Números Hidrológicos das distintas áreas de uso do solo existentes na bacia hidrográfica, deve-se calcular o número médio para o conjunto das áreas da bacia, utilizando-se da seguinte fórmula:

$$N = \frac{\sum(Ni \times ai)}{A} \quad (4)$$

onde:

$N$  = número de curva médio,

$Ni$  = número de curva da área de uso do solo  $i$

$ai$  = área deste uso  $i$

$A$  = área total da bacia hidrográfica.

Esta regra também pode ser aplicada em relação às classes de enquadramento do solo (A, B, C, D) de tal forma que, se na bacia fossem reconhecidos diferentes classes de solo, ter-se-ia uma combinação de tipologias de uso em diferentes classes, por exemplo: em três tipologias de uso e se reconhecêssemos em cada uma delas as quatro classes de solo, ter-se-ia  $3 \times 4 = 12$  curvas números a ser ponderadas na bacia. Neste caso utiliza-se na fórmula em “ $ai$ ” a área correspondente a cada tipologia de uso dentro de cada uma das classes de solos e em “ $A$ ” se utiliza a área total da soma de cada tipologia de uso nas as classes de solos.

### 3.4.3 Cálculo da capacidade máxima de saturação da bacia (S)

Uma vez conhecido a Curva Número média da bacia em cada uma das situações de umidade do solo, pode-se calcular a capacidade máxima de saturação da bacia, já internalizada a tipologia de uso e as classes de solo. “S” são as perdas máximas possíveis que depende do tipo de solo, da umidade inicial antes do aguaceiro, da vegetação que sustenta e do tratamento do solo e da cultura.

Representa, portanto, o potencial máximo de retenção de água que tem o complexo solo-vegetação. É dado pela fórmula:

$$S = \left( \frac{25400}{CN} \right) - 254 \quad (5)$$

### 3.4.4 Cálculo do conteúdo de chuva para abstração ou encharcamento (Po)

Po é o limite máximo de umidade a partir do qual começa o escoamento Superficial, (ou seja, altura mínima de chuva necessária para que se produza o escoamento superficial). Corresponde à abstração para o início da subida do hidrograma e vazão, ou seja, a quantidade de água retida por Interceptação, açudes superficiais, evaporação e infiltração antes de iniciar o escoamento superficial. Esta abstração corresponde a 1/5 (ou 20% da capacidade máxima do potencial de retenção S) é dado pela fórmula:

$$P_o = 0,2 \times S \text{ (20\% de S)} \quad (6)$$

ou então,

$$P_o = \left( \frac{5080}{CN} \right) - 50,8 \quad (7)$$

### 3.4.5 Cálculo do escoamento superficial real ou precipitação efetiva (Pe)

Pe (ou Es) = É o escoamento superficial real que quer-se estimar. Este escoamento superficial atinge o leito do rio como Qd (Vazão Direta) do hidrograma de vazão. Se o total de Es escorre pela superfície do solo poderá produzir erosão. Em síntese é a quantidade de água que sobra depois de “abstraída” e “infiltrada” na bacia. É dado pela fórmula:

$$P_e = \frac{(P_p - 0,25)^2}{(P_p + 0,85)} \quad (8)$$

onde,

$P_p$  = precipitação Incidente na bacia hidrográfica.

### 3.4.6 Cálculo das perdas reais máximas (Pmax)

São as perdas reais durante o aguaceiro que permanecem na bacia e posteriormente podem servir como água disponível para os cultivos, abastecer as águas subterrâneas, através da percolação profunda ou mesmo sofrer processo de evaporação. É dada pela fórmula:

$$P_{max} = P_p - P_o - P_e \quad (9)$$

O modelo de Curva Número deve ser corrigido quanto a Perdas Máximas (Pmax) a partir do momento que não ha. Precipitação Efetiva (Pe) ou escoamento superficial. Como a Pmax é função da precipitação (Pp), da precipitação efetiva (Pe) e da abstração (Po) ao diminuir estes dois últimos termos da Precipitação o valor é negativo. Isto não existe. Assim, devem-se desconsiderar estes valores negativos.

### 3.4.7 Cálculo do coeficiente de escoamento superficial (CE)

Ao considerar o tempo que a água de escoamento superficial tarda em alcançar o leito do rio, identifica-se no hidrograma de vazão um escoamento direto

formado pela água superficial que escorre sobre o terreno, pelo escoamento sub-superficial que atinge o rio e também pela precipitação diretamente na superfície do canal do rio, denominado de escoamento direto ( $Q_d$ ). O escoamento retardado corresponde aquele que alcança os rios depois de certo tempo (uma semana ou mais), através dos horizontes mais profundos do solo atingem o leito do rio que, em conjunto com a alimentação pelos aquíferos, constituem o denominado escoamento base ( $Q_b$ ). No hidrograma de vazão é possível se identificar um escoamento direto ( $Q_d$ ) e o escoamento de base ( $Q_b$ ).

O volume que toma o escoamento direto (resposta  $Q_d$  do hidrograma) costuma-se compará-lo com a precipitação incidente na bacia. Assim surgiu o conceito de coeficiente de escoamento superficial (CE) que dependendo do tempo em consideração pode ser expresso como:

$$CE = \frac{P_e}{P_p} \quad (10)$$

onde,

$P_e$  = escoamento superficial real ou aporte específico da bacia que alcança o leito do rio e faz com que o nível do rio se eleve e,

$P_p$  = precipitação incidente sobre a bacia o qual costuma ser expresso em porcentagem (%).

#### 3.4.8 Sistemática de cálculo dos parâmetros hidrológicos

A exemplificação da sistemática de cálculo se fará em relação aos dados da sub-bacia 01 do rio Carapá para o ano de 1985.

#### **Enquadramento das classes de solo**

A partir da textura dos solos e de sua espessura pode-se enquadrar os solos em classe A, B, C, D de acordo com a metodologia (ábaco) do SCS (Figura 12) tem-se: Alfisols e Oxisols (classe hidrológica C), Entisols e Terras Mistas (classe hidrológica D) (Tabela 6).

### Determinação do Número de Curva (CN)

No anexo 1 estão os valores de Curva Número relacionados à cobertura do solo e às classes de solo. Assim, seguindo a orientação da Tabela 6 enquadram-se as tipologias de uso da terra e suas correspondentes Curvas Número. Toma-se como exemplificação, portanto, a situação de normalidade de umidade do solo (NII) em classe hidrológica “C”:

- Floresta Nativa (bosques) como similar a Florestas Normais (Tabela 5) CN = 70.
- Vegetação Secundária como similar a Florestas esparsas de baixa transpiração (Tabela 5) CN = 86.
- Cultivos: em função da dificuldade de determinar espectralmente o uso neste período obtém-se como uma média dos valores de CN das seguintes tipologias de uso: Solo lavrado, Plantações regulares, Plantações de cereais, Plantações de legumes ou cultivados, Pastagens, Campos permanentes, Chácaras com estradas de terra (Tabela 5)

$$CN = \frac{\sum \text{tipologias}}{n} \quad (11)$$

$$CN = (91+87+83+84+84+82+79+83+81+78+86+79+74+81+75+70+71+77+73+70+86+87+90) / 23 = 80,47 = 80$$

O Anexo 1 apresenta os valores de CN também para as situações: NI e NIII de acordo com aplicação das fórmulas metodológicas. Por exemplo, para Floresta nativa, classe hidrológica C:

$$NI = (4,2 \times NII) \div (10 - 0,058 \times NII) = (4,2 \times 70) \div (10 - 0,058 \times 70) = 294 \div 5,94 = 49$$

$$NIII = (23 \times NII) \div (10 + 0,13 \times NII) = (23 \times 70) \div (10 + 0,13 \times 70) = 1.610 \div 19,1 = 84$$

### Determinação da Curva Número por tipologia e a Curva Numero Média da sub-bacia

Fixados os Números Hidrológicos das distintas áreas de uso do solo existentes na bacia hidrográfica, deve-se calcular o número MÉDIO para o conjunto

das áreas da bacia, utilizando-se da seguinte fórmula:  $N = \sum (N_i \times a_i) / A$  onde: “N” é o número de curva médio, “N<sub>i</sub>” é o número de curva da área de uso do solo “i”, “a<sub>i</sub>” é a área deste uso “i” e “A” é a área total da bacia hidrográfica.

A Tabela 8 traz as áreas por tipologias de uso da sub-bacia 01 no ano de 1985. Assim, como estabelecemos o enquadramento dos solos nas classes C e D e observando os valores da CN no Anexo 1.

A Curva Número Média para cada tipologia de uso da terra é dado por (Tabela 9):

$$\text{NII média para cultivo} = \{ (584,63 \times 80) + (0,63 \times 86) + (1,15 \times 80) + (71,13 \times 86) \} \div (584,63 + 0,63 + 1,15 + 71,13) = \mathbf{80,64}$$

$$\text{NII média para vegetação secundária} = \{ (883,59 \times 86) + (3,25 \times 91) + (1,52 \times 86) + (101,50 \times 91) \} \div (883,59 + 3,25 + 1,52 + 101,50) = \mathbf{86,49}$$

$$\text{NII média para floresta} = \{ (6.670,35 \times 70) + (12,45 \times 76) + (4,18 \times 70) + (184,43 \times 76) \} \div (6670,35 + 12,45 + 4,20 + 84,43) = \mathbf{70,14}$$

Mas para a sistemática adotada, Número de Curva MÉDIO da bacia, nas três situações, utilizamos  $\sum \text{Uso}(\%) \times \text{CNII}$

$$\text{NII média} = (7,72 \times 80,64/100) + (11,62 \times 86,49/100) + (80,66 \times 70,14/100) = \mathbf{72,85}$$

$$\text{NI média} = (4,2 \times 72,85) \div (10 - 0,058 \times 72,85) = \mathbf{52,98}$$

$$\text{NIII média} = (23 \times 72,85) \div (10 + 0,13 \times 72,85) = \mathbf{86,06}$$

### **Determinação da capacidade máxima de saturação da bacia (S)**

Uma vez conhecido a Curva Número Média da bacia em cada uma das situações de umidade do solo, pode-se calcular a capacidade máxima de saturação “S” da bacia, já internalizada a tipologia de uso e as classes de solo. Aplicando ao exemplo em situação NII com CN média de 72,85 (repetindo-se o procedimento para NI e NII):

### **Capacidade máxima de saturação (S) com umidade normal (NII):**

$$S \text{ II (mm)} = (25400 \div 72,85) - 254 = S \text{ II} = \mathbf{94,66 \text{ mm}}$$

$$S I (\text{mm}) = (25400 \div 52,98) - 254 = S I = \mathbf{225,42 \text{ mm}}$$

$$S III (\text{mm}) = (25400 \div 86,06) - 254 = S II = \mathbf{41,16 \text{ mm}}$$

### **Determinação do conteúdo de chuva para abstração ou encharcamento (Po)**

Po é o LIMITE máximo de umidade a partir do qual começa o Escoamento Superficial, ou seja, altura mínima de chuva necessária para que se produza o escoamento superficial. Corresponde a ABSTRAÇÃO para o início da subida do hidrograma de vazão, ou seja, a quantidade de água retida por Interceptação, açudes superficiais, evaporação e infiltração antes de iniciar o escoamento superficial. Esta abstração, depois de inúmeros resultados obtidos em bacias experimentais (CHOW, MAIDMENT e MAYS, 1994), corresponde a 1/5 (ou 20% da capacidade máxima do potencial de retenção (S) e é dado pela fórmula:  $Po (\text{mm}) = 0,2 S$  (20% de S) ou então  $Po = (5080 \div CN) - 50,8$ . Assim, voltando ao exemplo (repetindo-se o procedimento para NI e NII):

#### **Abstração em situação de solos normais (NII):**

$$Po II = (5080 \div 72,85) - 50,8 = \mathbf{18,93 \text{ mm}}$$

$$Po I = (5080 \div 52,98) - 50,8 = \mathbf{45,08 \text{ mm}}$$

$$Po III = (5080 \div 86,06) - 50,8 = \mathbf{8,23 \text{ mm}}$$

### **Determinação do escoamento superficial real ou precipitação efetiva (Pe)**

Pe (ou Es) = É o escoamento superficial REAL que quer-se estimar. Este escoamento superficial atinge o leito do rio como Qd (Vazão Direta) do hidrograma de vazão. É dado pela fórmula:  $Pe (\text{mm}) = (Pp - 0,2S)^2 \div (Pp + 0,8S)$ , onde Pp é a Precipitação Incidente na bacia hidrográfica. Neste trabalho, se fez simulação com uma Precipitação de 70 mm. Assim, voltando ao exemplo (repetindo-se o procedimento para NI e NII):

#### **Escoamento superficial em situação normal ou média (NII):**

$$Pe II (\text{mm}) = (70 - 0,2 \times 94,66)^2 \div (70 + 0,8 \times 94,66) = Pe = Es = \mathbf{17,90 \text{ mm}}$$

$$Pe I (\text{mm}) = (70 - 0,2 \times 225,39)^2 \div (70 + 0,8 \times 225,39) = Pe = Es = \mathbf{2,48 \text{ mm}}$$

$$Pe \text{ III (mm)} = (70 - 0,2 \times 41,16)^2 \div (70 + 0,8 \times 41,16) = Pe = Es = \mathbf{37,07 \text{ mm}}$$

### **Determinação das perdas reais máximas (Pmax)**

$P_{max} = P_p - P_o - P_e$  são as perdas reais durante o aguaceiro que permanecem na bacia e posteriormente podem servir como água disponível para os cultivos, abastecer as águas subterrâneas, através da percolação profunda ou mesmo sofrer processo de evaporação. Assim, voltando ao exemplo (repetindo-se o procedimento para NI e NII):

Perdas máximas em situação de diferentes umidades:

$$P_{max \text{ NII}} = P_p - P_o - P_e = 70 - 18,63 - 17,90 = \mathbf{33,17 \text{ mm}}$$

$$P_{max \text{ NI}} = P_p - P_o - P_e = 70 - 44,35 - 2,48 = \mathbf{22,44 \text{ mm}}$$

$$P_{max \text{ NIII}} = P_p - P_o - P_e = 70 - 8,10 - 37,07 = \mathbf{24,70 \text{ mm}}$$

### **Determinação do coeficiente de escoamento superficial (Es)**

Ao considerar o tempo que a água de escoamento superficial tarda em alcançar o leito do rio, se identifica no hidrograma de vazão um escoamento direto formado pela água superficial que escorre sobre o terreno, pelo escoamento sub-superficial que atinge o rio e também pela precipitação diretamente na superfície do canal do rio, denominado de escoamento direto ( $Q_d$ ). O escoamento retardado corresponde aquele que alcança os rios depois de certo tempo (uma semana ou mais), através dos horizontes mais profundos do solo atingem o leito do rio que, em conjunto com a alimentação pelos aquíferos, constituem o denominado escoamento base ( $Q_b$ ). No hidrograma de vazão é possível se identificar um escoamento direto ( $Q_d$ ) e o escoamento de base ( $Q_b$ ).

O volume que toma o escoamento direto (resposta  $Q_d$  do hidrograma) costuma-se compara-lo com a precipitação incidente na bacia. Assim surgiu o conceito de coeficiente de escoamento superficial (CE) que dependendo do tempo em consideração pode se expressado como:

$CE = a/p$  onde “a” é aportação específica da bacia que alcança o leito do rio e faz com que o nível do rio se eleve e “p” é a precipitação incidente sobre a bacia o qual costuma ser expresso em percentagem (%).

Assim, voltando ao exemplo (repetindo-se o procedimento para NI e NII):

Coeficiente de escoamento em situação normal de umidade da bacia (NII):

$$CE II = (Pe \div Pp) \times 100 = (17,90 \div 70) \times 100 = \mathbf{25,56\%}$$

$$CE I = (Pe \div Pp) \times 100 = (2,48 \div 70) \times 100 = \mathbf{3,55\%}$$

$$CE III = (Pe \div Pp) \times 100 = (37,07 \div 70) \times 100 = \mathbf{52,96\%}$$

### **Relação com volumes de água**

Considerando que a sub-bacia 01 tem área total de 8.518,81 ha em situação média de umidade NII se pode aferir estes parâmetros em termos de volume de água (m<sup>3</sup>). (Tal exemplificação pode ser reproduzida para NI e NII).

- Precipitação incidente (Pp) em m<sup>3</sup>

$$Pp = (70 \text{ L/m}^2 \times 8.518,81 \text{ ha} \times 10.000 \text{ m}^2) \div 1.000 \text{ L/m}^3 = 5.963.167,00 \text{ m}^3$$

- Capacidade máxima de saturação (S) em m<sup>3</sup>

$$S = (94,66 \text{ L/m}^2 \times 8.518,81 \text{ ha} \times 10.000 \text{ m}^2) \div 1.000 \text{ L/m}^3 = 8.063.905,54 \text{ m}^3$$

- Abstração ou quantidade de água de encharcamento (Po) em m<sup>3</sup>

$$Po = (18,93 \text{ L/m}^2 \times 8.518,81 \text{ ha} \times 10.000 \text{ m}^2) \div 10.000 \text{ L/m}^3 = 1.612.610,73 \text{ m}^3$$

- Escoamento superficial ou precipitação efetiva (Pe) em m<sup>3</sup>

$$Pe = (17,90 \text{ L/m}^2 \times 8.518,81 \text{ ha} \times 10.000 \text{ m}^2) \div 1.000 \text{ L/m}^3 = 1.524.866,99 \text{ m}^3$$

- Perdas máximas reais possíveis (Pmax) em m<sup>3</sup>

$$Pmax = (33,17 \text{ L/m}^2 \times 8.518,81 \text{ ha} \times 10.000 \text{ m}^2) \div 1.000 \text{ L/m}^3 = 2.825.689,27 \text{ m}^3$$

- Coeficiente de Escoamento Superficial (CE) em %

$$CE = (1.524.866,99 \div 5.963.167,00) \times 100 = 25,57\%$$

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme os objetivos traçados, neste capítulo são apresentados os resultados obtidos e as discussões pertinentes relacionados à análise multitemporal e números hidrológicos de cada uma das três sub-bacias do rio Carapá nos três momentos, que são os anos de 1985, 1999 e 2007.

### 4.1. SUB-BACIA HIDROGRÁFICA 01 DO RIO CARAPÁ

#### 4.1.1. Análise do uso do solo e comportamento hidrológico no ano de 1985

A Figura 13 mostra o resultado da classificação supervisionada dos usos da sub-bacia 01 do rio Carapá no período de 1985 determinadas a partir da análise da imagem de satélite da área.

A Tabela 7 apresenta o uso da terra no período 1985 e suas respectivas áreas em hectares além da porcentagem que cada uma ocupa em relação à sub-bacia.

TABELA 7 - CLASSES DE USOS DO SOLO DA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ NO ANO 1985

Classes	Hectares (ha)	(%)
Cultivo	657,55	7,72
Vegetação Secundaria	989,84	11,62
Floresta Nativa	6.871,42	80,66
<b>Total</b>	<b>8.518,81</b>	<b>100,00</b>

FONTE: O autor (2009)

Analisando a Figura 14 e a Tabela 7 observa-se que, a classe Floresta Nativa é a que têm predominância em quantidade de área com relação à superfície total da bacia, ocupando 80,66% da área total. Verifica-se também que nessa época, a classe Vegetação Secundaria representava 11,62% da área da sub-bacia. Ainda, 7,72% da superfície são ocupadas pela classe denominada Cultivos.

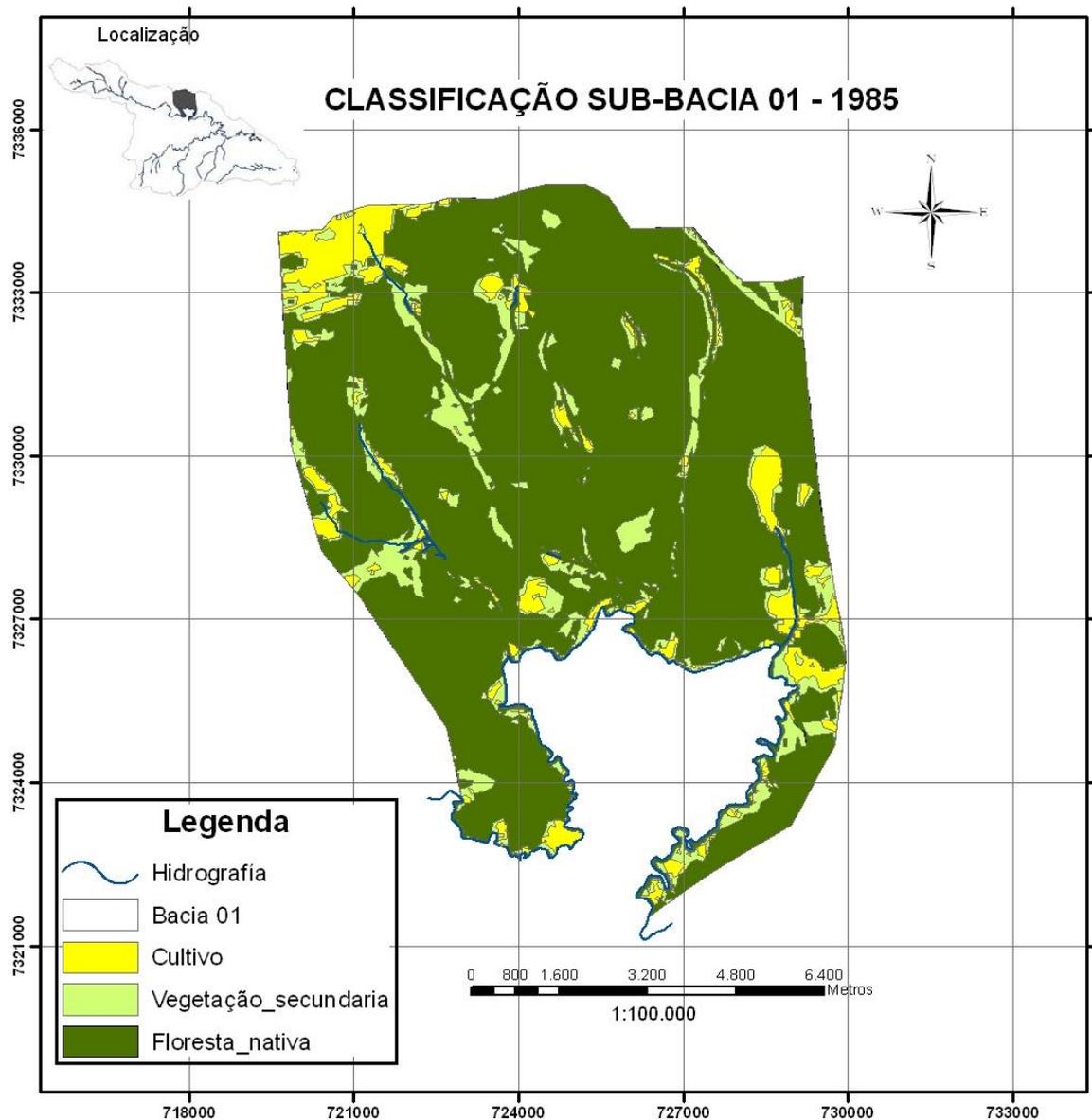


FIGURA 14 - MAPA DE USO DO SOLO DA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 1985  
FONTE: O autor (2009)

O resultado do cruzamento das classes de solos encontrados na área de estudo com o uso resultante da classificação supervisionada é verificado na Figura 15 e na Tabela 8.

TABELA 8 - ÀREA POR TIPOLOGIA DE USO DO SOLO NA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 1985

Classes de Solos	Classe hidrológica	Cultivo	Vegetação Secundaria	Floresta Nativa	Total
Alfisols	C	584,63	883,59	6.670,35	8.138,57
Entisols	D	0,63	3,25	12,45	16,33
Oxisols	C	1,15	1,52	4,18	6,85
Terras Mistas	D	71,13	101,50	184,43	357,06
<b>Totais</b>		<b>657,54</b>	<b>989,86</b>	<b>6.871,41</b>	<b>8.138,57</b>

FONTE: O autor (2009)

As curvas números resultantes do cruzamento das tipologias de uso e classes de solos para a determinação do valor da curva número médios e o resultado desta análise são ilustrados nas Tabelas 9 e 10.

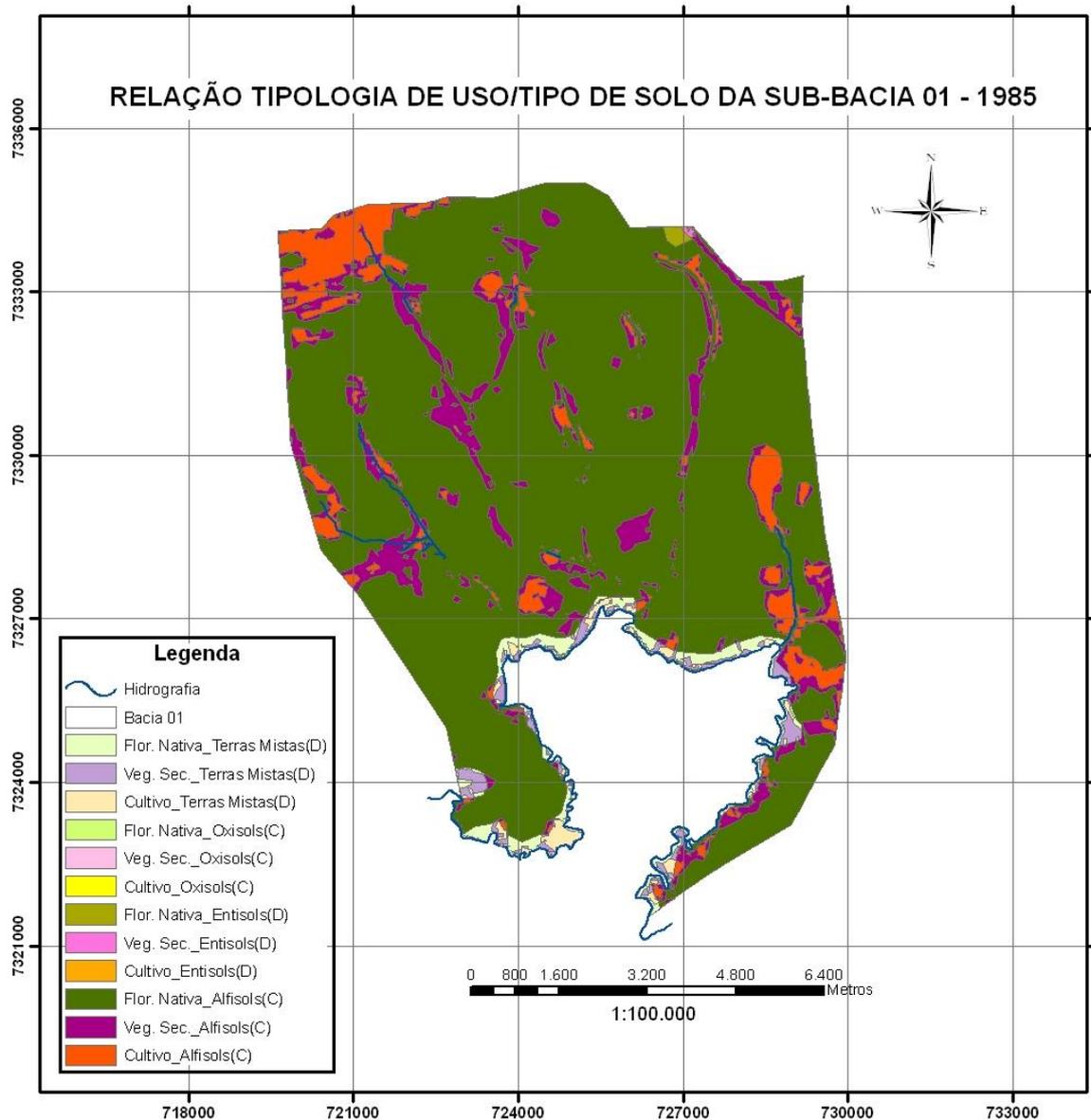


FIGURA 15 - TIPO E USOS DO SOLO NA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 1985  
FONTE: O autor (2009)

Na Tabela 10 pode-se observar que o menor valor de número de curva médio apresenta a tipologia Floresta Nativa com um valor de 70,14, o que significa que esta tipologia é a mais permeável. Logo a seguir vem a classe Cultivos com um valor de 80,64 seguida de Vegetação secundária com 86,49.

TABELA 9 - CURVAS NÚMERO POR TIPOLOGIA DA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 1985

Classes de Solos	Classe Hidrológica	Cultivo			Vegetação Secundária			Floresta Nativa		
		NI	NII	NIII	NI	NII	NIII	NI	NII	NIII
Alfisol	C	64	80	90	72	86	93	49	70	84
Entisol	D	72	86	93	81	91	96	57	76	88
Oxisol	C	64	80	90	72	86	93	49	70	84
Terras Mistas	D	72	86	93	81	91	96	57	76	88

FONTE: O autor (2009)

TABELA 10 - CURVA NÚMERO MÉDIA (NII) DA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 1985

Tipologia de Uso	CN média
Cultivos	80,64
Vegetação Secundária	86,49
Floresta Nativa	70,14

FONTE: O autor (2009)

Na Tabela 11 são apresentados os parâmetros hidrológicos resultantes das análises de CN na sub-bacia 01 do rio Carapá, ano 1985.

TABELA 11 - PARÂMETROS HIDROLÓGICOS DA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 1985

Parâmetros Hidrológicos	(NI) Permeável Solo seco	(NII) Permeabilidade Média Solo Normal	(NIII) Impermeabilidade Solo Saturado
Curva Número Média da Bacia	52,98	72,85	86,06
Cap. Máx. de Saturação (S)	225,39 mm	94,66 mm	41,16 mm
Cont. de Chuva por Abstração (Po)	45,08 mm	18,93 mm	8,23 mm
Escoam. Sup. real ou Precip. Efetiva (Pe)	2,48 mm	17,90 mm	37,07 mm
Perdas Reais Máximas (Pmax)	22,44 mm	33,17 mm	24,70 mm
Coefficiente de Escoamento Sup. (CE)	3,55 %	25,56 %	53,96 %

FONTE: O autor (2009)

As estimativas de CN média da sub-bacia 01 do rio Carapá no ano de 1985 apresentam os valores de 52,98 para condição seca (NI), 72,85 para condição normal (NII), e 86,06 para condição de solo saturado (NIII). Com este uso de solo, ou seja, 13,90 % de Cultivos, 11,87 % Vegetação secundária e 74,24 % Floresta nativa, a sub-bacia hidrográfica tem uma capacidade de saturação de 225,39 mm quando em situação de estiagem ou secos (NI), capacidade de saturação de 94,66 mm em situação média de umidade (NII), e 41,16 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo.

Observa-se que a bacia hidrográfica com este uso de solo, precisa de 45,08 mm quando em situação de estiagem ou secos (NI), de no mínimo 18,93 mm de chuva para produzir escoamento superficial em situação média de umidade (NII), e 8,23 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo (NIII).

Com relação ao escoamento real ou precipitação efetiva a bacia hidrográfica com este uso de solo, em situação de normalidade em conteúdo de umidade precisará de 17,90 mm de chuva para produzir escoamento superficial em situação média de umidade (NII), de 2,48 mm quando em situação de estiagem ou secos (NI) e 37,07 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo (NIII) (com Precipitação simulada de 70 mm).

A bacia hidrográfica com este uso de solo em situação de normalidade em conteúdo de umidade permitiria uma perda máxima de água da ordem de 33,17 mm em situação média de umidade (NII), de 22,44 mm quando em situação de estiagem ou secos (NI) e 24,70 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo (NIII), com precipitação de 70 mm.

Ainda, a bacia hidrográfica com este uso apresenta um coeficiente de escoamento superficial de 3,55 % em situação de estiagem ou secos (NI), 25,56 % em condição média de umidade (NII), e 53,96 % em estado de umidade próximo da saturação ou de sua capacidade de campo (NIII). Isto para uma situação de simulação de 70 mm de precipitação.

#### 4.1.2 Análise do uso do solo e comportamento hidrológico no ano de 1999

A Figura 16 mostra o resultado da classificação supervisionada dos usos da sub-bacia 01 do rio Carapá, no período de 1999 determinadas a partir da análise da imagem de satélite da área.

A tabela 12 apresenta o uso da terra no período 1999 e suas respectivas áreas em hectares e porcentagem que cada uma ocupa em relação à sub-bacia.

TABELA 12 - CLASSES DE USOS DO SOLO DA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 1999

Classes	Hectares (ha)	(%)
Cultivo	3.401,86	39,93
Vegetação Secundaria	1.774,85	20,83
Floresta Nativa	3.342,10	39,23
<b>Totais</b>	<b>8.518,81</b>	<b>100,00</b>

FONTE: O autor (2009)

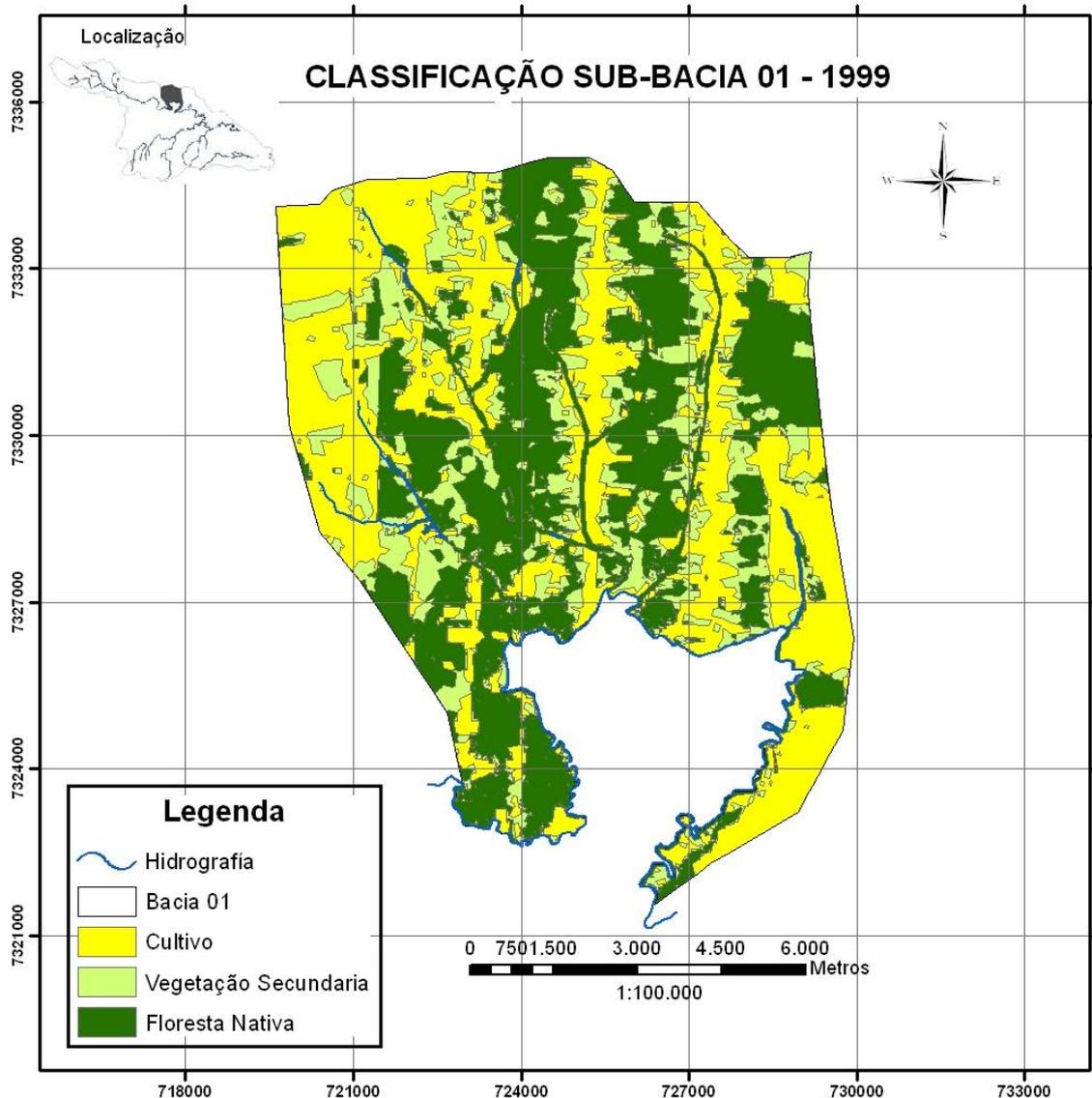


FIGURA 16 - MAPA DE USO DO SOLO DA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 1999

FONTE: O autor (2009)

De acordo com a análise da Figura 16 e da Tabela 12 verifica-se que a classe denominada Cultivo é a predominante com relação à superfície total da sub-bacia ocupando 39,93% da área. A classe denominada Floresta Nativa ocupa praticamente igual quantidade de área com 39,23%. Logo a seguir vem a classe Vegetação Secundaria com 20,83%.

O resultado do cruzamento das classes de solos encontrados na área de estudo com o uso resultante da classificação supervisionada é verificado na Figura 17 e na Tabela 13.

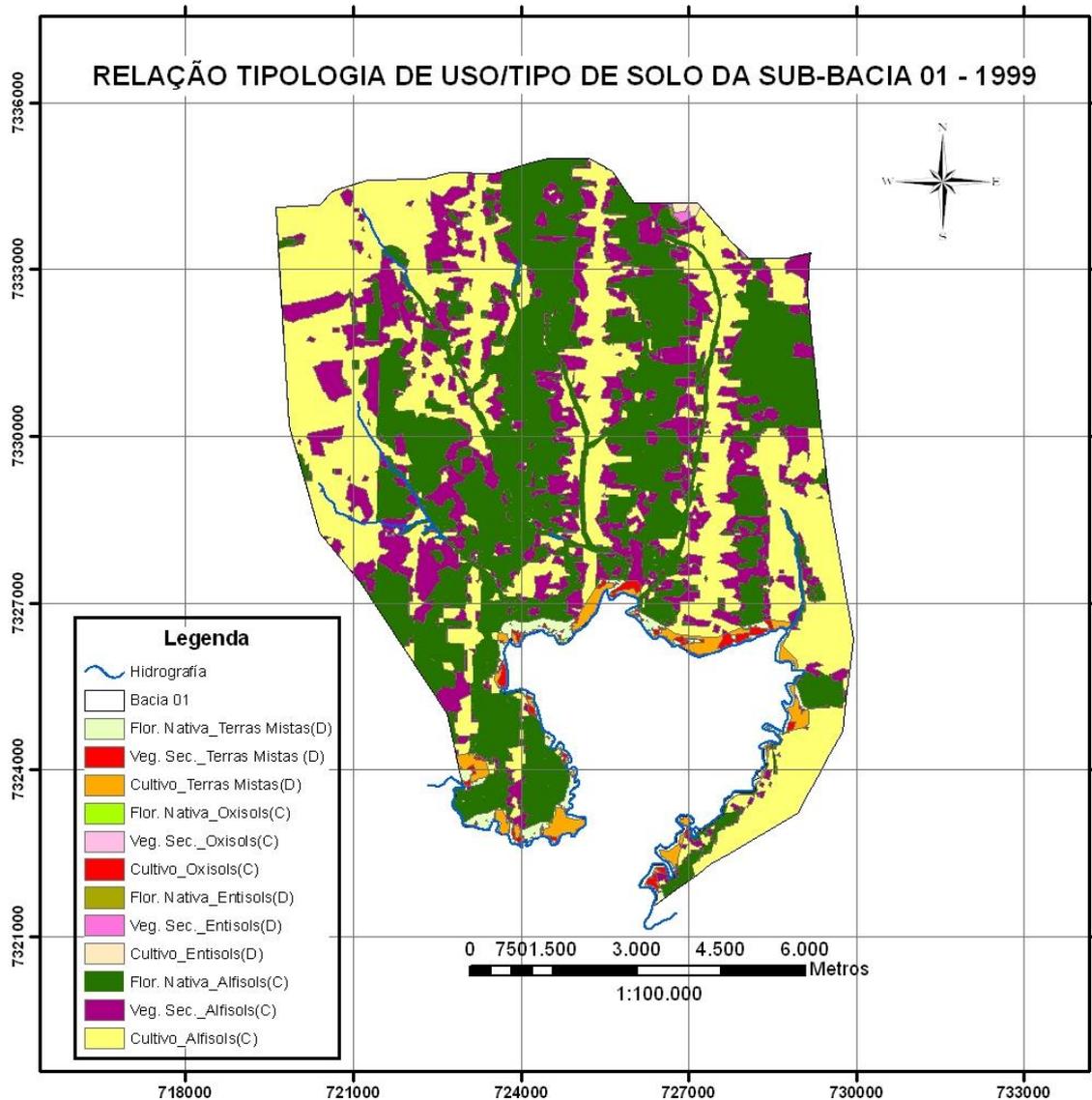


FIGURA 17 - TIPO E USOS DO SOLO NA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 1999  
FONTE: O autor (2009)

TABELA 13 - ÁREA POR TIPOLOGIA DE USO DO SOLO NA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 1999

Classes de Solos	Classe hidrológica	Cultivo	Vegetação Secundária	Floresta Nativa	Total
Alfisols	C	3.247,57	1.706,74	3.184,48	8.138,79
Entisols	D	8,7	6,11	1,23	16,04
Oxisols	C	1,85	0,61	4,31	6,77
Terras Mistadas	D	143,77	61,38	152,06	357,21
<b>Totais</b>		<b>3.401,89</b>	<b>1.774,84</b>	<b>3.342,08</b>	<b>8.518,81</b>

FONTE: O autor (2009)

Na Tabela 15 pode-se observar que o maior valor de número de curva médio apresenta a tipologia Vegetação Secundaria com um valor de 86,21. A tipologia Cultivos aparece com o segundo maior valor que é de 80,25; e acima do valor da tipologia Floresta Nativa com 70,21.

TABELA 14 - CURVAS NÚMERO POR TIPOLOGIA DA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 1999

Classes de Solos	Classe Hidrológica	Cultivo			Vegetação Secundaria			Floresta Nativa		
		NI	NII	NIII	NI	NII	NIII	NI	NII	NIII
Alfisol	C	64	80	90	72	86	93	49	70	84
Entisol	D	72	86	93	81	91	96	57	76	88
Oxisol	C	64	80	90	72	86	93	49	70	84
Terras Mistas	D	72	86	93	81	91	96	57	76	88

FONTE: O autor (2009)

TABELA 15 - CURVA NÚMERO MÉDIA (NII) DA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 1999

Tipologia de Uso	CN média
Cultivos	80,25
Vegetação Secundaria	86,21
Floresta Nativa	70,21

FONTE: O autor (2009)

Na Tabela 16 são apresentados os parâmetros hidrológicos resultantes das análises de CN na sub-bacia 01 do rio Carapá, ano 1999.

TABELA 16 - PARÂMETROS HIDROLÓGICOS DA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 1999

Parâmetros Hidrológicos	(NI) Permeável Solo seco	(NII) Permeabilidade Média Solo Normal	(NIII) Impermeabilidade Solo Saturado
Curva Número Média da Bacia	59,19	77,54	88,82
Cap. Máx. de Saturação (S)	175,14 mm	73,56 mm	31,98 mm
Cont. de Chuva por Abstração (Po)	35,03 mm	14,71 mm	6,40 mm
Escoam. Sup. real ou Precip. Efetiva (Pe)	5,82 mm	23,72 mm	42,32 mm
Perdas Reais Máximas (Pmax)	29,15 mm	31,56 mm	21,28 mm
Coeficiente de Escoamento Sup. (CE)	8,32 %	33,89 %	60,46 %

FONTE: O autor (2009)

Os valores de CN média da sub-bacia 01 no ano de 1999 são 59,19 para condição seca (NI); 77,54 para condição normal (NII), e 88,82 para condição de solo saturado (NIII). Com este uso de solo, 39,93 % de Cultivos, 20,83 % Vegetação secundária e 39,23 % Floresta nativa, a bacia hidrográfica tem uma capacidade de

saturação de 175,14 mm quando em situação de estiagem ou secos (NI); de 73,56 em situação média de umidade (NII), e de 31,98 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo.

Observa-se que a bacia hidrográfica com este uso de solo, precisa de, no mínimo, 14,71 mm de chuva para produzir escoamento superficial em situação média de umidade (NII), de 35,03 mm quando em situação de estiagem ou secos (NI) e 6,40 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo.

Com relação ao escoamento real ou precipitação efetiva a bacia hidrográfica com este uso de solo, em situação de normalidade em conteúdo de umidade precisará de 23,72 mm de chuva para produzir escoamento superficial em situação média de umidade (NII), de 5,82 mm quando em situação de estiagem ou secos (NI) e 42,32 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo (NIII) (com Precipitação de 70 mm).

Ainda, com este uso de solo em situação de normalidade em conteúdo de umidade permitiria uma perda máxima de água da ordem de 31,56 mm em situação média de umidade (NII), de 29,15 mm quando em situação de estiagem ou secos (NI) e 21,28 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo (NIII), com precipitação de 70 mm.

Além disso, a bacia hidrográfica com este uso apresenta um coeficiente de escoamento superficial de 33,89 % em condição média de umidade (NII), de 8,32 % em situação de estiagem ou secos (NI) e 60,46 % em estado de umidade próximo da saturação ou de sua capacidade de campo (NIII). Isto para uma situação simulada de 70 mm de precipitação em 1 hora e dez minutos.

#### 4.1.3 Análise do uso do solo e comportamento hidrológico no ano de 2007

A Figura 18 mostra o resultado da classificação supervisionada dos usos da sub-bacia 01 do rio Carapá, no período de 2007 determinadas a partir da análise da imagem de satélite da área.

Cabe salientar que neste período foram utilizados dados de usos da bacia do projeto Carapa Ypoti (2008). Nesta classificação a classe Vegetação Secundária não

aparece. Diante disto foram utilizadas as classes Banhado e Cultivo na classificação supervisionada e Floresta Nativa determinada através da resposta espectral das imagens.

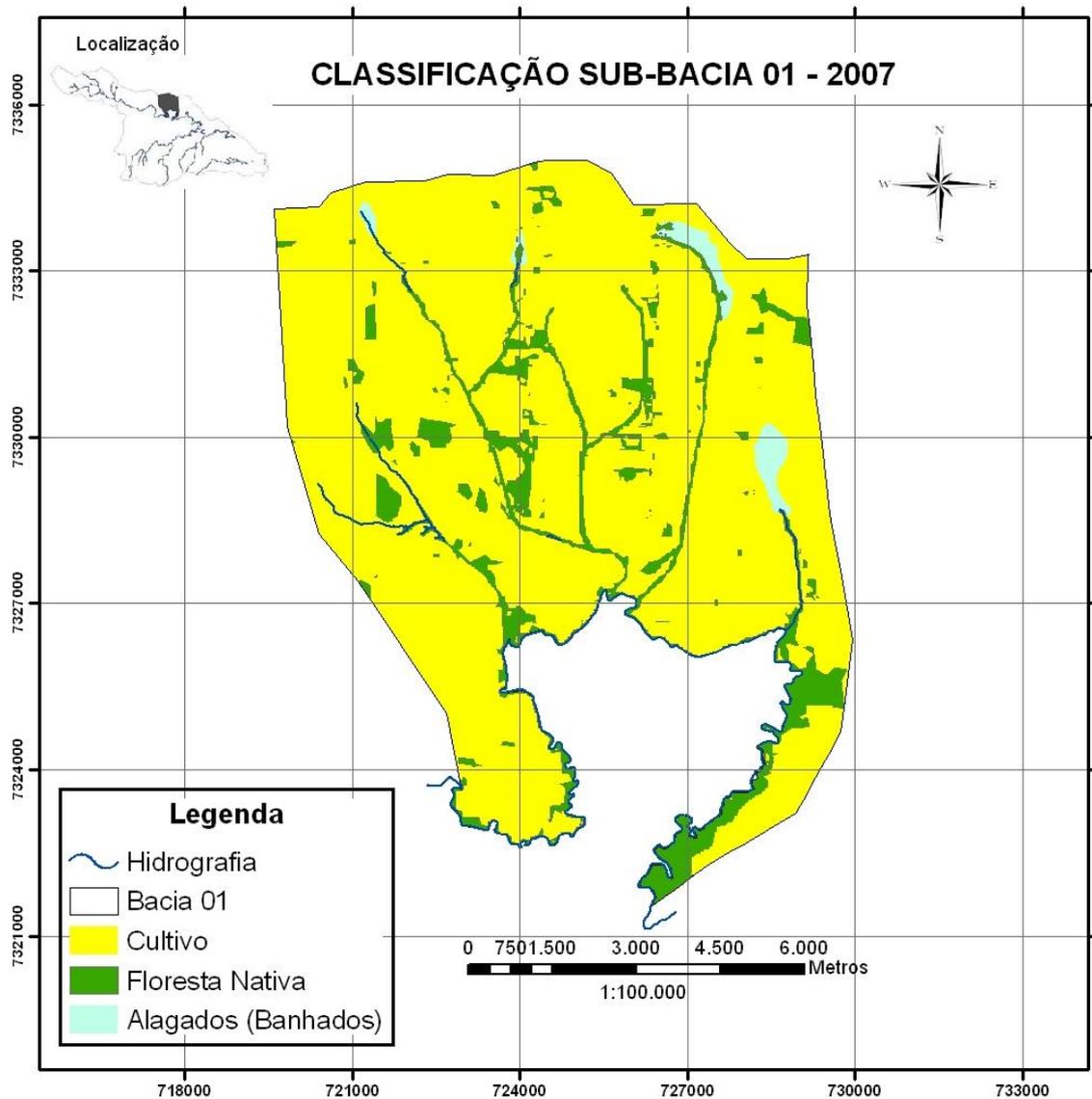


FIGURA 18 - MAPA DE USO DO SOLO DA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 2007  
 FONTE: O autor (2009)

A Tabela 17 apresenta o uso da terra no período 2007 e suas respectivas áreas em hectares e porcentagem que cada uma ocupa em relação à sub-bacia.

TABELA 17 - CLASSES DE USOS DO SOLO DA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 2007

Classes	Hectares (ha)	(%)
Cultivo	7.414,05	87,03
Banhado	137,60	1,62
Floresta Nativa	967,16	11,35
<b>Total</b>	<b>8.518,81</b>	<b>100,00</b>

FONTE: O autor (2009)

Analisando a Figura 18 e a Tabela 17, observa-se que a classe denominada Cultivo é a que ocupa a maior parte da superfície da sub-bacia correspondendo para a mesma 87,03%. A classe Floresta Nativa aparece com 11,35% da área e a classe Banhado ocupa 1,62% da superfície total.

A taxa de desmatamento encontrada nos três períodos e nas três áreas de análise é ilustrada na Tabela 18 além do comportamento do desmatamento (Gráfico 1).

TABELA 18 - TAXA DE DESMATAMENTO NA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ NOS TRÊS PERÍODOS

	Ano	Cobertura florestal (%)	Combinações	Período (Anos)	Desmatamento (%)	Taxa anual(%)
1	1985	80,66	1 -2	14	41,43	2,95
2	1999	39,23	2 -3	8	27,88	3,48
3	2007	11,35	1 -3	22	69,31	3,15

FONTE: O autor (2009)

Analisando a Tabela 18 e o Gráfico 1 constata-se uma diminuição da superfície florestal no período compreendido entre os anos de 1985 a 1999 de 41,43%. A taxa de desmatamento para esses catorze anos corresponde a 2,95% anuais. No período entre 1999 a 2007 continua a diminuição da massa florestal com valor de 27,88%. Isso corresponde a uma taxa de desmatamento anual de 3,48% num período de 8 anos. Este resultado é aproximado ao valor registrado por Rodas (1998) para a Região Oriental do Paraguai, que é de 3,2% anual.

Ainda, este valor é menor que o valor da taxa de desmatamento encontrado por Huespe Fatecha (1994) para o Departamento de Canindeyú nesse mesmo período que é de 4,4% anual.

O total desmatado entre o ano de 1985 a 2007 corresponde a 69,31% que corresponde a uma taxa anual de desmatamento de 3,15% anuais num período de 22 anos.

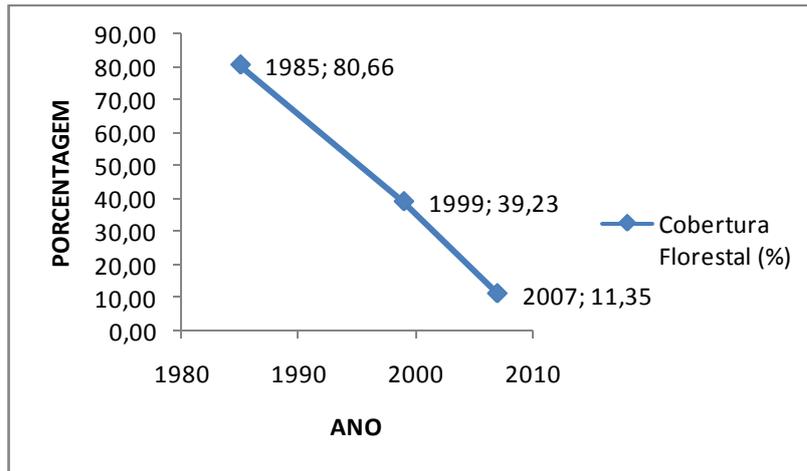


GRÁFICO 1 - ALTERAÇÃO DA COBERTURA FLORESTAL NA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ

FONTE: O autor (2009)

Com relação à análise de Números Hidrológicos, o resultado do cruzamento das classes de solos encontrados na área de estudo com o uso resultante da classificação supervisionada é verificado na Figura 19 e na Tabela 19.

TABELA 19 - ÀREA POR TIPOLOGIA DE USO DO SOLO NA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 2007

Tipos de Solos	Classe Hidrológica	Cultivo	Floresta nativa	Alagados (Banhado)	Total
Alfisol	C	7.194,74	806,66	137,48	8.138,88
Entisol	D	15,67	0,00	0,37	16,04
Oxisol	C	1,56	5,21	0,00	6,77
Terras Mistas	D	201,94	155,18	0,00	357,12
<b>Totais</b>		<b>7.413,91</b>	<b>967,05</b>	<b>137,85</b>	<b>8.518,81</b>

FONTE: O autor (2009)

As curvas números resultantes do cruzamento das tipologias de uso e classes de solos para a determinação do valor da curva número médios e o resultado desta análise são ilustrados nas Tabelas 20 e 21

TABELA 20 - CURVAS NÚMERO POR TIPOLOGIA DA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 2007

Classes de Solos	Classe Hidrológica	Cultivo			Banhado			Floresta Nativa		
		NI	NII	NIII	NI	NII	NIII	NI	NII	NIII
Alfisol	C	69	84	92	100	100	100	49	70	84
Entisol	D	75	88	94	100	100	100	57	76	88
Oxisol	C	69	84	92	100	100	100	49	70	84
Terras Mistas	D	75	88	94	100	100	100	57	76	88

FONTE: O autor (2009)

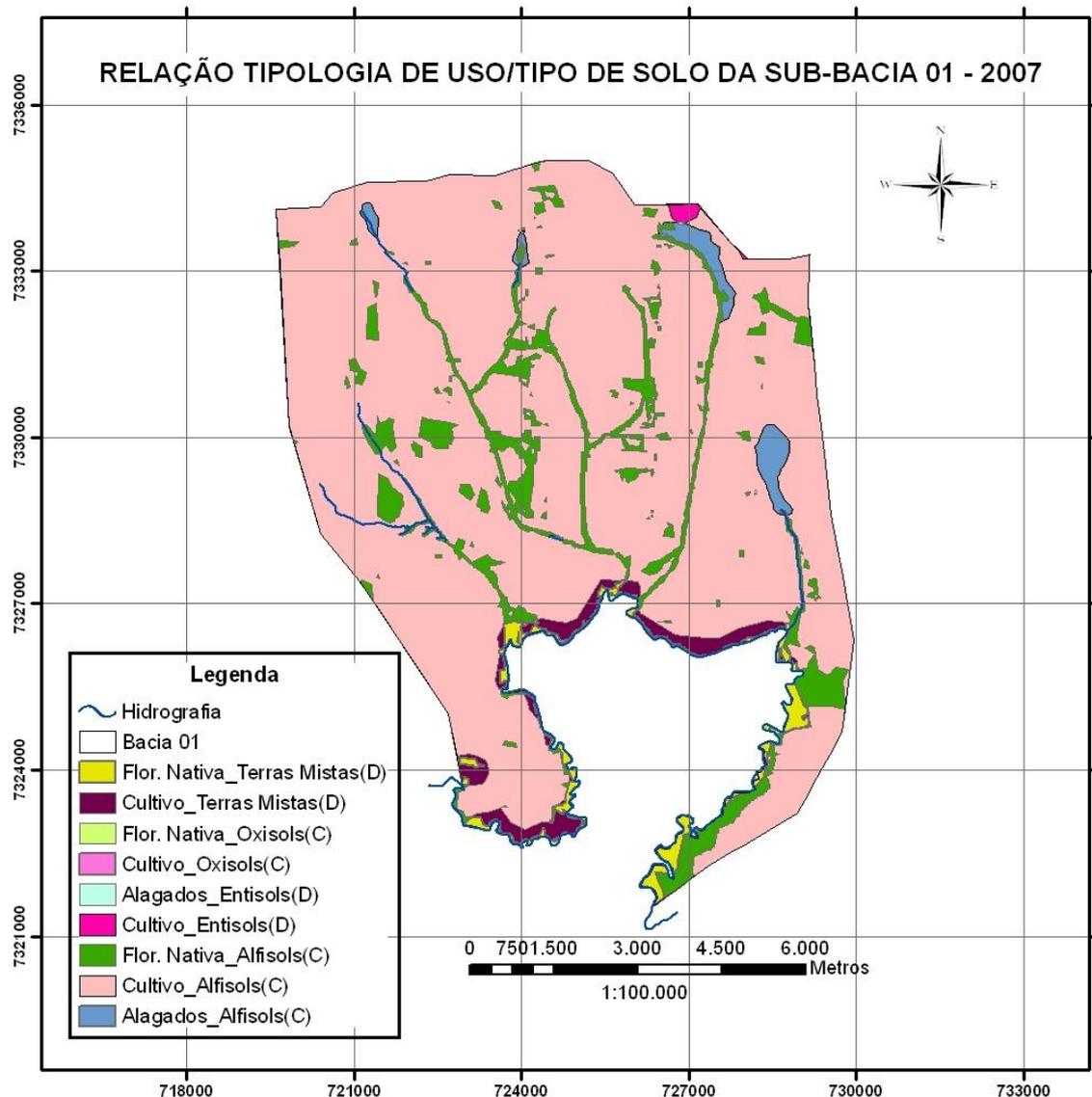


FIGURA 19 - TIPO E USOS DO SOLO NA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 2007  
FONTE: O autor (2009)

TABELA 21 - CURVA NÚMERO MÉDIA (NII) DA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 2007

Usos	CN média
Cultivos	84,12
Floresta Nativa	70,96
Alagados (Banhado)	100,00

FONTE: O autor (2009)

Pode-se observar na Tabela 21 que o menor valor de CN apresenta a tipologia Floresta Nativa com um valor de 70,96 seguido de Cultivos com 84,12. A

tipologia Alagados (Banhado) é a que apresenta maior valor, 100 como era esperado, em virtude de suas características como já foi comentado anteriormente.

Na Tabela 22 são apresentados os Parâmetros Hidrológicos resultantes das análises de CN na sub-bacia 01 do rio Carapá, ano 2007.

TABELA 22 - PARÂMETROS HIDROLÓGICOS DA SUB-BACIA 01 DO RIO CARAPÁ EM 2007

Parâmetros Hidrológicos	(NI) Permeável Solo seco	(NII) Permeabilidade e Média Solo Normal	(NIII) Impermeabilidade Solo Saturado
Curva Número Média da Bacia	67,03	82,88	91,76
Cap. Máx. de Saturação (S)	124,92 mm	52,47 mm	22,81 mm
Cont. de Chuva por Abstração (Po)	24,98 mm	10,49 mm	4,56 mm
Escoam. Sup. real ou Precip. Efetiva (Pe)	11,92 mm	31,62 mm	48,52 mm
Perdas Reais Máximas (Pmax)	33,09 mm	27,88 mm	16,92 mm
Coeficiente de Escoamento Sup. (CE)	17,03 %	45,18 %	69,32 %

FONTE: O autor (2009)

Os valores de CN da sub-bacia 01 no ano de 2007 são de 67,03 para condição seca (NI); 82,88 para condição normal (NII) e 91,76 para condição de solo saturado (NIII). Com este uso de solo, ou seja, 87,03 % de cultivos, 1,62% Alagados (Banhado) e 11,35 % Floresta nativa, a bacia hidrográfica tem uma capacidade de saturação de 124,92 mm em situação de estiagem ou secos (NI), capacidade de saturação de 52,47 mm quando em situação média de umidade (NII) e 22,81 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo.

Observa-se que a bacia hidrográfica com este uso de solo, precisa de, no mínimo, 10,49 mm de chuva para produzir escoamento superficial em situação média de umidade (NII), de 24,98 mm quando em situação de estiagem ou secos (NI) e 4,56 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo.

No que diz respeito ao escoamento real ou precipitação efetiva, a bacia hidrográfica com este uso de solo, em situação de normalidade em conteúdo de umidade precisará de 31,62 mm de chuva para produzir escoamento superficial em situação média de umidade (NII), de 11,92 mm quando em situação de estiagem ou secos (NI) e 48,52 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo (NIII), com precipitação de 70 mm.

A bacia hidrográfica com este uso de solo em situação de normalidade em conteúdo de umidade permitiria uma perda máxima de água da ordem de 27,88 mm em situação média de umidade (NII), de 33,09 mm quando em situação de estiagem ou secos (NI) e 16,92 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo (NIII).

Ainda, a bacia hidrográfica com este uso apresenta um coeficiente de escoamento superficial de 45,18 % em condição média de umidade (NII), de 17,03 % em situação de estiagem ou secos (NI) e 69,32 % em estado de umidade próximo da saturação ou de sua capacidade de campo (NIII). Isto para uma situação simulada de 70 mm de precipitação.

## 4.2 SUB-BACIA HIDROGRÁFICA 18 DO RIO CARAPÁ

### 4.2.1 Análise do uso do solo e comportamento hidrológico no ano de 1985

A Figura 20 mostra o resultado da classificação supervisionada dos usos da sub-bacia 18 do rio Carapá no período de 1985 determinadas a partir da análise de imagem de satélite da área.

A Tabela 23 apresenta o uso da terra no período de 1985 e suas respectivas áreas em hectares e porcentagem que cada uma ocupa em relação à sub-bacia.

TABELA 23 - CLASSES DE USOS DO SOLO DA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 1985

Classes	Hectares (ha)	(%)
Cultivo	807,04	13,90
Vegetação Secundaria	689,18	11,87
Floresta Nativa	4.311,30	74,24
<b>Totais</b>	<b>5.807,52</b>	<b>100,00</b>

FONTE: O autor (2009)

Analisando a Figura 20 e a Tabela 23 observamos que, a classe Floresta Nativa é a que têm predominância em quantidade de área com relação à superfície total da bacia, ocupando 74,24% da área total. Verifica-se também que nessa época, a classe Vegetação Secundaria representa 11,87% da área da bacia. Ainda, 13,90% da superfície são ocupadas pela classe denominada Cultivos.

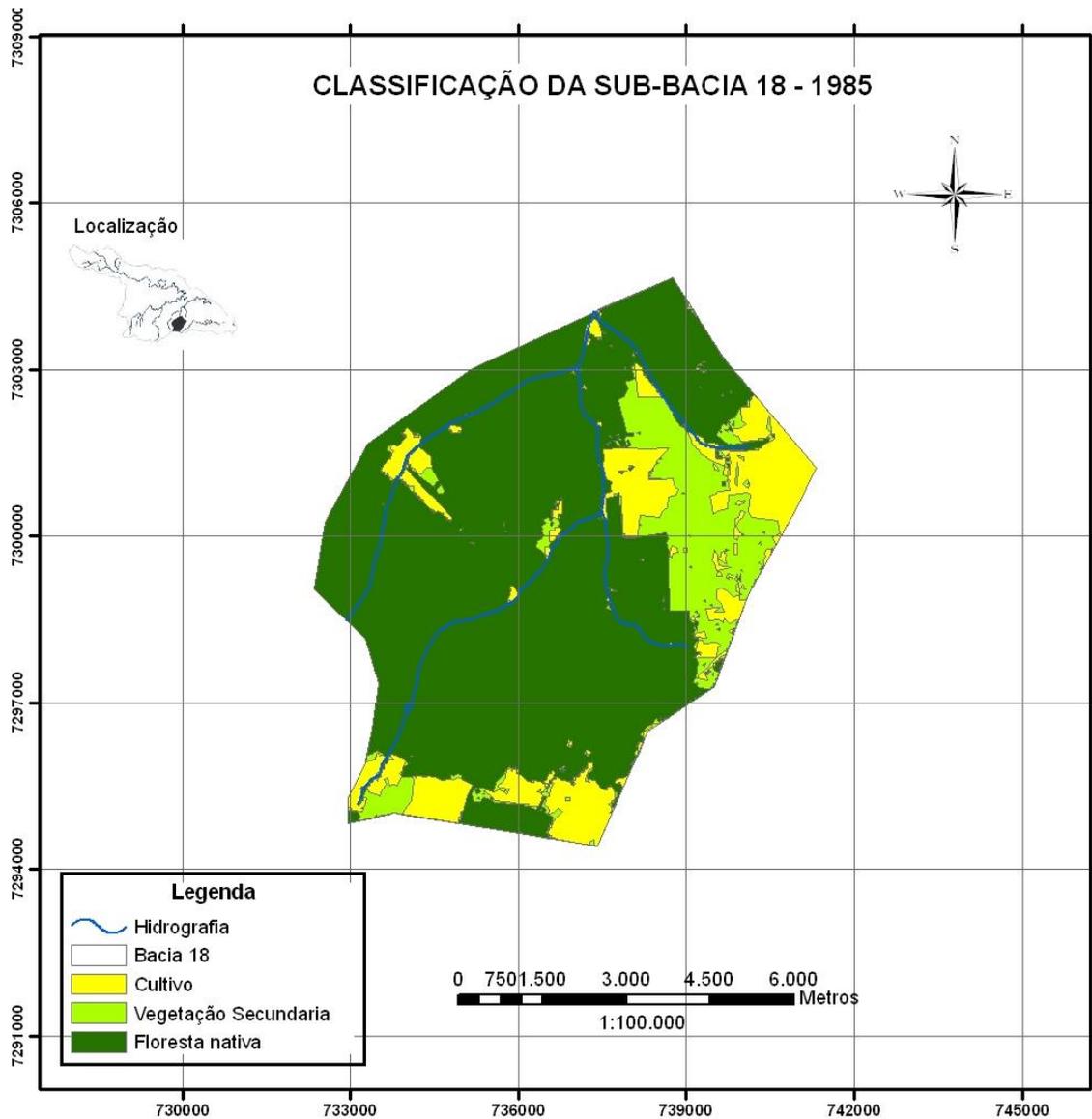


FIGURA 20 - MAPA DE USO DO SOLO DA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 1985  
 FONTE: O autor (2009)

O resultado do cruzamento das classes de solos encontrados na área de estudo com o uso resultante da classificação supervisionada é verificado na Figura 21 e na Tabela 24.

TABELA 24 - ÁREA POR TIPOLOGIA DE USO DO SOLO NA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 1985

Classes de Solos	Classe Hidrológica	Cultivo	Vegetação Secundaria	Floresta Nativa	Total
Entisol	D	2,64	15,87	0,00	18,51
Oxisol	C	804,43	673,33	4.311,25	5.789,01
<b>Totais</b>		<b>807,07</b>	<b>689,20</b>	<b>4.311,25</b>	<b>5.807,52</b>

FONTE: O autor (2009)

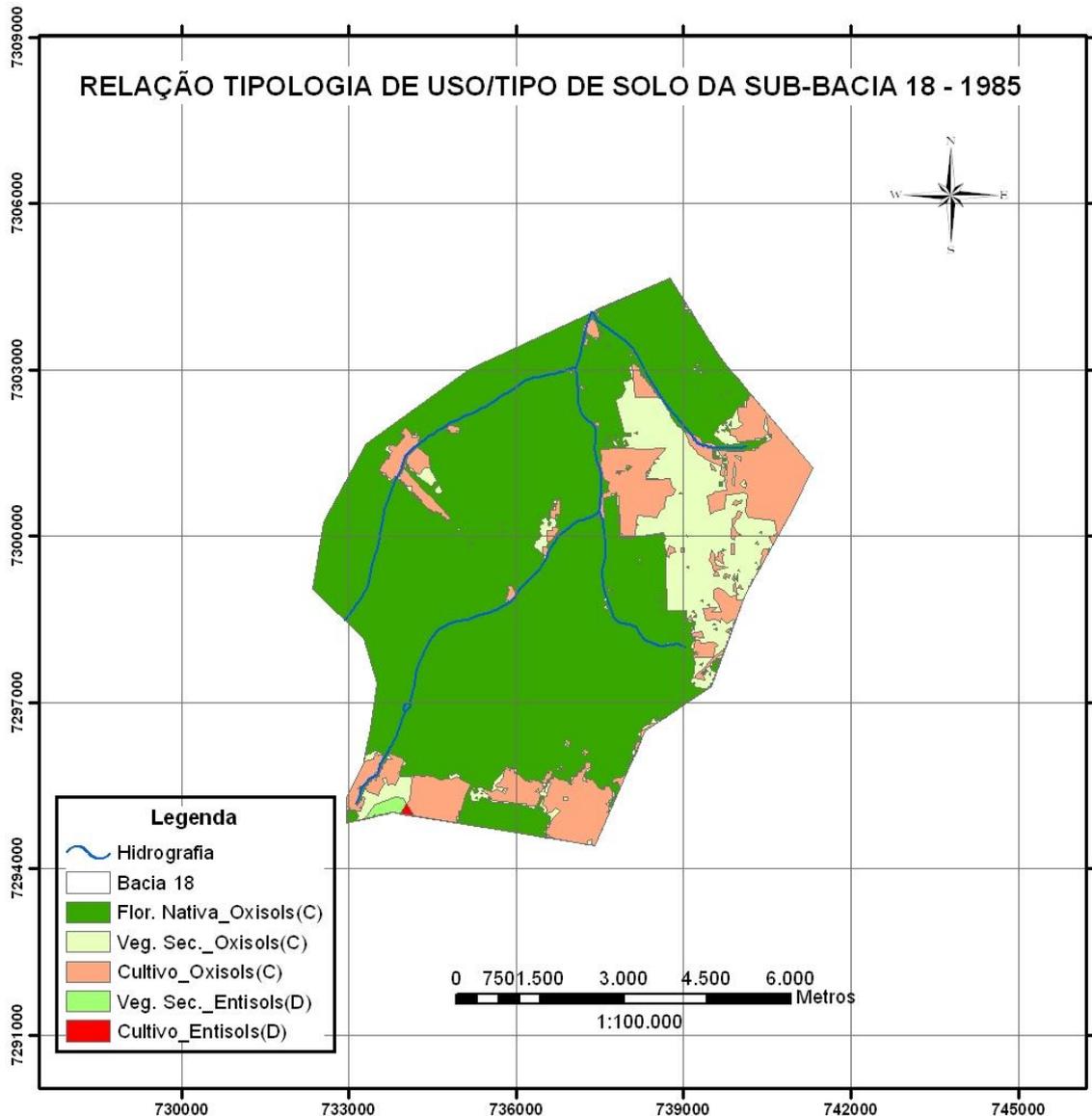


FIGURA 21 - TIPO E USOS DO SOLO NA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 1985  
 FONTE: O autor (2009)

As curvas números resultantes do cruzamento das tipologias de uso e classes de solos para a determinação do valor da curva número médios e o resultado desta análise são ilustrados nas Tabelas 25 e 26.

TABELA 25 - CURVAS NÚMERO POR TIPOLOGIA DA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 1985

Classes de Solos	Classe Hidrológica	Cultivo			Vegetação Secundária			Floresta Nativa		
		NI	NII	NIII	NI	NII	NIII	NI	NII	NIII
Entisol	D	72	86	93	81	91	96	57	76	88
Oxisol	C	64	80	90	72	86	93	49	70	84

FONTE: O autor (2009)

TABELA 26 - CURVA NÚMERO MÉDIA (NII) DA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 1985

Usos	CN média
Cultivos	80,02
Vegetação Secundaria	86,12
Floresta Nativa	70,00

FONTE: O autor (2009)

Na Tabela 26 pode-se observar que o menor valor de número de curva médio apresenta a tipologia Floresta Nativa (70,00) seguida de Cultivos com um valor de 80,02. Vegetação Secundária é a tipologia que apresenta o maior valor, 86,12.

Na Tabela 27 são apresentados os Parâmetros Hidrológicos resultantes das análises de CN na sub-bacia 18 do rio Carapá, ano 1985.

TABELA 27 - PARÂMETROS HIDROLÓGICOS DA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 1985

Parâmetros Hidrológicos	(NI) Permeável Solo seco	(NII) Permeabilidade Média Solo Normal	(NIII) Impermeabilidade Solo Saturado
Curva Número Média da Bacia	53,57	73,31	86,34
Cap. Máx. de Saturação (S)	220,15 mm	92,46 mm	40,20 mm
Cont. de Chuva por Abstração (Po)	44,03 mm	18,49 mm	8,04 mm
Escoam. Sup. real ou Precip. Efetiva (Pe)	2,74 mm	18,43 mm	37,58 mm
Perdas Reais Máximas (Pmax)	23,23 mm	33,08 mm	24,38 mm
Coeficiente de Escoamento Sup. (CE)	3,91 %	26,33 %	53,68 %

FONTE: O autor (2009)

As estimativas de CN média da sub-bacia 18 no ano de 1985 apresentam os valores de 53,57 para condição seca (NI), 73,31 para condição normal (NII), e 86,34 para condição de solo saturado (NIII). Com este uso de solo, 13,90 % de Cultivos, 11,87 % de Vegetação Secundária e 74,24 % de Floresta nativa, a bacia hidrográfica tem uma capacidade de saturação de 220,15 mm em situação de estiagem ou secos (NI), 92,46 mm em situação média de umidade (NII), e capacidade de saturação de 40,20 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo.

Observa-se que a bacia hidrográfica com este uso de solo, precisa de, no mínimo, 18,49 mm de chuva para produzir escoamento superficial em situação média de umidade (NII), de 44,03 mm quando em situação de estiagem ou secos (NI) e 8,04 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo (NIII).

Com relação ao escoamento real ou precipitação efetiva, a bacia hidrográfica com este uso de solo, em situação de normalidade em conteúdo de umidade permitirá um escoamento superficial de 18,43 mm de chuva para produzir escoamento superficial em situação média de umidade (NII), de 2,74 mm quando em situação de estiagem ou secos (NI) e 37,58 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo (NIII). Isto com Precipitação simulada de 70 mm.

A bacia hidrográfica com este uso de solo em situação de normalidade em conteúdo de umidade permitiria uma perda máxima de água da ordem de 33,08 mm em situação média de umidade (NII), de 23,23 mm quando em situação de estiagem ou secos (NI) e 24,38 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo (NIII), com precipitação de 70 mm.

Ainda, a bacia hidrográfica com este uso apresenta um coeficiente de escoamento superficial de 26,33 % em condição média de umidade (NII), de 3,91 % em situação de estiagem ou secos (NI) e 53,68 % em estado de umidade próximo da saturação ou de sua capacidade de campo (NIII). Para uma situação de simulação de 70 mm de precipitação em 1 hora e dez minutos.

#### 4.2.2. Análise do uso do solo e comportamento hidrológico no ano de 1999

A Figura 22 mostra o resultado da classificação supervisionada dos usos da sub-bacia 18 do rio Carapá, no período de 1999 determinadas a partir da análise da imagem de satélite da área.

A Tabela 28 apresenta o uso da terra no período 1999 e suas respectivas áreas em hectares e porcentagem que cada uma ocupa em relação à bacia.

TABELA 28 - CLASSES DE USOS DO SOLO DA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 1999

Classes	Hectares (ha)	(%)
Cultivo	1.165,21	20,06
Vegetação Secundaria	2.479,82	42,70
Floresta Nativa	2.162,49	37,24
<b>Totais</b>	<b>5.807,52</b>	<b>100,00</b>

FONTE: O autor (2009)

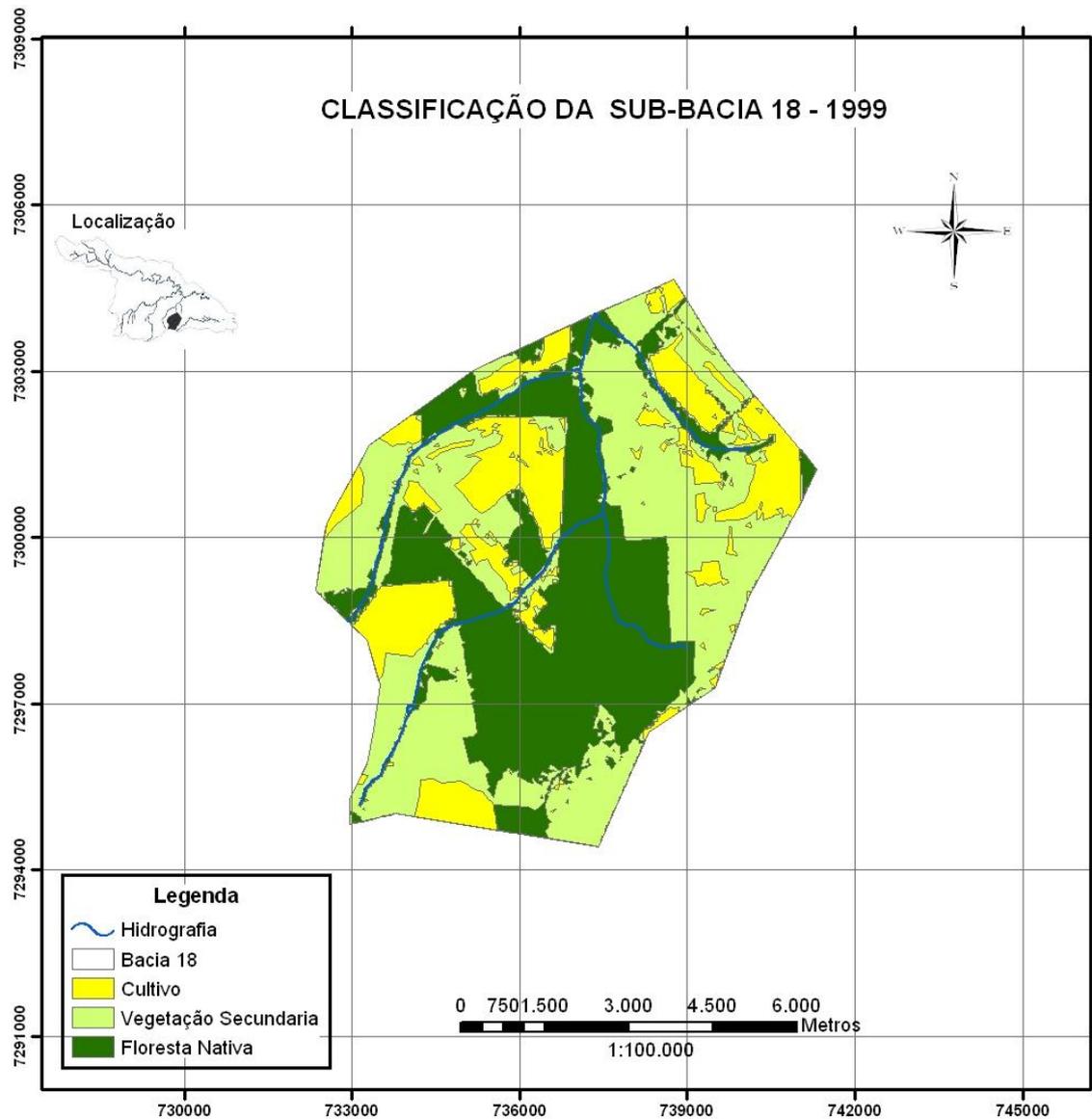


FIGURA 22 - MAPA DE USO DO SOLO DA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 1999  
 FONTE: O autor (2009)

De acordo com a análise da Figura 22 e da Tabela 28 verifica-se que a classe Vegetação secundaria é a predominante com relação à superfície total da bacia ocupando 42,70% da área. A classe denominada Floresta Nativa ocupa uma área com 37,24%. Cultivo vem a seguir com 20,06%.

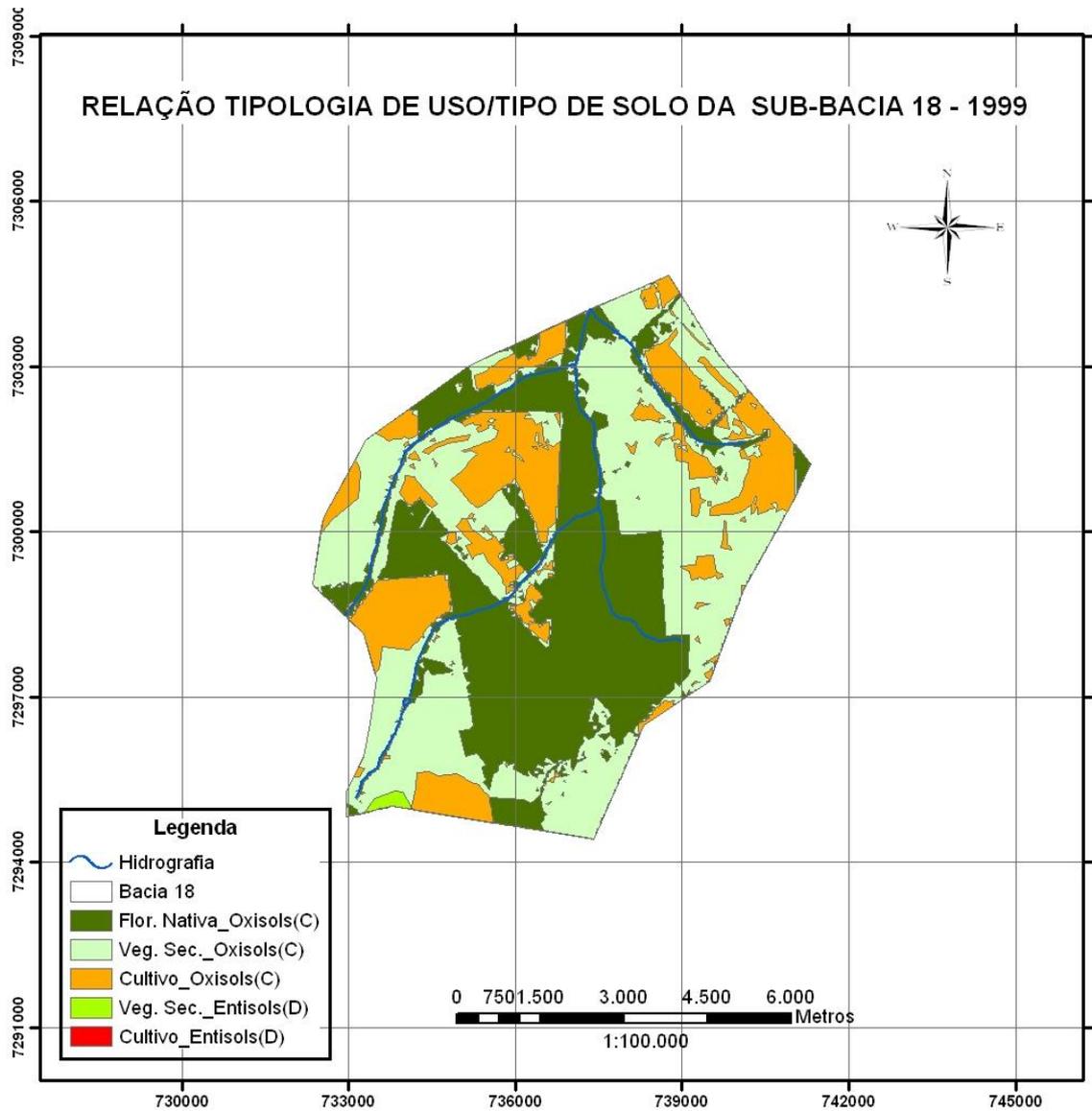


FIGURA 23 - TIPO E USOS DO SOLO NA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 1999

FONTE: O autor (2009)

O resultado do cruzamento das classes de solos encontrados na área de estudo com o uso resultante da classificação supervisionada é verificado na Figura 23 e na Tabela 29.

TABELA 29 - ÀREA POR TIPOLOGIA DE USO DO SOLO NA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 1999

Classes de Solos	Classe Hidrológica	Cultivo	Vegetação Secundária	Floresta Nativa	Total
Entisol	D	0,30	18,21	0,00	18,51
Oxisol	C	1.164,91	2.461,60	2.162,49	5.789,01
<b>Totais</b>		<b>1.165,21</b>	<b>2.479,82</b>	<b>2.162,49</b>	<b>5.807,52</b>

FONTE: O autor (2009)

TABELA 30 - CURVAS NÚMERO POR TIPOLOGIA DA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 1999

Classes de Solos	Classe Hidrológica	Cultivo			Vegetação Secundária			Floresta Nativa		
		NI	NII	NIII	NI	NII	NIII	NI	NII	NIII
Entisol	D	72	86	93	81	91	96	57	76	88
Oxisol	C	64	80	90	72	86	93	49	70	84

FONTE: O autor (2009)

TABELA 31 - CURVA NÚMERO MÉDIA (NII) DA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 1999

Tipologias de Uso	CN média
Cultivos	80,00
Vegetação Secundária	86,04
Floresta Nativa	70,00

FONTE: O autor (2009)

Na Tabela 31 pode-se observar que o maior valor de número de curva médio apresenta a tipologia Vegetação Secundária com um valor de 86,04. Em seguida vem a tipologia Cultivos com um valor 80,00 e Floresta Nativa com 70,00.

Na Tabela 32 são apresentados os Parâmetros Hidrológicos resultantes das análises de CN na sub-bacia 18 do rio Carapá, ano 1999.

TABELA 32 - PARÂMETROS HIDROLÓGICOS DA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 1999

Parâmetros Hidrológicos	(NI) Permeável Solo seco	(NII) Permeabilidade Média Solo Normal	(NIII) Impermeabilidade Solo Saturado
Curva Número Média da Bacia	61,03	78,85	89,56
Cap. Máx. de Saturação (S)	162,18 mm	68,11 mm	29,61 mm
Cont. de Chuva por Abstração (Po)	32,44 mm	13,62 mm	5,92 mm
Escoam. Sup. real ou Precip. Efetiva (Pe)	7,06 mm	25,53 mm	43,82 mm
Perdas Reais Máximas (Pmax)	30,50 mm	30,85 mm	20,25 mm
Coefficiente de Escoamento Sup. (CE)	10,09 %	36,47 %	62,60 %

FONTE: O autor (2009)

As estimativas de CN média da sub-bacia 18 no ano de 1999 apresentam os valores de 61,03 para condição seca (NI), 78,85 para condição normal (NII), e 89,56 para condição de solo saturado (NIII). Com este uso de solo; 20,06 % de Cultivos, 42,70 % Vegetação secundária e 37,24 % Floresta nativa, a bacia hidrográfica tem uma capacidade de saturação de 162,18 mm situação de estiagem ou secos (NI), 68,11 mm em situação média de umidade (NII), e 29,61 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo (NIII).

Observa-se que a bacia hidrográfica com este uso de solo, precisa de, no mínimo, 13,62 mm de chuva para produzir escoamento superficial em situação média de umidade (NII), de 32,44 mm quando em situação de estiagem ou secos (NI) e 5,92 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo.

Com relação ao escoamento real ou precipitação efetiva, a bacia hidrográfica com este uso de solo, em situação de normalidade em conteúdo de umidade permitirá um escoamento superficial de 25,53 mm de chuva para produzir escoamento superficial em situação média de umidade (NII), de 7,06 mm quando em situação de estiagem ou secos (NI) e 43,82 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo (NIII), com Precipitação de 70 mm.

A bacia hidrográfica com este uso de solo em situação de normalidade em conteúdo de umidade permitiria uma perda máxima de água da ordem de 30,85 mm em situação média de umidade (NII), de 30,50 mm quando em situação de estiagem ou secos (NI) e 20,25 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo (NIII), com precipitação de 70 mm.

Ainda, a bacia hidrográfica com este uso apresenta um coeficiente de escoamento superficial de 36,47 % em condição média de umidade (NII), de 10,09 % em situação de estiagem ou secos (NI) e 62,60 % em estado de umidade próximo da saturação ou de sua capacidade de campo (NIII). Isto para uma situação de simulação de 70 mm de precipitação em 1 hora e dez minutos.

#### 4.2.3. Análise do uso do solo e comportamento hidrológico no ano de 2007

A Figura 24 mostra o resultado da classificação supervisionada dos usos da sub-bacia 18 do rio Carapá, no período de 2007 determinadas a partir da análise da imagem de satélite da área e cruzamento com dados do projeto Carapá Ypoti (2008). A tipologia Vegetação secundária não aparece nesta classificação, sendo substituída por Alagados (Banhado), Pastagem e Cultivos. A tipologia Floresta Nativa é o resultado da resposta espectral da classificação.

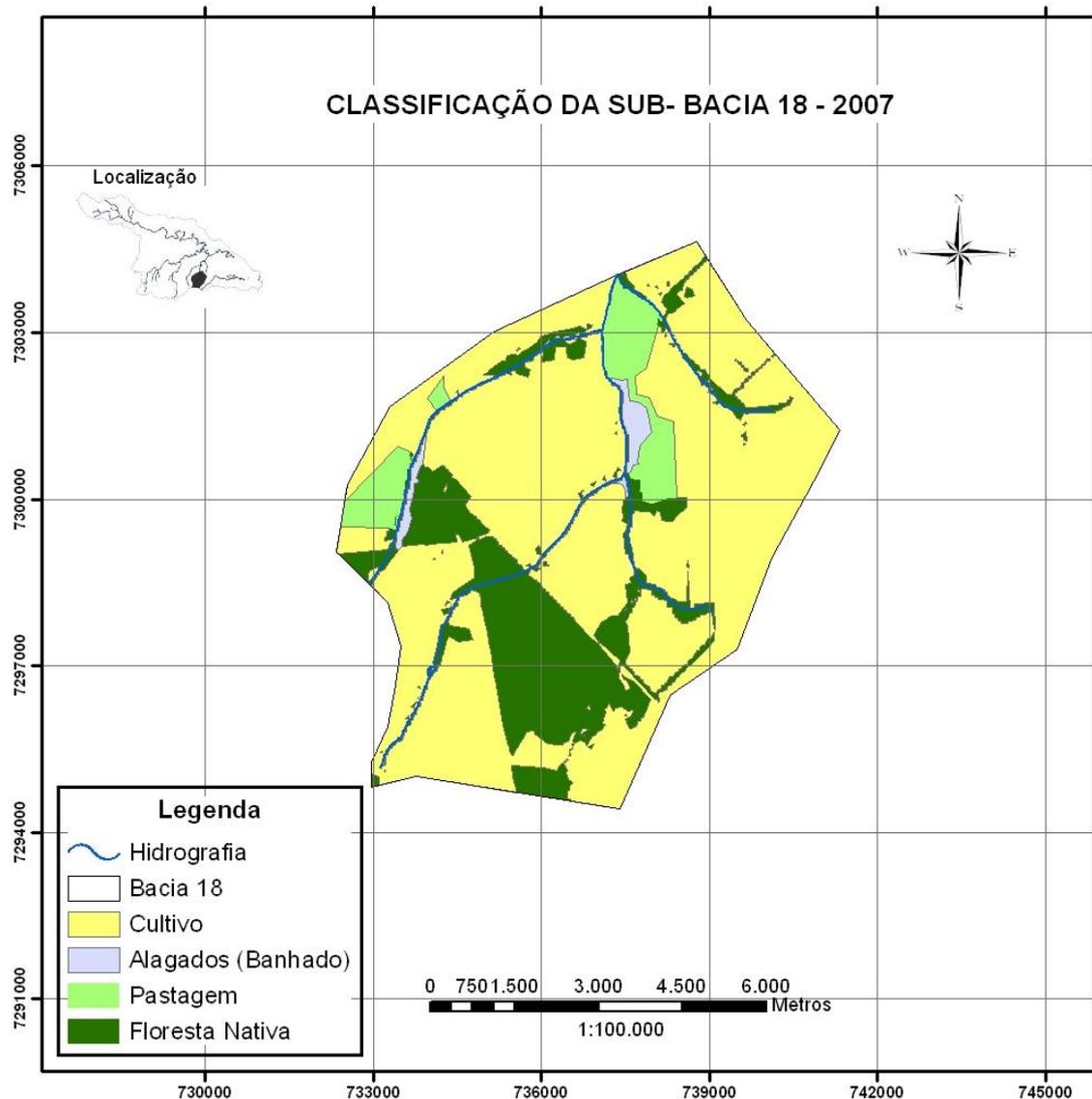


FIGURA 24 - MAPA DE USO DO SOLO DA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 2007

FONTE: O autor (2009)

A Tabela 33 apresenta o uso da terra no período 2007 e suas respectivas áreas em hectares e porcentagem que cada uma ocupa em relação à sub-bacia.

TABELA 33 - CLASSES DE USOS DO SOLO DA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 2007

Classes	Hectares (ha)	(%)
Cultivo	4.182,24	72,01
Alagados (Banhado)	74,68	1,29
Pastagem	355,37	6,12
Floresta Nativa	1.195,23	20,58
<b>Totais</b>	<b>5.807,52</b>	<b>100,00</b>

FONTE: O autor (2009)

Analisando a Figura 24 e a Tabela 33 observa-se que a classe denominada Cultivo é a que ocupa a maior parte da superfície da bacia correspondendo para a mesma 72,01%. A classe Floresta Nativa aparece com 20,58% da área. A classe Pastagem aparece com 6,12% e a classe Alagados (Banhado) ocupa 1,29% da superfície total da bacia. A taxa de desmatamento encontrado nos três períodos nas três áreas de análise é ilustrada na Tabela 29 além do comportamento do desmatamento (Gráfico 2).

TABELA 34 - TAXA DE DESMATAMENTO NA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ NOS TRÊS PERÍODOS

	Ano	Cobertura florestal (%)	Combinações	Período (Anos)	Desmatamento (%)	Taxa (%)
1	1985	74,24	1 -2	14	37,00	2,64
2	1999	37,24	2 -3	8	16,66	2,08
3	2007	20,58	1 -3	22	53,66	2,43

FONTE: O autor (2009)

A Tabela 34 e o Gráfico 2 ilustram o comportamento da cobertura florestal da sub-bacia 18 do rio Carapá ao longo do período de estudo. Houve uma redução da superfície florestal no período compreendido entre os anos de 1985 a 1999 de 37,00%. A taxa de desmatamento para esses catorze anos corresponde a 2,64% anuais. No período entre 1999 a 2007 observa-se comportamento similar, com uma diminuição da massa florestal no valor de 16,66%, representando uma taxa de desmatamento anual de 2,08% no período de 8 anos. Este valor encontrado é menor que o valor da taxa de desmatamento encontrado por Rodas (1998) para a região Oriental do Paraguai e Huespe Fatecha (1994) e para o Departamento de Canindeyú nesse mesmo período quais são de 3,2% e 4,4% anuais respectivamente.

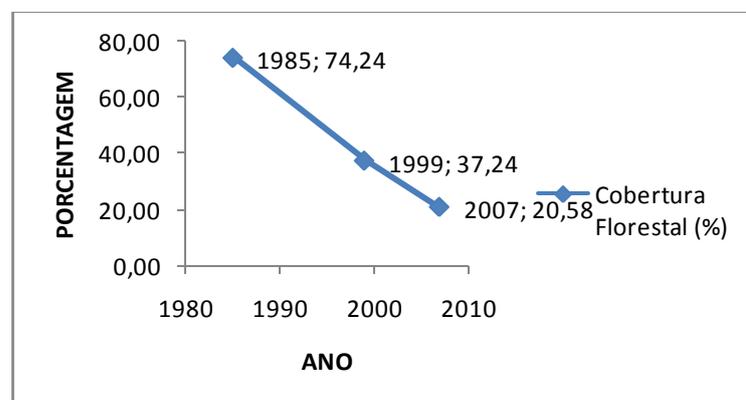


GRÁFICO 2 - ALTERAÇÃO DA COBERTURA FLORESTAL NA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ  
FONTE: O autor (2009)

O total desmatado entre o ano de 1985 a 2007 corresponde a 53,66% que corresponde a uma taxa anual de desmatamento de 2,43% anuais num período de 22 anos.

Com relação à análise de Números Hidrológicos, o resultado do cruzamento das classes de solos encontrados na área de estudo com o uso resultante da classificação supervisionada é verificado na Figura 25 e na Tabela 33.

TABELA 35 - ÀREA POR TIPOLOGIA DE USO DO SOLO NA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 2007

Tipos de Solos	Classe Hidrológica	Cultivo	Floresta	Alagados (Banhado)	Pastagem	Total
Oxisol	C	4.163,73	1.195,22	74,68	355,37	5.789,00
Entisol	D	18,52	0,00	0,00	0,00	18,52
<b>Totais</b>		<b>4.182,25</b>	<b>1.195,33</b>	<b>74,68</b>	<b>355,37</b>	<b>5.807,52</b>

FONTE: O autor (2009)

As curvas números resultantes do cruzamento das tipologias de uso e classes de solos para a determinação do valor da curva número médios e o resultado desta análise são ilustrados nas Tabelas 36 e 37.

TABELA 36 - CURVAS NÚMERO POR TIPOLOGIA DA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 2007

Classes de Solos	Classe Hidrológica	Cultivo			Pastagem			Floresta Nativa			Alagados (Banhado)		
		NI	NII	NIII	NI	NII	NIII	NI	NII	NIII	NI	NII	NIII
Entisol	D	75	88	94	67	83	92	57	76	88	100	100	100
Oxisol	C	69	84	92	56	75	87	49	70	84	100	100	100

FONTE: O autor (2009)

Pode-se observar na Tabela 37 que o menor valor de CN apresenta a tipologia Floresta Nativa com um valor de 70,00. Logo em seguida vem a tipologia de uso Pastagem com um valor de 75,00 seguida de Cultivos com 84,02 e por último Alagados (Banhado) com valor 100, baseado nas suas características como já foi analisado anteriormente.

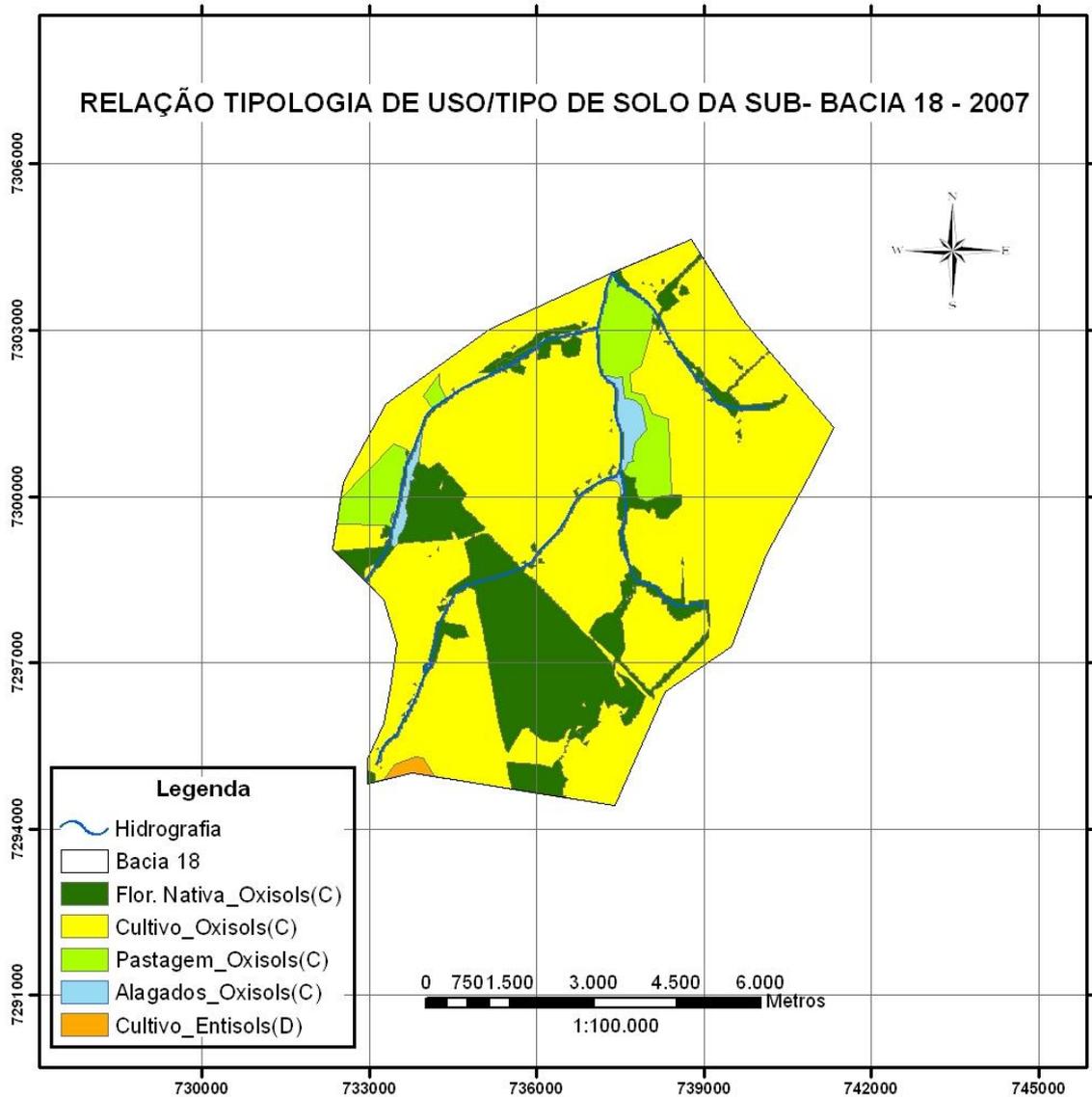


FIGURA 25 - TIPO E USOS DO SOLO NA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 2007  
FONTE: O autor (2009)

TABELA 37 - CURVA NÚMERO MÉDIA (NII) DA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 2007

Tipologias de Uso	CN média
Cultivos	84,02
Floresta Nativa	70,00
Pastagem	75,00
Alagados (Banhado)	100,00

FONTE: O autor (2009)

Na Tabela 38 são apresentados os parâmetros hidrológicos resultantes das análises de CN na sub-bacia 18 do rio Carapá, ano 2007.

TABELA 38 - PARÂMETROS HIDROLÓGICOS DA SUB-BACIA 18 DO RIO CARAPÁ EM 2007

Parâmetros Hidrológicos	(NI) Permeável Solo seco	(NII) Permeabilidade Média Solo Normal	(NIII) Impermeabilidade Solo Saturado
Curva Número Média da Bacia	63,85	80,79	90,63
Cap. Máx. de Saturação (S)	143,83 mm	60,41 mm	26,26 mm
Cont. de Chuva por Abstração (Po)	28,77 mm	12,08 mm	5,25 mm
Escoam. Sup. real ou Precip. Efetiva (Pe)	9,19 mm	28,35 mm	46,06 mm
Perdas Reais Máximas (Pmax)	32,05 mm	29,57 mm	18,69 mm
Coefficiente de Escoamento Sup. (CE)	13,12 %	40,50 %	65,80 %

FONTE: O autor (2009)

Os valores de CN média da sub-bacia 18 do rio Carapá no ano de 2007 apresentam os valores de 63,85 para condição seca (NI); 80,79 para condição normal (NII), e 90,63 para condição de solo saturado (NIII). Com este uso de solo, 72,01 % de Cultivos, 20,58 % de Floresta nativa; 6,12 de Pastagem e 1,29 % de Alagados (Banhado), a bacia hidrográfica tem uma capacidade de saturação de 143,83 mm quando em situação de estiagem ou secos (NI), 60,41 em situação média de umidade (NII), e capacidade de saturação de 26,26 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo.

Observa-se que a bacia hidrográfica com este uso de solo, precisa de, no mínimo, 12,08 mm de chuva para produzir escoamento superficial em situação média de umidade (NII), de 28,77 mm quando em situação de estiagem ou secos (NI) e 5,25 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo.

Com relação ao escoamento real ou precipitação efetiva a bacia hidrográfica com este uso de solo, em situação de normalidade em conteúdo de umidade permitirá um escoamento superficial de 28,35 mm de chuva para produzir escoamento superficial em situação média de umidade (NII), de 9,19 mm quando em situação de estiagem ou secos (NI) e 46,06 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo (NIII), com Precipitação simulada de 70 mm.

A bacia hidrográfica com este uso de solo em situação de normalidade em conteúdo de umidade permitiria uma perda máxima de água da ordem de 29,57 mm em situação média de umidade (NII), de 32,05 mm quando em situação de estiagem

ou secos (NI) e 18,69 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo (NIII) com precipitação de 70 mm.

Ainda, a bacia hidrográfica com este uso apresenta um coeficiente de escoamento superficial de 40,50 % em condição média de umidade (NII), de 13,12 % em situação de estiagem ou secos (NI) e 65,80 % em estado de umidade próximo da saturação ou de sua capacidade de campo (NIII). Isto para uma situação simulada de 70 mm de precipitação.

#### 4.3 SUB-BACIA HIDROGRÁFICA 49 DO RIO CARAPÁ

##### 4.3.1 Análise do uso do solo e comportamento hidrológico no ano de 1985

A Figura 26 mostra o resultado da classificação supervisionada dos usos na sub-bacia 49 do rio Carapá no período de 1985 determinadas a partir da análise da imagem de satélite da área.

A Tabela 37 apresenta o uso da terra no período 1985 e suas respectivas áreas em hectares e porcentagem que cada uma ocupa em relação à bacia.

TABELA 39 - CLASSES DE USOS DO SOLO DA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 1985

Classes	Hectares (ha)	(%)
Cultivo	1.428,67	21,72
Vegetação Secundaria	1.122,49	17,06
Floresta Nativa	4.027,61	61,22
<b>Totais</b>	<b>6.578,77</b>	<b>100,00</b>

FONTE: O autor (2009)

Analisando a Tabela 39 e a Figura 26 observa-se que, a classe Floresta Nativa é a que têm predominância em quantidade de área com relação à superfície total da bacia, ocupando 61,22% da área total. Verifica-se também que nessa época, a classe Cultivo ocupa 21,72%. Ainda, Vegetação Secundaria representa 17,06% da área da bacia.

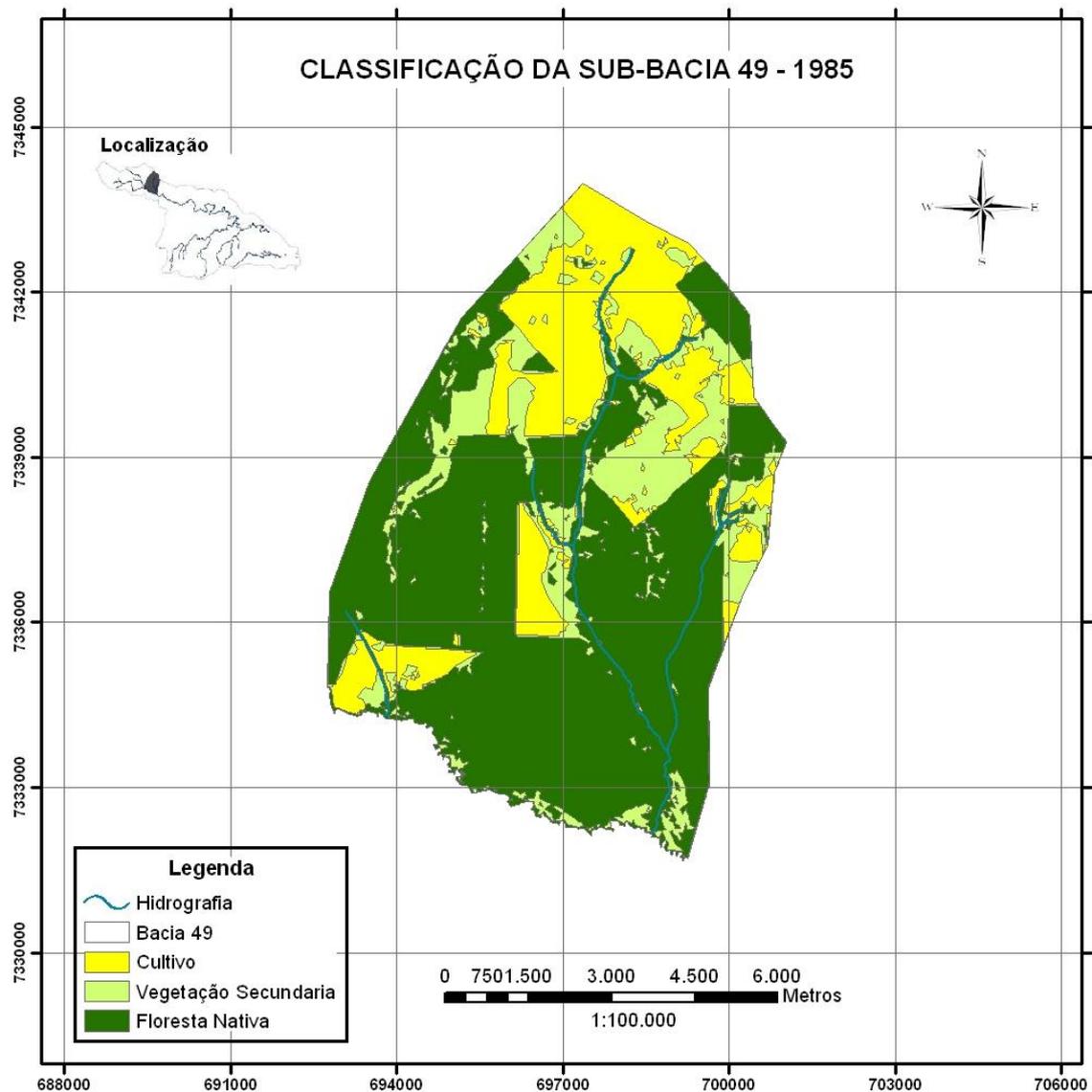


FIGURA 26 - MAPA DE USO DO SOLO DA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 1985  
FONTE: O autor (2009)

O resultado do cruzamento das classes de solos encontrados na área de estudo com o uso resultante da classificação supervisionada é verificado na Figura 27 e na Tabela 40.

As curvas números resultantes do cruzamento das tipologias de uso e classes de solos para a determinação do valor da curva número médios e o resultado desta análise são ilustrados nas Tabelas 41 e 42. Estes valores foram utilizados também para a o cálculo da sub-bacia 49 do rio Carapá no período 1999.

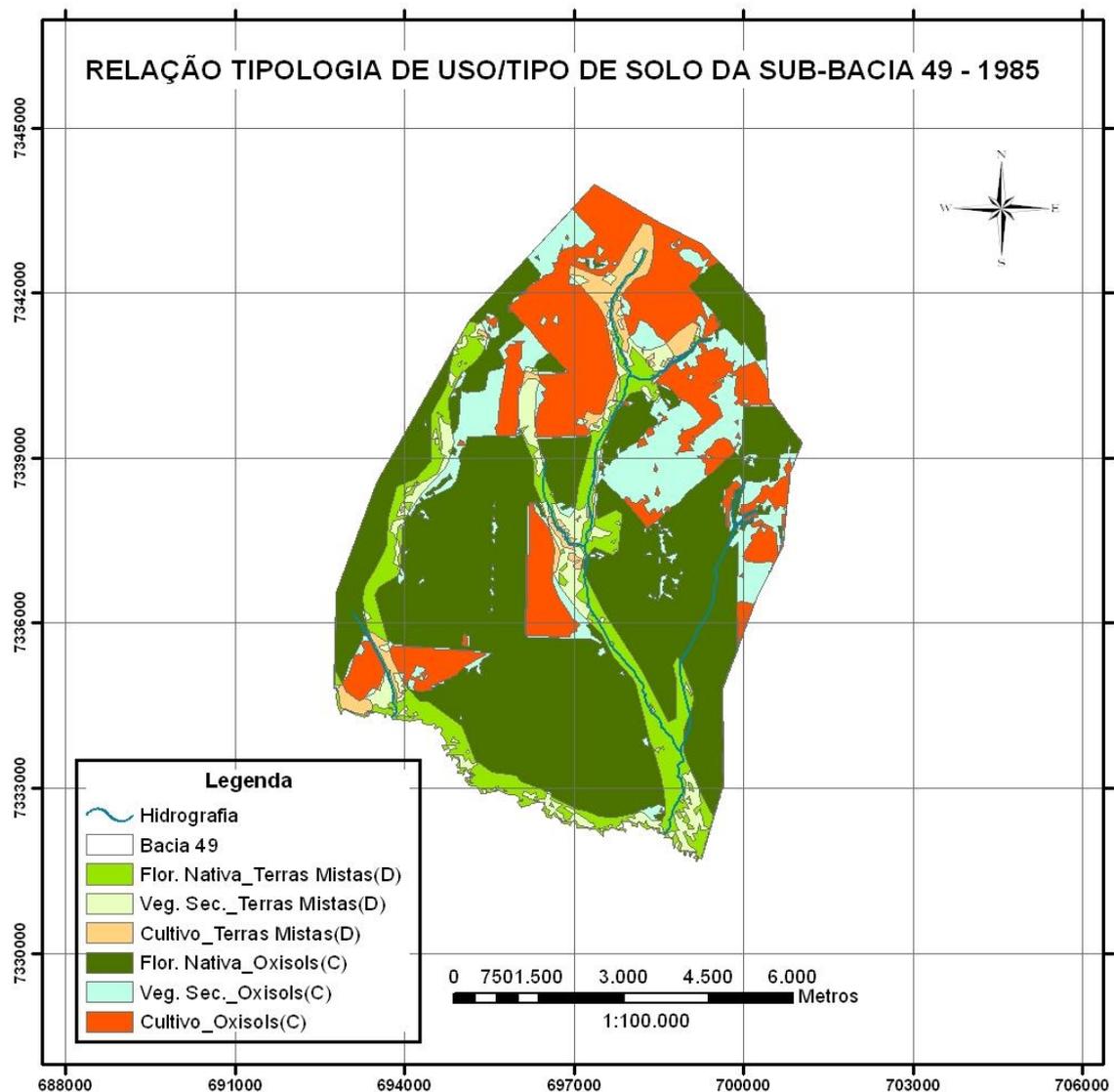


FIGURA 27 - TIPO E USOS DO SOLO NA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 1985  
FONTE: O autor (2009)

TABELA 40 - ÀREA POR TIPOLOGIA DE USO DO SOLO NA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 1985

Classes de Solos	Classe Hidrológica	Cultivo	Vegetação Secundaria	Floresta Nativa	Total
Oxisols	C	1.248,08	802,63	3.340,88	5.391,59
Terras Mistas	D	180,58	319,86	686,72	1.187,18
<b>Totais</b>		<b>1.428,66</b>	<b>1.122,49</b>	<b>4.027,62</b>	<b>6.578,77</b>

FONTE: O autor (2009)

TABELA 41 - CURVAS NÚMERO POR TIPOLOGIA DA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 1985

Classes de Solos	Classe Hidrológica	Cultivo			Vegetação Secundaria			Floresta Nativa		
		NI	NII	NIII	NI	NII	NIII	NI	NII	NIII
Oxisol	C	64	80	90	72	86	93	49	70	84
Terras Mistas	D	72	86	93	81	91	96	57	76	88

FONTE: O autor (2009)

Na Tabela 42 pode-se observar que o menor valor de CN apresenta a tipologia Floresta Nativa com um valor de 71,02. O maior valor corresponde a Vegetação Secundaria com um valor de 87,42 ficando em posição intermédia Cultivos com 80,76.

TABELA 42 - CURVA NÚMERO MÉDIA (NII) DA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 1985

Tipologias de Uso	CN média
Cultivos	80,76
Vegetação Secundaria	87,42
Floresta Nativa	71,02

FONTE: O autor (2009)

Na Tabela 43 são apresentados os parâmetros hidrológicos resultantes das análises de CN na sub-bacia 49 do rio Carapá, ano 1985.

TABELA 43 - PARÂMETROS HIDROLÓGICOS DA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 1985

Parâmetros Hidrológicos	(NI) Permeável Solo seco	(NII) Permeabilidade Média Solo Normal	(NIII) Impermeabilidade Solo Saturado
Curva Número Média da Bacia	57,00	75,94	87,89
Cap. Máx. de Saturação (S)	191,65 mm	80,49 mm	35,00 mm
Cont. de Chuva por Abstração (Po)	38,33 mm	16,10 mm	7,00 mm
Escoam. Sup. real ou Precip. Efetiva (Pe)	4,49 mm	21,62 mm	40,50 mm
Perdas Reais Máximas (Pmax)	27,18 mm	32,28 mm	22,50 mm
Coefficiente de Escoamento Sup. (CE)	6,42 %	30,88 %	57,86 %

FONTE: O autor (2009)

As estimativas de CN média da sub-bacia 49 no ano de 1985 apresentam os valores de 57,00 para condição seca (NI), 75,94 para condição normal (NII) e 87,89 para condição de solo saturado (NIII). Com este uso de solo, 21,72 % de Cultivos, 17,06 % Vegetação secundária e 61,22 % Floresta nativa, a bacia hidrográfica tem uma capacidade de saturação de 191,65 mm quando em situação de estiagem ou secos (NI), 80,49 mm em situação média de umidade (NII), capacidade de saturação de 35,00 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo.

Observa-se que a bacia hidrográfica com este uso de solo, precisa de, no mínimo, 16,10 mm de chuva para produzir escoamento superficial em situação média de umidade (NII), de 38,33 mm quando em situação de estiagem ou secos

(NI) e 7,00 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo.

Com relação ao escoamento real ou precipitação efetiva a bacia hidrográfica com este uso de solo, em situação de normalidade em conteúdo de umidade permitirá um escoamento superficial de 21,62 mm de chuva para produzir escoamento superficial em situação média de umidade (NII), de 4,49 mm quando em situação de estiagem ou secos (NI) e 40,50 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo (NIII), com precipitação simulada de 70 mm.

A bacia hidrográfica com este uso de solo em situação de normalidade em conteúdo de umidade permitiria uma perda máxima de água da ordem de 32,28 mm em situação média de umidade (NII), de 27,18 mm quando em situação de estiagem ou secos (NI) e 22,50 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo (NIII) com precipitação de 70 mm.

Além disso, a bacia hidrográfica com este uso apresenta um coeficiente de escoamento superficial de 30,88 % em condição média de umidade (NII), de 6,42 % em situação de estiagem ou secos (NI) e 57,86 % em estado de umidade próximo da saturação ou de sua capacidade de campo (NIII). Isto para uma situação simulada de 70 mm de precipitação em 1 hora e dez minutos.

#### 4.3.2. Análise do uso do solo e comportamento hidrológico no ano de 1999

A Figura 28 mostra o resultado da classificação supervisionada dos usos da sub-bacia 49 do rio Carapá, no período de 1999 determinadas a partir da análise da imagem de satélite da área.

A tabela 44 apresenta o uso da terra no período 1999 e suas respectivas áreas em hectares e porcentagem que cada uma ocupa em relação à bacia.

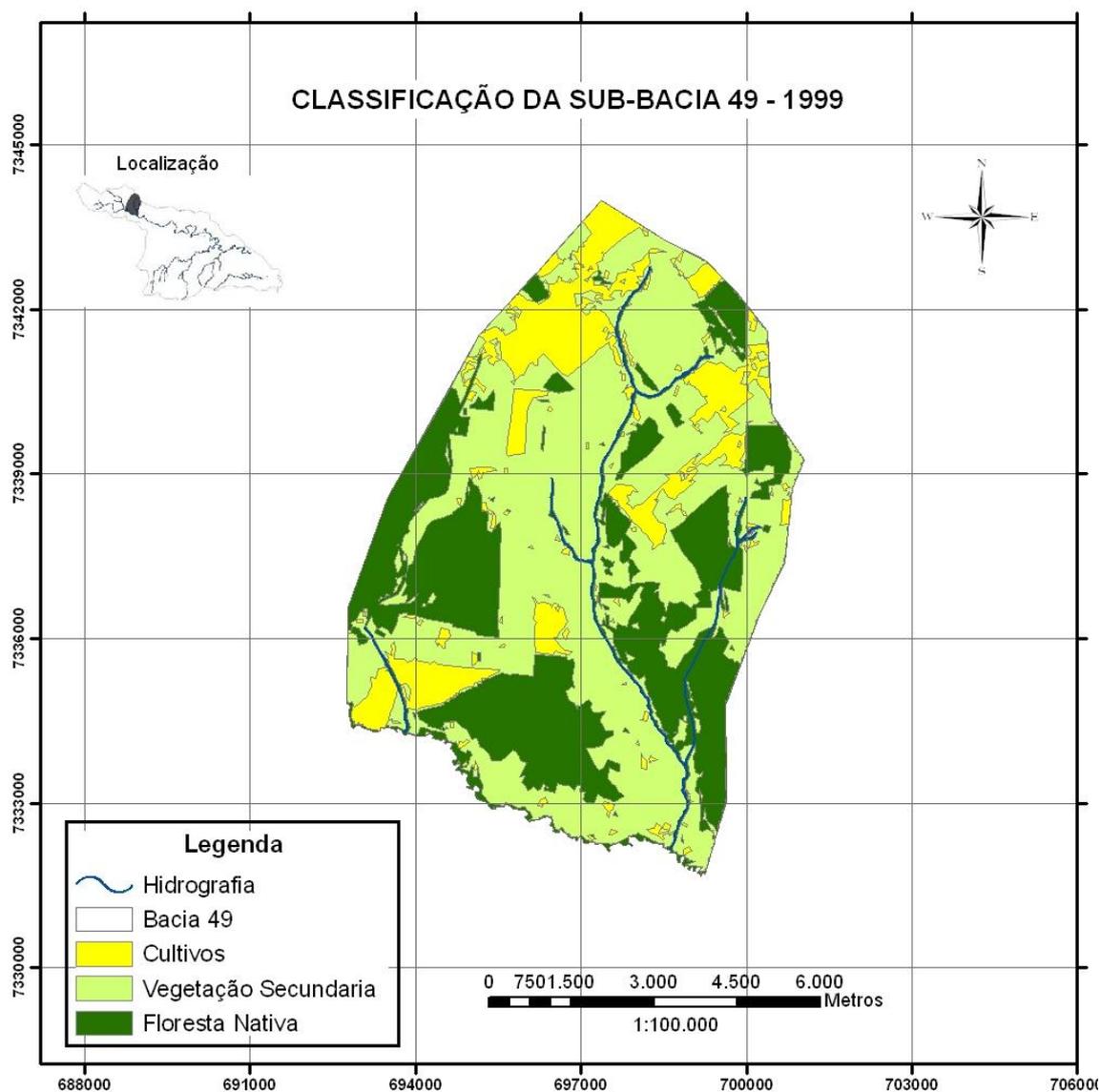


FIGURA 28 - MAPA DE USO DO SOLO DA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 1999  
FONTE: O autor (2009)

TABELA 44 - CLASSES DE USOS DO SOLO DA BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 1999

Classes	Hectares (ha)	(%)
Cultivo	951,84	14,47
Vegetação Secundaria	3.454,75	52,51
Floresta Nativa	2.172,18	33,02
<b>Totais</b>	<b>6.578,77</b>	<b>100,00</b>

FONTE: O autor (2009)

De acordo com a análise da Figura 28 e da Tabela 44 verifica-se que a classe Vegetação secundaria é a predominante com relação à superfície total da bacia ocupando 52,51% da área. A classe denominada Floresta Nativa ocupa uma área com 33,02%. A classe denominada Cultivo vem a seguir com 14,47%.

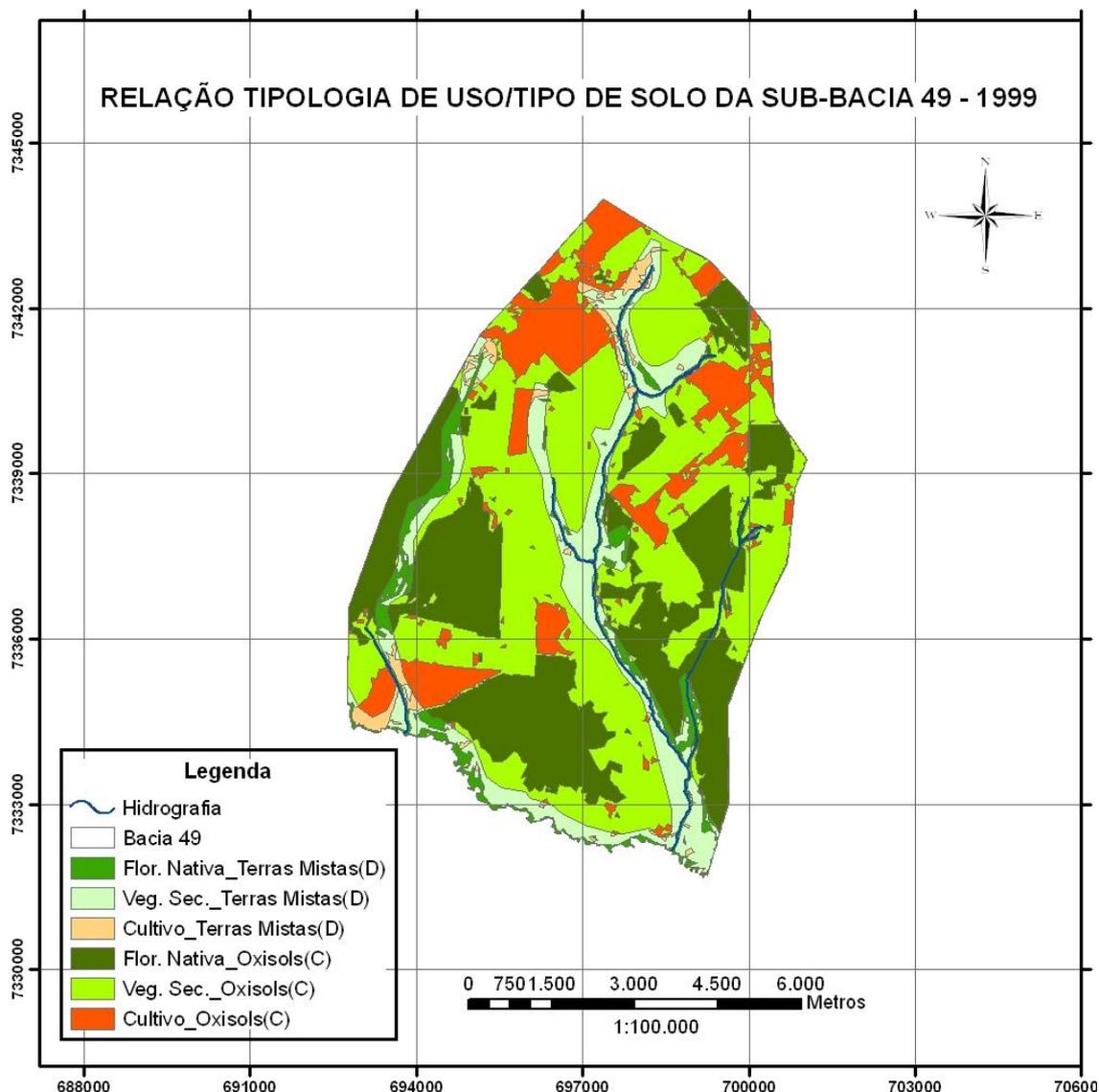


FIGURA 29 - TIPO E USOS DO SOLO NA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 1999  
 FONTE: O autor (2009)

O resultado do cruzamento das classes de solos encontrados na área de estudo com o uso resultante da classificação supervisionada é verificado na Figura 29 e na Tabela 45.

TABELA 45 - ÀREA POR TIPOLOGIA DE USO DO SOLO NA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 1999

Classes de Solos	Classe Hidrológica	Cultivo	Vegetação Secundária	Floresta Nativa	Total
Oxisols	C	835,15	2.693,39	1.863,05	5.391,59
Terras Mistas	D	116,71	761,35	309,12	1.187,18
<b>Totais</b>		<b>951,86</b>	<b>3.454,74</b>	<b>2.172,17</b>	<b>6.578,77</b>

FONTE: O autor (2009)

TABELA 46 - CURVAS NÚMERO POR TIPOLOGIA DA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 1999

Classes de Solos	Classe Hidrológica	Cultivo			Vegetação Secundária			Floresta Nativa		
		NI	NII	NIII	NI	NII	NIII	NI	NII	NIII
Oxisol	C	64	80	90	72	86	93	49	70	84
Terras Mistas	D	72	86	93	81	91	96	57	76	88

FONTE: O autor (2009)

Na Tabela 47 pode-se observar que o maior valor de número de curva médio apresenta a tipologia Vegetação Secundária com um valor de 87,10. Em seguida vem a tipologia Cultivos com um valor 80,74 e Floresta Nativa com 70,85.

TABELA 47 - CURVA NÚMERO MÉDIA (NII) DA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 1999

Usos	CN média
Cultivos	80,74
Vegetação Secundária	87,10
Floresta Nativa	70,85

FONTE: O autor (2009)

Na Tabela 48 são apresentados os parâmetros hidrológicos resultantes das análises de CN na sub-bacia 49 do rio Carapá, ano 1999.

TABELA 48 - PARÂMETROS HIDROLÓGICOS DA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 1999

Parâmetros Hidrológicos	(NI) Permeável Solo seco	(NII) Permeabilidade Média Solo Normal	(NIII) Impermeabilidade Solo Saturado
Curva Número Média da Bacia	63,89	80,82	90,64
Cap. Máx. de Saturação (S)	143,56 mm	60,30 mm	26,22 mm
Cont. de Chuva por Abstração (Po)	28,71 mm	12,06 mm	5,24 mm
Escoam. Sup. real ou Precip. Efetiva (Pe)	9,22 mm	28,39 mm	46,10 mm
Perdas Reais Máximas (Pmax)	32,07 mm	29,55 mm	18,66 mm
Coefficiente de Escoamento Sup. (CE)	13,17 %	40,56 %	65,85 %

FONTE: O autor (2009)

As estimativas de CN média da sub-bacia 49 do rio Carapá no ano de 1999 apresentam os valores de 63,89 para condição seca (NI), 80,82 para condição normal (NII), e 90,64 para condição de solo saturado (NIII). Com este uso de solo 14,47 % de Cultivos, 52,51 % Vegetação secundária e 33,02 % Floresta nativa, a bacia hidrográfica tem uma capacidade de saturação de 143,56 mm em situação de estiagem ou secos (NI), capacidade de saturação de 60,30 mm quando em situação

média de umidade (NII) e 26,22 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo.

Observa-se que a bacia hidrográfica com este uso de solo, precisa de, no mínimo, 12,06 mm de chuva para produzir escoamento superficial em situação média de umidade (NII), de 28,71 mm quando em situação de estiagem ou secos (NI) e 5,24 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo.

Com relação ao escoamento real ou precipitação efetiva a bacia hidrográfica com este uso de solo, em situação de normalidade em conteúdo de umidade permitirá um escoamento superficial de 28,39 mm de chuva para produzir escoamento superficial em situação média de umidade (NII), de 9,22 mm quando em situação de estiagem ou secos (NI) e 46,10 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo (NIII), com precipitação de 70 mm.

A bacia hidrográfica com este uso de solo em situação de normalidade em conteúdo de umidade permitiria uma perda máxima de água da ordem de 29,55 mm em situação média de umidade (NII), de 32,07 mm quando em situação de estiagem ou secos (NI) e 18,66 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo (NIII) com precipitação de 70 mm.

Ainda, a bacia hidrográfica com este uso apresenta um coeficiente de escoamento superficial de 40,56 % em condição média de umidade (NII), de 13,17 % em situação de estiagem ou secos (NI) e 65,85 % em estado de umidade próximo da saturação ou de sua capacidade de campo (NIII). Isto para uma situação simulada de 70 mm de precipitação em 1 hora e dez minutos.

#### 4.3.3. Análise do uso do solo e comportamento hidrológico no ano de 2007

A Figura 30 mostra o resultado da classificação supervisionada dos usos da bacia 49 do rio Carapá, no período de 2007 determinadas a partir da análise da imagem de satélite da área e cruzamento com dados do projeto Carapá Ypoti. A tipologia Vegetação secundária não aparece nesta classificação, sendo substituída por Alagados (Banhado), Pastagem e Cultivos. A tipologia Floresta Nativa é o resultado da resposta espectral da classificação.

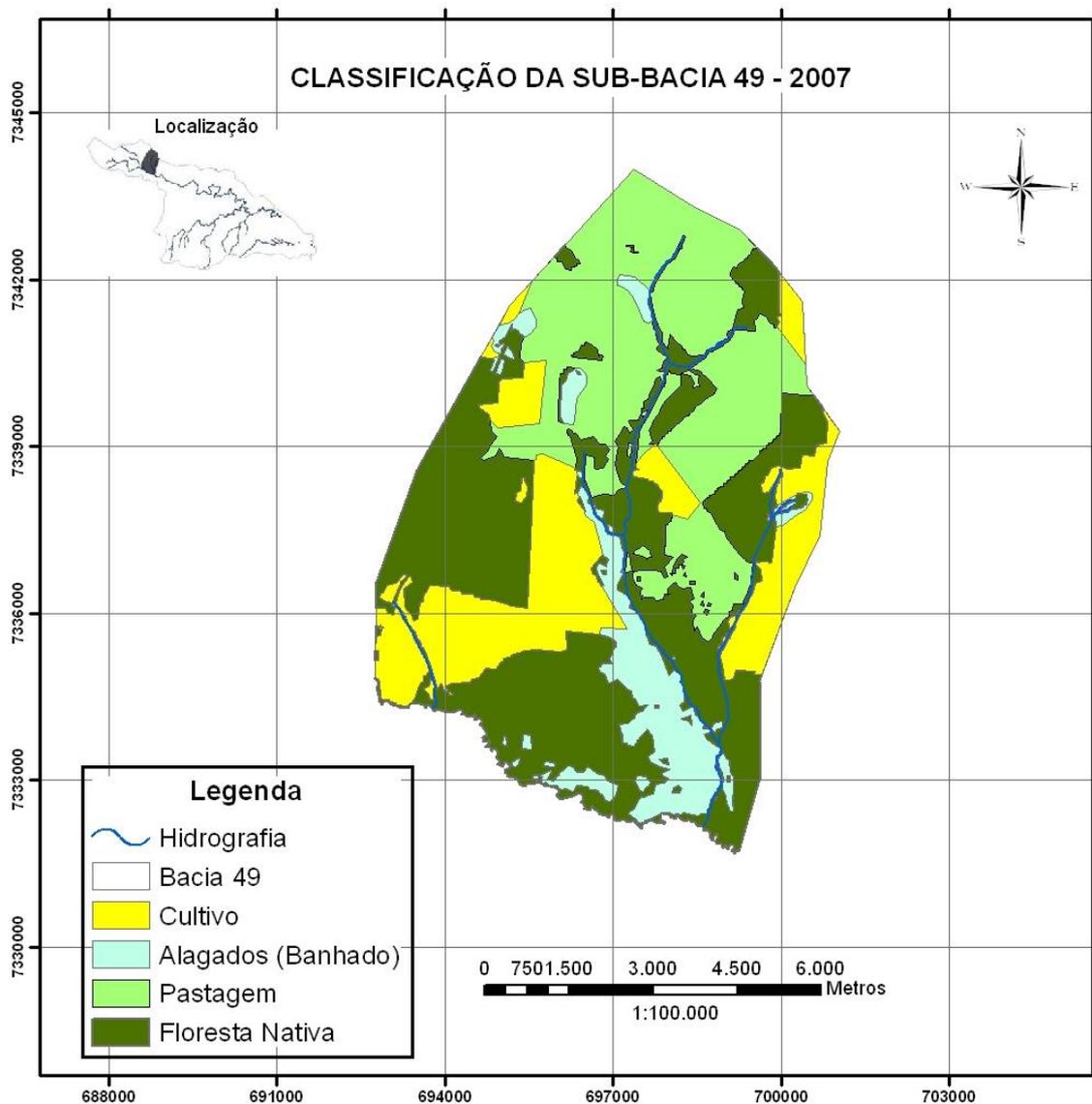


FIGURA 30 - MAPA DE USO DO SOLO DA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 2007  
FONTE: O autor (2009)

A Tabela 49 apresenta o uso da terra no período 2007 e suas respectivas áreas em hectares e porcentagem que cada uma ocupa em relação à bacia.

TABELA 49 - CLASSES DE USOS DO SOLO DA BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 2007

Classes	Hectares (ha)	(%)
Cultivo	1.300,53	19,77
Alagados (Banhado)	597,31	9,08
Pastagem	1.978,65	30,08
Floresta Nativa	2.702,28	41,08
<b>Totais</b>	<b>6.578,77</b>	<b>100</b>

FONTE: O autor (2009)

Analisando a Figura 30 e a Tabela 49 observa-se que a classe denominada Floresta Nativa é a que ocupa a maior parte da superfície da bacia correspondendo para a mesma 41,08%. Logo a seguir vem a classe Pastagem que aparece com 30,08%. A classe Cultivo aparece com 19,77% da área. Ainda, Alagados (Banhado) ocupa 9,08% da superfície total da bacia.

TABELA 50 - TAXA DE DESMATAMENTO NA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ NOS TRÊS PERÍODOS

	Ano	Cobertura florestal (%)	Combinações	Período (Anos)	Desmatamento (%)	Taxa (%)
1	1985	61,22	1 -2	14	23,98	1,71
2	1999	33,02	2 -3	8	-3,84	-0,48
3	2007	41,08	1 -3	22	20,14	0,91

FONTE: O autor (2009)

A Tabela 50 e o Gráfico 3 ilustram o comportamento da cobertura florestal da sub-bacia 49 ao longo do período de estudo. Houve uma redução da superfície florestal no período compreendido entre os anos de 1985 a 1999 de 23,98%. A taxa de desmatamento para esses catorze anos corresponde a 1,71% anuais.

No período entre 1999 a 2007 é observado comportamento negativo de -3,84% dos valores de desmatamento, evidenciando um aumento da massa florestal. Isto corresponde a uma taxa negativa de desmatamento de -0,48%. Este valor resulta atípico comparado a trabalhos similares realizados na Região Oriental do Paraguai e no Departamento de Canindeyú que contemplam valores positivos de desmatamento nesse período. Isto pode ser atribuído ao fato da resposta espectral da imagem confundir a classe de Floresta nativa com vegetação secundária.

O total desmatado entre o ano de 1985 a 2007 corresponde a 20,14% que corresponde a uma taxa anual de desmatamento de 0,91% anuais num período de 22 anos.

O resultado do cruzamento das classes de solos encontrados na área de estudo com o uso resultante da classificação supervisionada é verificado na Figura 31 e na Tabela 51.

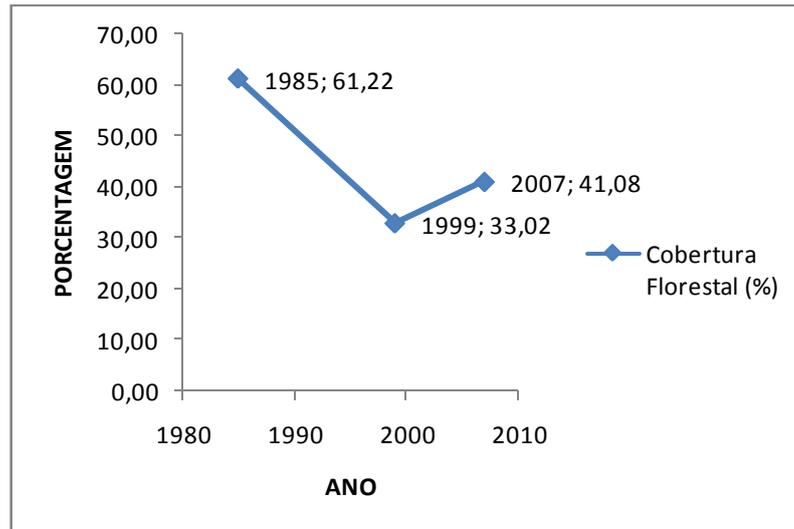


GRÁFICO 3 - ALTERAÇÃO DA COBERTURA FLORESTAL NA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ  
 FONTE: O autor (2009)

TABELA 51 - ÀREA POR TIPOLOGIA DE USO DO SOLO NA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ  
 2007

Tipos de Solos	Classe Hidrológica	Cultivo	Floresta	Alagados (Banhado)	Pastagem	Total
Oxisol	C	1.217,46	2.018,84	373,64	1.781,66	5391,6
Terras Mistas	D	83,07	683,45	223,67	196,98	1.187,17
<b>Totais</b>		<b>1.300,53</b>	<b>2.702,29</b>	<b>597,31</b>	<b>1.978,64</b>	<b>6.578,77</b>

FONTE: O autor (2009)

As curvas números resultantes do cruzamento das tipologias de uso e classes de solos para a determinação do valor da curva número médios e o resultado desta análise são ilustrados nas Tabelas 52 e 53.

Pode-se observar na Tabela 53 que o menor valor de CN apresenta a tipologia Floresta nativa com um valor de 71,52. Logo em seguida vem a tipologia de uso Pastagem com um valor de 75,80. A tipologia Cultivos possui um valor de 84,26 e por último, Alagados (Banhado) com o maior valor de CN, 100.

TABELA 52 - CURVAS NÚMERO POR TIPOLOGIA DA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 2007

Classes de Solos	Classe Hidrológica	Cultivo			Pastagem			Floresta Nativa			Alagados (Banhado)		
		NI	NII	NIII	NI	NII	NIII	NI	NII	NIII	NI	NII	NIII
Oxisol	C	69	84	92	56	75	87	49	70	84	100	100	100
Terras Mistas	D	75	88	94	67	83	92	57	76	88	100	100	100

FONTE: O autor (2009)

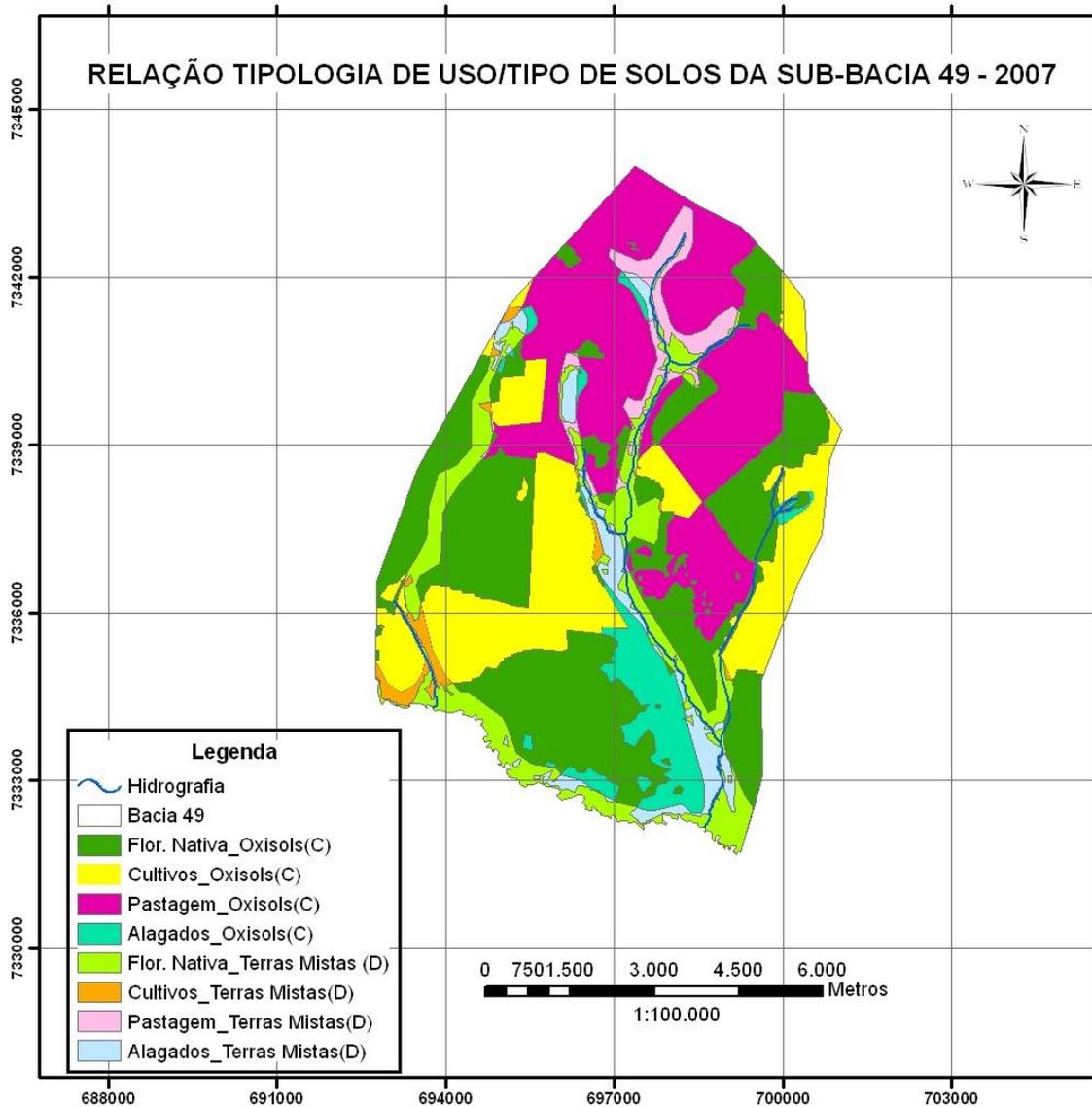


FIGURA 31 - TIPO E USOS DO SOLO NA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 2007  
FONTE: O autor (2009)

TABELA 53 - CURVA NÚMERO MÉDIA (NII) DA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 2007

Usos	CN
Cultivos	84,26
Floresta Nativa	71,52
Pastagem	75,80
Alagados (Banhado)	100,00

FONTE: O autor (2009)

Na Tabela 54 são apresentados os parâmetros hidrológicos resultantes das análises de CN na sub-bacia 49 do rio Carapá, ano 2007.

TABELA 54 - PARÂMETROS HIDROLÓGICOS DA SUB-BACIA 49 DO RIO CARAPÁ EM 2007

Parâmetros Hidrológicos	(NI) Permeável Solo seco	(NII) Permeabilidade Média Solo Normal	(NIII) Impermeabilidade Solo Saturado
Curva Número Média da Bacia	59,70	77,91	89,02
Cap. Máx. de Saturação (S)	171,48 mm	72,02 mm	31,31 mm
Cont. de Chuva por Abstração (Po)	34,30 mm	14,40 mm	6,26 mm
Escoam. Sup. real ou Precip. Efetiva (Pe)	6,15 mm	24,22 mm	42,74 mm
Perdas Reais Máximas (Pmax)	29,55 mm	31,38 mm	21,00 mm
Coefficiente de Escoamento Sup. (CE)	8,79 %	34,60 %	61,06 %

FONTE: O autor (2009)

Os valores de CN da sub-bacia 49 do rio Carapá no ano de 2007 apresentam os valores de 59,70 para condição seca (NI) 77,91 para condição normal (NII), e 89,02 para condição de solo saturado (NIII). Com este uso de solo, 19,77 % de Cultivos, 9,08 % de Alagados (Banhado); 30,08 de Pastagem e 41,08 % de Floresta nativa, a bacia hidrográfica tem uma capacidade de saturação 171,48 mm quando em situação de estiagem ou secos (NI), capacidade de saturação de 72,02 mm em situação média de umidade (NII) e 31,31 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo.

Observa-se que a bacia hidrográfica com este uso de solo, precisa de, no mínimo, 14,40 mm de chuva para produzir escoamento superficial em situação média de umidade (NII), de 34,30 mm quando em situação de estiagem ou secos (NI) e 6,26 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo.

Com relação ao escoamento real ou precipitação efetiva a bacia hidrográfica com este uso de solo, em situação de normalidade em conteúdo de umidade permitirá um escoamento superficial de 24,22 mm de chuva para produzir escoamento superficial em situação média de umidade (NII), de 6,15 mm quando em situação de estiagem ou secos (NI) e 42,74 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo (NIII), com precipitação simulada de 70 mm.

A bacia hidrográfica com este uso de solo em situação de normalidade em conteúdo de umidade permitiria uma perda máxima de água da ordem de 31,38 mm em situação média de umidade (NII), de 29,55 mm quando em situação de estiagem

ou secos (NI) e 21,00 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo (NIII) com precipitação de 70 mm.

Ainda, a bacia hidrográfica com este uso apresenta um coeficiente de escoamento superficial de 34,60 % em condição média de umidade (NII), de 8,79 % em situação de estiagem ou secos (NI) e 61,06 % em estado de umidade próximo da saturação ou de sua capacidade de campo (NIII). Isto para uma situação simulada de 70 mm de precipitação em 1 hora e dez minutos.

No Gráfico 4 e na Tabela 55 é ilustrada uma síntese do comportamento do coeficiente de escoamento superficial e resultados dos parâmetros hidrológicos respectivamente das três sub-bacias do rio Carapá nos três períodos com simulação de 70 mm de precipitação.

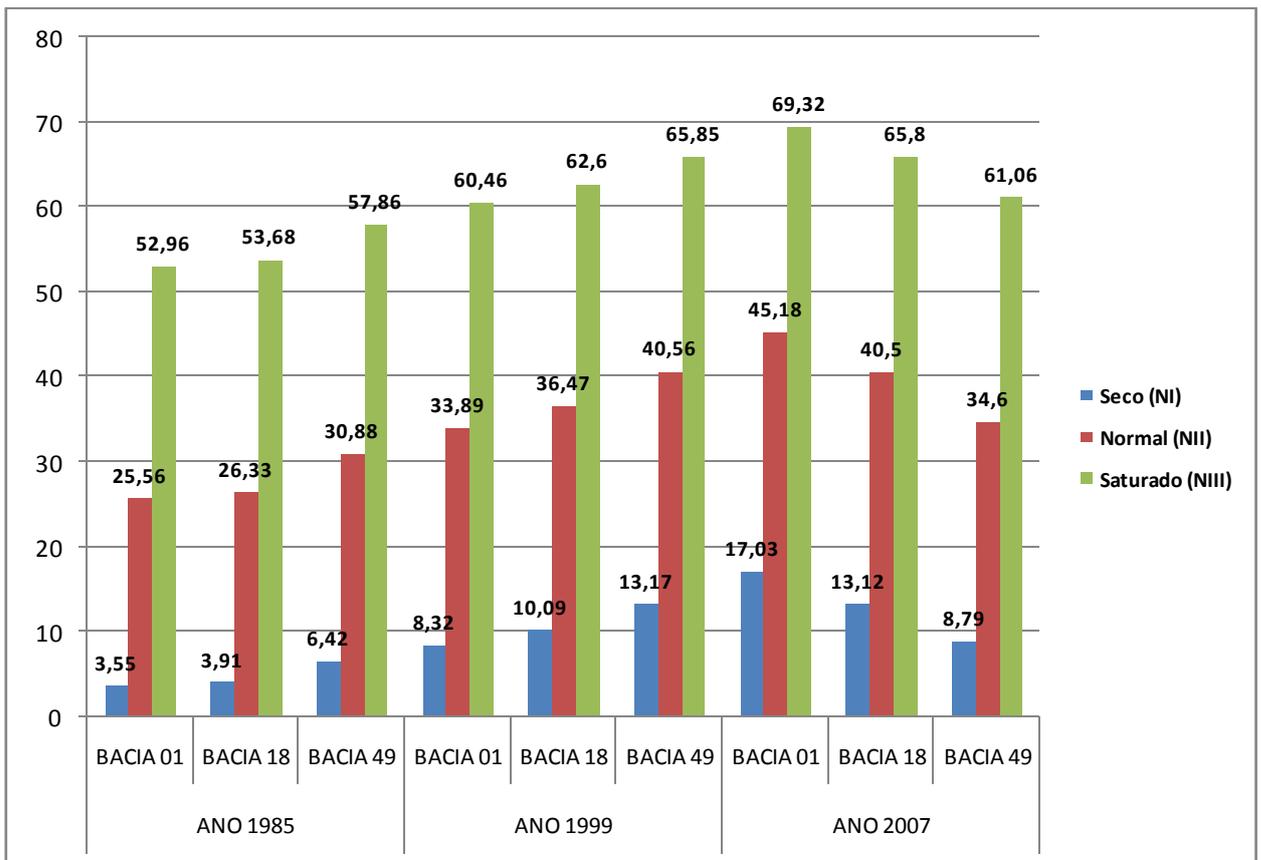


GRÁFICO 4 – COMPORTAMENTO DO COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL DAS TRÊS SUB-BACIAS DO RIO CARAPÁ NOS ANOS DE 1985, 1999 E 2007

FONTE: O autor (2009)

Fazendo uma análise do comportamento hidrológico das três sub-bacias ilustrados na Tabela 55 e no Gráfico 4, com ênfase no parâmetro de coeficiente de escoamento superficial (CE), observa-se que no período 1985, a sub-bacia 49 do rio Carapá obteve o valor mais alto nas três situações de umidade antecedente (NI=6,42; NII=30,88; NIII=57,86) com relação à sub-bacia 18 (NI=3,91; NII=26,33; NIII=53,68) e por último a sub-bacia 01 (NI=3,55; NII=25,56; NIII=52,96). Como o coeficiente de escoamento superficial é calculado com base na resposta Qd (escoamento direto) do hidrograma de vazão, que é formado pela água que escorre pelo terreno, o escoamento sub-superficial e a água que precipita diretamente no leito do rio, pode-se entender que um valor alto de coeficiente de escoamento superficial indica uma maior possibilidade de ocorrência de erosão na sub-bacia. Assim, ao relacionar este parâmetro com a cobertura de Floresta Nativa nas três áreas no período de 1985, encontra-se que a sub-bacia 49 do rio Carapá é a que apresenta uma menor cobertura da tipologia Floresta Nativa (61,22%), seguida da sub-bacia 18 (74,24%) e a sub-bacia 01 (80,66%). Neste caso, o menor valor de coeficiente de escoamento superficial corresponde à área que apresenta maior cobertura de Mata nativa.

A mesma tendência é observada no período 1999, com valores de coeficiente de escoamento superficial (CE) maiores na sub-bacia 49 do rio Carapá nas três situações de umidade antecedente (NI=13,17; NII=40,56; NIII=65,85) comparando com a sub-bacia 18 (NI=10,09; NII=36,47; NIII=62,60) e a sub-bacia 01 (NI=8,32; NII=33,89; NIII=60,46).

Relacionando com a cobertura de Floresta Nativa neste período, nota-se que os valores de cobertura vegetal eram 33,02%; 37,24% e 39,23% para as sub-bacias 49; 18 e 01 do rio Carapá, respectivamente. Mesmo neste período observa-se o aumento em porcentagem da tipologia Vegetação Secundária, com valores de 52,51%; 42,70% e 20,83% para as sub-bacias 49; 18 e 01 respectivamente. No entanto, este aumento não significou uma diminuição do coeficiente de escoamento superficial (CE), sendo mantida a mesma ordem em possibilidade de ocorrência de erosão e degradação nas sub-bacias estudadas.

TABELA 55 – SÍNTESE DE CURVAS NÚMERO E PARÂMETROS HIDROLÓGICOS PARA AS TRÊS SUB-BACIAS DO RIO CARAPÁ NOS ANOS DE 1985, 1999 E 2007

PARÂMETROS HIDROLÓGICOS						
	<b>CN MÉDIA</b>	<b>S (mm)</b>	<b>P<sub>0</sub> (mm)</b>	<b>Pe (mm)</b>	<b>Pmax (mm)</b>	<b>Es (%)</b>
<b>ANO 1985</b>						
<b>SUB-BACIA 01</b>						
Seco (NI)	52,98	225,39	45,08	2,48	22,44	3,55
Normal (NII)	72,85	94,66	18,93	17,90	33,17	25,56
Saturado (NIII)	86,06	41,16	8,23	37,07	24,70	52,96
<b>SUB-BACIA 18</b>						
Seco (NI)	53,57	220,15	44,03	2,74	23,23	3,91
Normal (NII)	73,31	92,46	18,49	18,43	33,08	26,33
Saturado (NIII)	86,34	40,20	8,04	37,58	24,38	53,68
<b>SUB-BACIA 49</b>						
Seco (NI)	57,00	191,65	38,33	4,49	27,18	6,42
Normal (NII)	75,94	80,49	16,10	21,62	32,28	30,88
Saturado (NIII)	87,89	35,00	7,00	40,50	22,50	57,86
<b>ANO 1999</b>						
<b>SUB-BACIA 01</b>						
Seco (NI)	59,19	175,14	35,03	5,82	29,15	8,32
Normal (NII)	77,54	73,56	14,71	23,72	31,56	33,89
Saturado (NIII)	88,82	31,98	6,40	42,32	21,28	60,46
<b>SUB-BACIA 18</b>						
Seco (NI)	61,03	162,18	32,44	7,06	30,50	10,09
Normal (NII)	78,85	68,11	13,62	25,53	30,85	36,47
Saturado (NIII)	89,56	29,61	5,92	43,82	20,25	62,60
<b>SUB-BACIA 49</b>						
Seco (NI)	63,89	143,56	28,71	9,22	32,07	13,17
Normal (NII)	80,82	60,30	12,06	28,39	29,55	40,56
Saturado (NIII)	90,64	26,22	5,24	46,10	18,66	65,85
<b>ANO 2007</b>						
<b>SUB-BACIA 01</b>						
Seco (NI)	67,03	124,92	24,98	11,92	33,09	17,03
Normal (NII)	82,88	52,47	10,49	31,62	27,88	45,18
Saturado (NIII)	91,76	22,81	4,56	48,52	16,92	69,32
<b>SUB-BACIA 18</b>						
Seco (NI)	63,85	143,83	28,77	9,19	32,05	13,12
Normal (NII)	80,79	60,41	12,08	28,35	29,57	40,50
Saturado (NIII)	90,63	26,26	5,25	46,06	18,69	65,80
<b>SUB-BACIA 49</b>						
Seco (NI)	59,70	171,48	34,30	6,15	29,55	8,79
Normal (NII)	77,91	72,02	14,40	24,22	31,38	34,60
Saturado (NIII)	89,02	31,31	6,26	42,74	21,00	61,06

FONTE: O autor (2009)

No período de 2007 observa-se uma inversão na ordem de sub-bacias do rio Carapá mais propensas à erosão, pois os maiores valores de coeficiente de escoamento superficial (CE) nas três situações de umidade antecedente são encontrados na sub-bacia 01 (NI=17,03; NII=45,18; NIII=69,32) seguida da sub-bacia 18 (NI=13,12; NII=40,50; NIII=65,80) e por último a sub-bacia 49 (NI=8,79; NII=34,60; NIII=61,06). Ao correlacionar com o uso do solo nesse período, encontra-se que a tipologia Floresta Nativa ocupa 33,02% na sub-bacia 49; 20,58% na sub-bacia 18 e 11,35% na sub-bacia 01. Além disto, a tipologia Cultivos apresenta um aumento considerável na sub-bacia 01, com um valor de 87,03%, sendo que na sub-bacia 18 esta tipologia ocupa 72,01% e na sub-bacia 49 ocupa 19,77%.

Em resumo, das três sub-bacias do rio Carapá estudadas, atualmente a sub-bacia 01 é a que apresenta a pior situação referente à possibilidade de degradação por conta da acentuada diminuição de sua superfície florestal e valores de coeficiente de escoamento superficial altos nas três situações de umidade antecedente. Por conta disto é a que apresenta o pior cenário de tendência à erosão se não forem aplicadas medidas de recuperação da cobertura vegetal e práticas de manejos amigáveis com o meio ambiente na utilização dos recursos para a produção.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

De acordo com os objetivos deste estudo e, com base nos resultados obtidos pode-se concluir que:

- Houve uma diminuição da cobertura florestal nas três sub-bacias estudadas sendo que a sub-bacia 01 é a que apresentou a taxa mais alta de desmatamento entre as três áreas estudadas. O total desmatado entre o ano de 1985 a 2007 é de 69,31% que corresponde a uma taxa anual de desmatamento de 3,15% em de 22 anos.
- Todas apresentaram taxa menor que a média para a Região Oriental do Paraguai (3,2%) e para o Departamento de Canindeyú no período de 1984 a 1991 que é de 4,4% anual.
- A sub-bacia 49 apresentou taxa de desmatamento negativo no período 1999, indicando que poderia ter acontecido confusão na hora da classificação pela dificuldade de separação espectral das classes Floresta Nativa e Vegetação secundária.
- O coeficiente de escoamento superficial nas três situações de umidade antecedente da sub-bacia 49 no período de 1985 e 1999 foi a mais alta e a que indica maior possibilidade de degradação nessa área.
- No período de 2007, o coeficiente de escoamento superficial nas três situações de umidade antecedente da sub-bacia 01 foi a mais alta, indicando maior possibilidade de degradação na área por conta da ação da erosão hídrica.

Recomendações:

- É recomendável para futuros trabalhos, diminuir o número de áreas e trabalhar com bacias menores.
- A utilização de levantamentos de solos em escala de 1 para 500.000 suscitou informação muito generalizada das áreas de estudo, recomendando-se para futuras investigações trabalhar com levantamentos que tenham escalas menores com o objetivo de obter informações mais precisas.

- A utilização de três sub-bacias para a análise dificultou bastante o trabalho em vista das inúmeras informações que foram processadas. Com isto ficou difícil fazer análises mais profundas de cada uma das sub-bacias.
- A utilização de dados secundários de classificação originou possíveis erros de análise e, por conseguinte erros de resultados, como no caso da sub-bacia 49. É recomendável utilizar para futuros trabalhos similares somente uma fonte de dados desde o início até o final da investigação.
- A falta de investigação no aspecto hidrológico realizadas no Paraguai com este tipo de abordagem dificultou bastante a investigação, pois não se tem disponível dados com as quais possam ser comparados os resultados. Nesse sentido, a realização do presente trabalho procurou contribuir em alguma medida para a geração de informações relacionadas à interação de fatores hidrológicos com a utilização dos solos com o intuito de embasar outros estudos similares e ter parâmetros comparativos.
- O Paraguai precisa realizar ações urgentes para interromper a degradação dos recursos florestais e conseqüentemente do solo, e através de trabalhos de investigação desta natureza, que tenham uma abordagem do ponto de vista de bacia hidrográfica, a sociedade e os encarregados de tomar as decisões podem ter a real dimensão do problema e utilizar as informações para desenvolver estratégias com a finalidade de cessar os processos de degradação, preservar os recursos ameaçados e até recompor áreas e recursos passíveis de recomposição.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, L.G.; TARGA, M. dos S.; BATISTA, G. T. **Escoamento superficial na bacia hidrográfica do Ribeirão Itaim**. Revista Ambiente & Água, Taubaté, v. 2 n.1, p. 44-56, 2007.
- ANTONELI V.; THOMAZ E. L. **Caracterização do meio físico da bacia do arroio Boa Vista - Guamiranga-PR**. Revista Caminhos da Geografia, Uberlândia, v. 8, n. 21 p. 46 – 58, Jun. 2007.
- ATLAS Ambiental de la Región Oriental del Paraguay. San Lorenzo: Carrera de Ingeniería Forestal (U.N.A.)/GTZ, 1995. v. 2.
- BAUNGARTEN, A. P.; FELIX, D.; MULLER, M. **Determinação da precipitação efetiva na bacia do Rio Chopim através do método da Curva Número do SCS**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 15. Curitiba. 2003.
- BLACK, C. A. Behavior of soil and fertilizer phosphorus in relation to water pollution. In: WILLRICH, T. L.; SMITH, G. E. (Eds). **Agricultural practices and water quality**. Ames: The Yowa State University Press. 1970. p. 142-158
- BRAUN, P. K. **Desenvolvimento de um modelo de avaliação da capacidade de armazenamento de água na bacia do rio Itajaí-SC**. 165f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2007.
- CABRERA, A. L. E WILLINK, A. **Biogeografía de América Latina**. Monografía N° 13. Washington, DC: Organización de Estados Americanos. 1973.
- CARDOSO, C. A.; TEIXEIRA, H. C.; SOARES, C. P., MARTINS; S. V. **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, R J**. Revista Árvore, Viçosa, v.30, n.2, p. 241-248, 2006.
- CARNIATTO, I. **Subsídios para um processo de gestão de recursos hídricos e educação ambiental nas sub-bacias Xaxim e Santa Rosa, bacia hidrográfica Paraná III**. 277f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.
- CENTENO, J. A. S. **Sensoriamento remoto e processamento de imagens digitais**. Curitiba: Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná. 2004.
- CHIARANDA, R. **Usos da terra e avaliação da capacidade potencial de armazenamento de água da bacia do Rio Cuiabá - MT**. 362f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.
- CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. **Hidrología aplicada**. Santa Fé de Bogotá: McGraw-Hill Interamericana, 1994.

- COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de Encostas na Interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. p 93 - 48.
- CORSEUIL, C. W. **Técnicas de Geoprocessamento e de análise de multicritérios na adequação de uso das terras**. 2006. 101p. Tese (Doutorado em Agronomia) Programa de Pós-Graduação Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 2006.
- COMANICIU, D.; MEER, P. **Mean shift: A robust approach toward feature space analysis**. IEEE Tans. Pattern Anal. Machine Intell., 23, 603-619, May 2002.
- DIRECCION GENERAL DE ESTADISTICAS, ENCUESTAS Y CENSOS (DGEEC), **Censo Nacional de Población y Viviendas, 2002**. Asunción, 2002. Disponível em: < <http://www.dgeec.gov.py/>>. Acesso em: 02/10/2009.
- DINERSTEIN, E., OLSON, D. M., GRAHAM, D. J., WEBSTER, A. L., PRIMM, S. A., BOOKBINDER, M. P. E LEDEC, G.. **A conservation assessment of the terrestrial ecoregions of Latin America and the Caribbean**. Washington, DC: International Bank for Reconstruction and Development/World Bank. 1995
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2006.
- ENVI®. **Tutorials better solutions Consulting Limited Liability Company**. Lafayette, Colorado, USA. 1997.
- ESRI . **Using the ArcView Spatial Analyst**. ESRI Press, 2006.
- FÉLIX, N. A.; BINNEY, D. L.. **Accuracy Assessment of a Landsat-assisted Vegetation Map of the Coastal Plain of the Artic National Wildlife Refuge**. Photogrametric Engineering & Remote Sensing, 55 (4): 1989, p. 475-478.
- FERREIRA, D.S.; RIBEIRO, C.D.; CECÍLIO, R.A. XAVIER, A.C. **Estimativa do escoamento superficial na bacia do Córrego João Pedro através de técnicas de geoprocessamento**. In: SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARAÍBA DO SUL: O EUCALIPTO E O CICLO HIDROLÓGICO, 1., 2007. Taubaté, 07-09 Nov. p. 163-169.
- FERRER JULIÁ, M.; BLANCO, J.; RAMÍREZ, J. **Análisis de nuevas fuentes de datos para la estimación del parámetro número de curva: perfiles de suelos y teledetección**. In: CONGRESO DE INGENIERÍA CIVIL, TERRITORIO Y MEDIO AMBIENTE, 3. 2003. León. Disponível em: [http://www.ciccp.es/biblio\\_digital/lcitema\\_III/congreso/pdf/040205.pdf](http://www.ciccp.es/biblio_digital/lcitema_III/congreso/pdf/040205.pdf)>. Acesso em: 22/11/2009
- FRAGANO, F.; CLAY, R. Status da biodiversidade da Mata Atlântica de Interior do Paraguai. In: GALINDO-LEAL, C.; GUSMÃO CÂMARA, I. **Mata Atlântica: biodiversidade, ameaças e perspectivas**. São Paulo : Fundação SOS Mata Atlântica. 2005. p. 267-326.

GESELLSCHAFT FÜR TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT (GTZ). **El Programa de Apoyo Ecológico (TÖB)**. Un panorama de los proyectos de los componentes del programa “Investigación de los bosques tropicales” y “Investigación de la ecología tropical”. Eschborn, 2000. Disponível em: <http://www.gtz.de/dokumente/bib/02-5085.pdf>. Acesso em: 20/10/2009.

GREGORY, K. J.; WALLING, D. E. **Drainage basin form and processes: a geomorphological approach**. Edward Arnold. 5ª ed. London, 1985.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. Degradação ambiental. In: CUNHA, S. B. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p. 337-339.

HUESPE FATECHA, H.; SPINZI MENDONCA, L.; CURIEL, M. V., BURGOS, S.; RODAS INSFRÁN, O.. **Uso de la tierra y deforestación en la región oriental del Paraguay, Periodo 1984 – 1991**. Vol. 1. San Lorenzo: UNA/FIA/CIF. 1994.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 1992.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). DGPI. **Imagens LANDSAT 5 TM**. (ponto 224 - cena 077 – Períodos 1985/1999/2007). Disponível em: < <http://www.dgi.inpe.br/html/landsat.htm>>. Acesso em: Junho/2008.

JENSEN, J. R. Digital Change Detection. In: \_\_\_\_\_. **Introductory digital image processing: A remote sensing perspective**. 2ª ed. Prentice Hall. 1996. p. 257-279.

LOPEZ GOROSTIAGA, O., GONZALEZ, E., DE LLAMAS, P., MOLINAS, A., FRANCO, E., GARCIA, S., Y RIOS, E.. **Estudio de Reconocimiento de suelos, capacidad de uso de la tierra y propuesta de ordenamiento territorial preliminar de la Región Oriental del Paraguay**. Asunción: SSERNMA/MAG/Banco Mundial. 1995.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos de sensoriamento remoto e metodologias de aplicações**. Viçosa: UFV. 2003.

MOSCA, A.de O. **Caracterização hidrológica de duas microbacias visando a identificação de indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental do manejo de florestas plantadas**. 96f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Conservação de Ecossistemas Florestais, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.

MINISTERIO DE HACIENDA, Servicio Nacional de Catastro. **Proyecto de racionalización del uso de la tierra**. Asunción, Paraguay. 1995.

NOVO, E. de M. **Sensoriamento remoto: Princípios e aplicações**. 2ª. Ed. São José dos Campos: Edgar Blücher. 1992.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1983.

OLSON, D. M.; DINERSTEIN, E. **The global 200: a representation approach to conserving the earth's distinctive ecoregions**. Unpublished draft. Washington, DC: World Wildlife Fund. 1998.

PARAGUAY, Proyecto de Racionalización del uso de la tierra. **Mapa de reconocimiento de suelos de la Región Oriental**. Asunción : MAG / SSERNMA – BID, 1995..Escala 1:500.000.

PARAGUAY. Secretaría Del Ambiente (SEAM). Dirección de Planificación Estratégica. **Tercer informe nacional para la implementación de la convención de las Naciones Unidas de lucha contra la desertificación**. Asunción, Dez. 2006. Disponível em: < <http://www.unccd.int/cop/reports/lac/national/2006/paraguay-spa.pdf>>. Acesso em: 29/09/2009

PROYECTO CARAPA YPOTI. **Informe de gestión. Periodo 2004-2008**. Asunción, 2008.

RIZZI, N. E. **Hidrologia florestal e manejo de bacias hidrográficas**. Apostila em formato digital (DVD). 2,8 Mb, 25 capítulos. Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná. 2010.

RODAS, M. **Situación del sector forestal en Paraguay**. In: Jornadas forestales de Entre Rios, 13., 1998, Concordia.; Disponível em:<<http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/forestacion/biblos/pdf/1998/83%20rodas%20con%20logo.pdf>>. Acesso em: 15/09/2009.

RODERJAN, C. V. et al. **As unidades fitogeográficas do Estado do Paraná**. Revista Ciência & ambiente, Santa Maria: UFSM, v.1, n. 24, p.75-92, Jan./Jun. 2002.

SEGOVIA, M. A.; HANG, M. V. **Estimación del valor del número de curva (CN) a través de imágenes satelitales Landsat 5 – TM**. Disponível em: <<http://arandu.org.ar/pub/segovia-hang.pdf>>. Acesso em: 03/09/2009.

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to Soil Taxonomy**,. Washington, DC: Natural Resources Conservation Service. 10th ed 2006.

TONELLO, K. C., **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG**. 69f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

TUCCI, C. E. M. (Org.) **Hidrologia - ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da Universidade (UFRGS), ABRH: EDUSP. v4. 1993.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

<http://www.relevobr.cnpem.embrapa.br/>

**ANEXO**

## Anexo 1. Curvas Número – Números Hidrológicos

O Número de Curva varia de 0 (zero) a 100 (cem). Para N = 100 temos uma bacia IMPERMEÁVEL o que quer dizer que toda a Precipitação que ocorre, escorre ou vira Qd (Escoamento Direto). Para N = 0 Solos completamente Permeáveis.
<b>NI = Solo muito SECO sem chegar ao Ponto de Murcha Permanente:</b> <b>NI = <math>(4,2 \times NII) \div (10 - 0,058 \times NII)</math></b>
<b>NII = Solo em situação NORMAL longe da Capacidade de Campo mas também longe do Ponto de Murcha Permanente .</b>
<b>NIII = Solo muito SATURADO ou muito próximo da saturação ou da Capacidade de Campo:</b> <b>NIII = <math>(23 \times NII) \div (10 + 0,13 \times NII)</math></b>
<b>CR = com cobertura de resíduos vegetais que ocupam pelo menos 5% da superfície do solo durante todo ano.</b>
<b>R = quando o manejo do solo (arragem, gradagem, semeadura, etc) se realiza em linha reta SEM considerar a declividade do terreno.</b>
<b>C = quando o plantio se realiza em curvas de nível. Em terrenos com declividade inferior a 2%, apesar em sulcos ou retas, se considera como em curvas.</b>
<b>T = quando se trata de terrenos com terraços (terras abertas com de-ságüe para conservação do solo).</b>
<b>A (7,62 a 11,4mm/h) - B (3,81 a 7,62mm/h) - C (1,27 a 3,81mm/h) - D (0,00 a 1,27 mm/h) = Classes de solo em função do conteúdo de argila, silte, areia (TRIÂNGULO DO U.S.D.A).</b>

Tipo de Uso do Solo	Tipo de Manejo	Condição hidrológica	N I (Seco)				N II (Normal)				N III (Saturado)			
			A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
<b>SOLO EM REPOUSO.</b> Terra de cultivo que não está plantada (cultivo a cada 2 a 3 anos). Refere-se a uma porcentagem de exploração agrícola que se encontra em estado de "espera" de semeadura. Estas terras recebem geralmente algum trabalhos de conservação que contribuem para reduzir o escoamento superficial, importante, devido a falta de vegetação de proteção.	Descoberto	-	58	72	81	87	77	86	91	94	89	93	96	97
	CR	pobre	57	70	79	79	76	85	90	90	88	93	95	95
	CR	boa	54	67	75	81	74	83	88	91	87	92	94	96
<b>CULTIVOS EM FILAS OU EM FILEIRAS.</b> Solos cultivados em fileiras o que permite realizar entre elas determinados trabalhos de conservação de solos ou de ervas daninhas existente entre as plantas, enquanto as culturas agrícolas se desenvolvem (deste modo se cultiva a batata, beterraba, milho, tomate, etc.). Em geral, as plantações de frutas, oliveiras, uva, se incluem neste grupo. O efeito hidrológico da maior distância é compensado pela "largura" da ramagem que protege o solo do impacto das precipitações como também a presença de "potente" sistema radicular.	R	pobre	52	64	75	81	72	81	88	91	86	91	94	96
	R	boa	46	60	70	77	67	78	85	89	82	89	93	95
	R+CR	pobre	51	63	74	79	71	80	87	90	85	90	94	95
	R+CR	boa	43	56	66	70	64	75	82	85	80	87	91	93
	C	pobre	49	61	69	75	70	79	84	88	84	90	92	94
	C	boa	44	56	66	72	65	75	82	86	81	87	91	93
	C+CR	pobre	48	60	67	74	69	78	83	87	84	89	92	94
	C+CR	boa	43	54	64	70	64	74	81	85	80	87	91	93
	C+T	pobre	45	54	63	66	66	74	80	82	82	87	90	91
	C+T	boa	41	51	60	64	62	71	78	81	79	85	89	91
	C+T+CR	pobre	44	53	61	64	65	73	79	81	81	86	90	91
	C+T+CR	boa	40	49	58	63	61	70	77	80	78	84	89	90

Tipo de Uso do Solo	Tipo de Manejo	Condição hidrológica	N I (Seco)				N II (Normal)				N III (Saturado)			
			A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
<b>CULTIVOS NAO ALINHADOS.</b> Com sulcos pequenos ou mal definidos (gramíneas). Corresponde aos cereais cujo ciclo vegetativo pode se desenvolver durante o inverno como, por exemplo, o trigo, cevada, aveia ou centeio. Rotação de cultivos cíclicos em uma parcela determinada de exploração agrícola. Do ponto de vista hidrológico se distingue "rotação pobre" ou com escassa cobertura vegetal e "rotação densa". A primeira se refere à combinações de várias culturas em fileira, cereais de inverno ou de pousio, enquanto que a segunda se entende a que inclui uma proporção importante de alfafa, pastagens ou culturas de alta densidade junto com culturas de inverno.	R	pobre	44	57	69	75	65	76	84	88	81	88	92	94
	R	boa	42	56	67	74	63	75	83	87	80	87	92	94
	R+CR	pobre	43	56	67	72	64	75	83	86	80	87	92	93
	R+CR	boa	39	52	63	69	60	72	80	84	78	86	90	92
	C	pobre	42	54	66	70	63	74	82	85	80	87	91	93
	C	boa	40	53	64	69	61	73	81	84	78	86	91	92
	C+CR	pobre	41	53	64	69	62	73	81	84	79	86	91	92
	C+CR	boa	39	52	63	67	60	72	80	83	78	86	90	92
	C+T	pobre	40	52	61	66	61	72	79	82	78	86	90	91
	C+T	boa	38	49	60	64	59	70	78	81	77	84	89	91
	C+T+CR	pobre	39	51	60	64	60	71	78	81	78	85	89	91
	C+T+CR	boa	37	48	58	63	58	69	77	80	76	84	89	90
<b>CULTIVOS DENSOS (ORTICULTURAS).</b> Cultivos de leguminosas ou prados em alternância (prados são terrenos onde se cultiva ervas espontâneas ou cultivas).	R	pobre	45	58	70	77	66	77	85	89	82	89	93	95
	R	boa	37	52	64	70	58	72	81	85	76	86	91	93
	C	pobre	43	56	67	70	64	75	83	85	80	87	92	93
	C	boa	34	48	60	67	55	69	78	83	74	84	89	92
	C+T	pobre	42	57	63	67	63	76	80	83	80	88	90	92
	C+T	boa	30	46	57	63	51	67	76	80	71	82	88	90
<b>PASTAGENS OU PASTOS NATURAIS.</b> São classificados em 3 grupos tendo em conta considerações hidrológicas (não a produção de forragem). São POBRES quando suportam alta carga de gado (maior número de cabeças por ha) pelo qual têm baixo conteúdo de matéria orgânica sobre o terreno e que o solo esteja coberto em pelo menos 50% da superfície total. São REGULARES quando a cobertura vegetal cobre 50 a 75% da superfície do terreno e são moderadamente pastados (menor número de cabeças por ha). São BOAS quando a cobertura vegetal do solo supera 75% da superfície total e são ligeiramente pastados ou utilizados. Podem ser MUITO BOAS, quando artificiais, as naturais mistas, ou prados naturais em regime de pastagem, possuindo uma vegetação densa, abundante e homogênea.	-	pobre	47	61	72	77	68	79	86	89	83	90	93	95
	-	regular	29	48	61	69	49	69	79	84	69	84	90	92
	-	boa	21	40	54	63	39	61	74	80	60	78	87	90
<b>PASTAGENS.</b> Terreno abundante em pasto (local onde pasta o gado). Cultivos de pastos.	C	pobre	27	46	64	75	47	67	81	88	67	82	91	94
	C	regular	12	38	56	67	25	59	75	83	43	77	87	92
	C	boa	3	18	49	61	6	35	70	79	13	55	84	90

Tipo de Uso do Solo	Tipo de Manejo	Condição hidrológica	N I (Seco)				N II (Normal)				N III (Saturado)			
			A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
<b>PRADOS PERMANENTES.</b> Não são pastados, ou seja, sua vegetação é permanente cobrindo em 100% a superfície do terreno. São prados de corte para fenação.	-	-	15	37	51	60	30	58	71	78	50	76	85	89
<b>CAPOEIRAS E CAPOIÕES.</b> Estágios iniciais de sucessão vegetacional com predominância de vegetação raso em detrimento a arbórea. Distingue-se como POBRES quando a cobertura do solo é inferior a 50%, REGULAR quando a cobertura do solo é de 50 a 70% e BOA quando a cobertura do solo é superior a 70%.	-	pobre	28	46	58	67	48	67	77	83	68	82	89	92
	-	regular	18	35	49	58	35	56	70	77	55	75	84	89
	-	boa	15	28	44	53	30	48	65	73	50	68	81	86
<b>TERRENOS COM ÁRVORES E CAPOEIRA.</b> Estágios avançados de sucessão florestal onde 50% do terreno está coberto com árvores e os outros 50% com capoeiras de baixo porte (situação BOA). Para outros valores de curva é necessário ponderar com PASTAGEM e FLORESTAS DE PASTAGEM.	-	pobre	36	53	66	72	57	73	82	86	75	86	91	93
	-	regular	24	44	57	66	43	65	76	82	63	81	88	91
	-	boa	17	37	52	61	32	58	72	79	52	76	86	90
<b>FLORESTAS DE PASTAGEM (AGROSILVOPASTORIL).</b> Terrenos baseados em fatores hidrológicos (não de produção). Considera-se POBRES quando se faz manejo de solos e quando são abundantemente pastados, inclusive com práticas de queimadas, de maneira que a floresta esteja sem sub-bosque, pastos e restos vegetais. Considera-se REGULAR quando permitem a pastagem pelos animais porém nunca são lavrados ou queimados, de maneira que a superfície do terreno apresenta pastos e estrutura vegetal. Considera-se BOA quando protegidos do pastoreio, o terreno aparece coberto de bosque, abundante pasto natural e restos orgânicos de toda classe.	-	pobre	26	45	58	67	45	66	77	83	65	82	89	92
	-	regular	19	39	53	61	36	60	73	79	56	78	86	90
	-	boa	12	34	49	58	25	55	70	77	43	74	84	89

Tipo de Uso do Solo	Tipo de Manejo	Condição hidrológica	N I (Seco)				N II (Normal)				N III (Saturado)			
			A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
<b>PLANTAÇÕES REGULARES DE APROVEITAMENTO FLORESTAL (REFLORESTAMENTO).</b> Refere-se a cultivos florestais como Pinus e Eucaliptos, etc. De acordo com a cobertura florestal podem ser: <b>POBRES</b> quando a cobertura vegetal é essencialmente arbórea, o sub-bosque, as ervas espontâneas e a matéria orgânica sem decomposição são eliminados mediante pastagem. <b>MÉDIAS</b> quando, além da cobertura arbórea se observa sub-bosque e ervas ou matéria orgânica sem decomposição, ainda que em boa parte do terreno, carece de proteção. <b>BOA</b> quando o estrato do sub-bosque e arbóreo, assim como a matéria orgânica não decomposta cobrem todo o terreno.	-	pobre	41	13	7	4	62	26	15	10	79	45	29	20
	-	média	63	18	9	6	80	34	19	14	90	54	35	27
	-	boa	100	23	11	7	100	42	22	15	100	62	39	29
<b>FLORESTAS (BOSQUES).</b> Corresponde às florestas em estágios avançados de sucessão. Podem ser considerados nesta classe as Florestais Naturais. De acordo com com sua densidade podem ser classificadas em Muito densa, Densa, Médias, Ralas e Muito ralas, sem ter conta a compacidade do terreno. As 5 (cinco) classes são estabelecidas pela aplicação de <b>NOMOGRAMA</b> que relaciona a profundidade do solo, a declividade do terreno, a espessura da serrapilheira ou mantilho (de modo que quanto maior seja sua espessura, menos compacta e impermeáveis forem, tanto melhor será a condição hidrológica resultante para a infiltração).	-	<b>I Muito pobres</b>	35	56	72	81	56	75	86	91	75	87	93	96
	-	<b>II Pobres</b>	26	47	60	69	46	68	78	84	66	83	89	92
	-	<b>III Regulares</b>	19	39	49	57	36	60	70	76	56	78	84	88
	-	<b>IV Boas</b>	13	31	42	48	26	52	63	69	45	71	80	84
	-	<b>V Muito boas</b>	7	25	33	40	15	44	54	61	29	64	73	78
POVOADOS. Caseríos esparços.	-	-	38	54	66	72	59	74	82	86	77	87	91	93
CAMINHOS DE TERRA. Caminhos rurais	-	-	52	66	74	77	72	82	87	89	86	91	94	95
CAMINHOS TERRAPLANADOS (FIRMES).	-	-	54	69	79	83	74	84	90	92	87	92	95	96